

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**Ю.В. Лончаков**

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**

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

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

**Ю.М. Батуриц,**

**М.Н. Бурдаев,**

**Л.К. Васильева,**

**С.П. Власенков,**

**Н.В. Волкова,**

**О.С. Гордиенко,**

**П.П. Долгов,**

**В.М. Жуков,**

**С.А. Жуков,**

**С.В. Игнатъев,**

**Р.Р. Каспранский,**

**О.Д. Кононенко,**

**Б.И. Крючков,**

**А.А. Курицын,**

**Г.Д. Орешкин,**

**В.И. Почуев,**

**В.Н. Саев,**

**Ю.Б. Сосюрка,**

**И.Г. Сохин,**

**М.Л. Титова,**

**М.В. Тюрин,**

**В.М. Усов,**

**М.М. Харламов,**

**В.И. Ярополов.**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС .....4

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-46/47 при выполнении программы космического полета. *Ю.И. Маленченко* .....4

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-46/47 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова* .....16

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС ....26

Разработка технических средств подготовки космонавтов с учетом требований инженерной психологии и эргономики. *Ю.А. Виноградов, Е.В. Полунина, В.Н. Саев., Л.Е. Шевченко* .....26

Миссии-аналоги НАСА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: NEEMO, ISTAR, Mars Yard/Chamber, Antarctic/desert, Hi-SEAS. *П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной, Р.Р. Каспранский*.....43

Применение методов захвата движений в космической робототехнике при инженерно-психологическом проектировании человеко-машинного взаимодействия. *Б.И. Крючков, В.М. Усов, М.В. Михайлюк* .....57

О микроускорениях на космических аппаратах. *М.Н. Бурдаев, Б.В. Бурдин* .....79

Методология и результаты моделирования гравитации Луны и Марса на короткорadiusной центрифуге. *В.А. Акулов, И.В. Макаров, С.А. Акулов, В.Л. Балакин*.....92

Результативность визуально-инструментальных наблюдений в долговременных пилотируемых полетах. <i>В.В. Коваленок, А.С. Иванченков, С.В. Авакян</i> .....	103
ДИСКУССИИ.....	118
Направленность физической подготовки космических туристов в рамках перспективных коммерческих космических программ. <i>С.А. Гоняни, А.А. Ковинский</i> .....	118
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ .....	129
Малоизвестный юбилей космического телевидения. <i>А.А. Умбиталиев, А.К. Цыцулин, В.В. Зеленова</i> .....	129
Информация для авторов и читателей .....	133

## CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS .....	4
Main Results of the ISS-46/47 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>Y. Malenchenko</i> .....	4
Express Analysis of Medical Support of the ISS-46/47 Crew Members. <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i> .....	16
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS .....	26
Development of Technical Facilities for Cosmonaut Training Taking into Account the Requirements of Engineering Psychology and Ergonomics. <i>Yu.A. Vinogradov, E.V. Polunina, V.N. Saev, L.E. Shevchenko</i> .....	26
Analogue Missions of NASA Implemented in the Interests of Manned Deep Space Exploration: NEEMO, ISTAR, Mars Yard/Chamber, Antarctic/desert, Hi-SEAS. <i>P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, R.R. Kaspransky</i> .....	43
Engineering-Psychological Designing of Human-Machine Interaction. <i>B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, M.V. Mikhailyuk</i> .....	57
Micro Accelerations on Space Vehicles. <i>M.N. Burdaev, B.V. Burdin</i> .....	79
Methods and Results of Simulating the Moon and Mars Gravity Using the Short Radius Centrifuge. <i>V.A. Akulov, I.V. Makarov, S.A. Akulov, V.L. Balakin</i> .....	92
Effectiveness of Visual-Instrumental Observations in Long-Term Manned Space Flights. <i>V.V. Kovalenok, A.S. Ivanchenkov, S.V. Avakyan</i> .....	103
DISCUSSIONS .....	118
Aspects of Physical Training of Space Tourists for Future Commercial Space Programs. <i>S.A. Gonyants, A.A. Kovinsky</i> .....	118
HISTORY. EVENTS. PEOPLE .....	129
The Little-Known Anniversary of Space Television. <i>A.A. Umbitaliev, A.K. Tsystulin, V.V. Zelenova</i> .....	129
Information for Authors and Readers .....	133

# ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

## RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-46/47 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА Ю.И. Маленченко

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ Ю.И. Маленченко  
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-46/47 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-19М» 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-46/47 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. Y. Malenchenko**

The paper considers results of the ISS 46/47 expedition's activity aboard the «Soyuz-TMA-19M» transport spacecraft and ISS. Also, it presents the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the general ISS flight program. Particular attention is paid to implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Remarks and suggestions to improve the ISS Russian Segment are given.

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

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

Основной экипаж длительной экспедиции МКС-46/47 в составе:

Маленченко Юрий Иванович	командир ТПК «Союз ТМА-19М», бортинженер МКС-46/47, (Роскосмос, Россия)
Копра Тимоти Леннарт	бортинженер ТПК «Союз ТМА-19М» бортинженер МКС-46, командир экспедиции МКС-47 (НАСА, США)
Пик Тимоти	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-19М» бортинженер МКС-46/47 (ЕКА, Великобритания)

выполнил космический полет длительностью 186 суток с 15 декабря 2015 года по 18 июня 2016 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-19М» – «Агат».



Экипаж экспедиций МКС-46/47

### Опыт полетов членов экипажа

Маленченко Юрий Иванович в отряде космонавтов с марта 1987 года. До назначения в экипаж выполнил 5 космических полетов длительностью 641 сутки 11 часов, выполнил 5 выходов в открытый космос (30 ч 06 мин). Герой Российской Федерации. Инструктор-космонавт-испытатель 1 класса – начальник 1 управления ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 308-й космонавт мира, 78-й космонавт Российской Федерации.

Копра Тимоти Леннарт в отряде астронавтов НАСА с 2000 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет с 15 июля по 11 сентября 2009 года в качестве специалиста полета МТКК «Шаттл» в составе STS-127 и бортинженера МКС-20. В ходе полета выполнил один выход в открытый космос продолжительностью 5 ч 02 мин. Продолжительность полета – 58 суток. 499-й астронавт мира, 321-й астронавт США.

Пик Тимоти в отряде астронавтов ЕКА с 2009 года. До назначения в экипаж не имел опыта космических полетов.

### Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-19М» был произведен 15 декабря 2015 года с космодрома Байконур (Казахстан).

$T_{\text{КП}} = 14:03:09.328$ ;  $T_{\text{КО}} = 14:11:57.678$  декретного московского времени (ДМВ).

Параметры орбиты выведения: период  $T = 88,74$  мин, наклонение  $i = 51,64$  град., высота  $h \times H = 200$  км  $\times$  252,96 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-46/47 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 15 декабря 2015 года ТПК «Союз ТМА-19М» с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ( $T_{\text{М.з.}} = 20:33:26$  ДМВ). Следует отметить, что сближение транспортного пилотируемого корабля осуществлено с использованием четырехвитковой схемы полета;

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

- стыковка ТГК «Прогресс МС» к стыковочному узлу СО1 выполнена 23 декабря 2015 года ( $T_{М.З.} = 13:27$  ДМВ). Сближение грузового корабля новой серии «МС» проводилось по двухсуточной схеме полета;
- научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИ;
- техническое обслуживание бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы, дооснащение, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок, работы по программе символической деятельности;
- выход в космос ВКД-42 осуществлен 3 февраля 2016 года из стыковочного отсека СО1, продолжительность выхода – 4 ч 44 мин. Выход осуществили космонавты Ю. Маленченко и С. Волков;



Работа в открытом космосе Ю. Маленченко

- выход в космос ВКД-34 осуществлен 21 декабря 2015 года из шлюзового отсека Airlock, продолжительность выхода – 3 ч 12 мин. Выход осуществили астронавты С. Келли и Т. Копра;
- выход в космос ВКД-35 осуществлен 15 января 2016 года из шлюзового отсека Airlock, продолжительность выхода – 4 ч 39 мин. Выход осуществили астронавты Т. Копра и Т. Пик;
- расстыковка грузового корабля «Cygnus OA-4» от надирного узла модуля Node1 выполнена 19 февраля 2016 года, время отделения от манипулятора станции SSRMS – 15:26 ДМВ;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-18М» от стыковочного узла МИМ2 проведена 2 марта 2016 года. Время расстыковки – 04:02:40 ДМВ, время посадки СА – 07:25 ДМВ;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-20М» к стыковочному узлу модуля МИМ2 осуществлена 19 марта 2016 года ( $T_{М.З.} = 06:09:55$  ДМВ);
- сближение американского грузового корабля «Cygnus OA-6» с МКС, захват корабля манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту модуля Node1 АС МКС проведены 26 марта 2016 года ( $T_{Окончания\ затяжки\ болтов} = 17:56$  ДМВ);
- расстыковка ТГК «Прогресс М-29М» от АО СМ осуществлена 30 марта 2016 года ( $T_{расстыковки} = 17:14$  ДМВ);
- стыковка ТГК «Прогресс МС-02» к АО СМ выполнена 2 апреля 2016 года ( $T_{М.З.} = 20:57$  ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;

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

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

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

– наддув и развертывание модуля BEAM выполнены 28 мая 2016 года. Наддув модуля осуществлен до давления  $754 \text{ мм рт. ст.}$ ;

– расстыковка грузового корабля «Cygnum OA-6» от МКС проведена 14 июня 2016 года, время отделения от манипулятора станции SSRMS – 16:31 ДМВ;

– возвращение экипажа МКС-46/47 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-19М» выполнены 18 июня 2016 года. Время расстыковки – 08:52:34 ДМВ, время посадки СА – 12:14 ДМВ.

Состав экипажа корабля «Союз ТМА-19М» при выполнении спуска:

- Маленченко Юрий Иванович – командир корабля (Роскосмос, Россия);
- Копра Тимоти Леннарт – бортинженер (НАСА, США);
- Пик Тимоти – бортинженер-2 (ЕКА, Великобритания).

### Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-46/47 проводилась с 06 августа 2014 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по РС МКС и ТПК «Союз ТМА-19М» являлись:

– подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-19М»;

– 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-19М» на все стыковочные узлы РС МКС;

– отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска (РУС);

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РОАК;

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РОДК;

– построение солнечной ориентации и закрутки ТПК в режимах РОАК и РОДК;

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

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

- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении расстыковки ТПК с неориентированной и нестабилизированной МКС;
- подготовка к выполнению сближения и причаливания ТГК «Прогресс МС» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТГК «Прогресс МС» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-43/44/45/46, МКС-45/46, МКС-47/48;
- 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 на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;
- подготовка по задачам внекорабельной деятельности в объеме типовых операций и по программе ВКД-42;
- 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-19М»**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-19М» был произведен 15 декабря 2015 года с космодрома Байконур.

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 14:03:09,328$ ;  $T_{КО} = 14:11:57.678$  ДМВ.

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

15 декабря 2015 года на 1-м и 2-м витках проведены двухимпульсные маневры.

На 3-м и 4-м витках выполнен режим автоматического сближения и ручной стыковки с МКС к стыковочному узлу МИМ1 ( $T_{М.з.} = 20:33:26$  ДМВ). Сближение корабля осуществлялось по четырехвитковой схеме полета.

После входа ТПК в ближний участок сближения, выполнения облета и зачисления в автоматическом режиме, по указанию Земли был введен признак В6[13]=1 «Разрешение причаливания». Причаливание проходило в автоматическом режиме без замечаний. На дальности 17 метров сформировались текущая авария ДПОБ 20 «Нет СДК/недобор тяги по -Y (К1/Б)» и обобщенная авария ДПО. Сработала программа увода, прошел выбор всех комплектов ДПО (Б1+Б2+М1+М2) и набор импульса на увод по +X до  $\dot{r} = + 1$  м/с. Экипаж доложил об аварии.



По указанию Земли перешли на ручной режим управления. Экипаж отбил работу программы «Увод», выдал команды РУД и РОДК, перешел в режим РОДК, автоматически включился режим стабилизации в ОСК ТПК.

Экипаж выполнял гашение разлетной скорости, согласно требованию бортовой документации выдал команду Г5 «ВЫБОР ДПО-Б1» (1 коллектор на торможение).

Экипаж получил указание Земли выполнить причаливание и начал набирать рекомендованную скорость, при этом прошел вход в тень. Оценить скорость причаливания и положение относительно стыковочного узла было сложно, был виден только стыковочный узел МИМ1, контуры станции и элементы конструкции не наблюдались.

Экипаж дозированно выдавал разгонные импульсы с целью подхода к дальности, где можно контролировать параметры относительного движения. По указанию КК, БИ выдал команду Г15 «выбор двух коллекторов ДПО-Б1 ДПО-Б2 на торможение».

Экипаж выполнил торможение, оценил взаимное положение корабля и МКС. Угловое рассогласование было значительным, выполнили отход, дооблет на ось стыковочного узла, набрали рекомендованную скорость на причаливание и выполнили стыковку.

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-19М».

17 июня 2016 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж экспедиции МКС-46/47 в составе Маленченко Юрия Ивановича, Тимоти Копры и Тимоти Пика приступил к подготовке к возвращению на Землю.

На 11-м суточном витке проведена расконсервация корабля. После разрешения ЦУПа в 05:42 ДМВ выполнили ЗПЛ. Переход на автономное питание выполнен на 12-м суточном витке по КРЛ в 05:42 ДМВ. На этом же витке провели проверку герметичности переходных люков.

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

Расстыковка выполнена 18 июня 2016 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС с последующим двухимпульсным отводом. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 08:51:00 ДМВ, время фактической расстыковки – 08:52:34 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-м суточном витке в 10:22:00 ДМВ, посадка – на 1-м суточном витке. По указанию ЦУПа в 11:07:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. При контроле уставок перед включением двигателя экипаж доложил, что на формате «БНО» нет данных. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 11:22:07 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 11:49:11 ДМВ. Фактический вход в атмосферу в 11:51:51 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +3 сек. Максимальная перегрузка: 4,2 единицы. Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе, установили связь с экипажем в 12:02 ДМВ, в 12:05 ДМВ установлен



Экипаж МКС-46/47 выполняет команды ЦУПа



Посадка экипажа МКС-46/47 на Землю

визуальный контакт. Посадка спускаемого аппарата осуществлена 18 июня 2016 года в 12:14 ДМВ в расчетной точке с координатами  $47^{\circ}21,5'$  с.ш.,  $69^{\circ}38,4'$  в.д. (147 км восточнее г. Джезказган). ДМП сработали штатно.

Работа по эвакуации экипажа началась в 12:21 ДМВ после взятия СА под охрану. Аппарат находился на боку, купол парашюта погашен.

### **Полет на борту МКС**

Экипаж МКС-46/47 работал на борту МКС 186 суток с 15 декабря 2015 года по 18 июня 2016 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:

– профилактика механизмов герметизации крышки люка АСП МИМ1 и крышки люка ТПК «Союз ТМА-19М»;

- отбор проб воздуха пробоотборником АК-1М в ТГК «Прогресс МС»;
  - межбортовой тест ТОРУ с ТГК «Прогресс МС»;
  - профилактические работы с сервером FS1 и блоком размножения интерфейса (БРИ) в СМ;
  - перекачка воды из бака БВ1 системы «Родник» ТГК «Прогресс МС» в ЕДВ и обжатие оболочки;
  - тест телевизионной системы (ТВС) «Клест-М» ТГК «Прогресс МС» и ТВС СМ;
  - сборка установки сепарации (УС) в МИМ1, тестовая сепарация воды через УС;
  - мониторинг состояния поверхности элементов конструкции корпусов РС МКС с использованием многофункционального вихретокового прибора МВП-2К;
  - диагностика силового распределительного блока системы СУБК ФГБ и приборов БФ-2, БСП-2 СЭС ФГБ;
  - регламентные работы по проверке НЧ-тракта СТТС, исправности пультов абонента и УКВ-приемников;
  - осмотр и чистка лэптопов БВС (RS1, RS2, RS3);
  - тест аппаратуры спутниковой навигации (АЧН) ТГК «Прогресс МС-02».
- Проведены основные ремонтно-восстановительные работы и дооснащение:
- ремонтные работы по установке накладных листов на панели интерьера СМ;
  - замена прибора РТ-50-1М СЭП СМ;
  - замена преобразователя напряжения ПН28-120 для заряда аккумуляторных батарей фото/видеоаппаратуры;
  - замена блока сменного насоса Н1 панели 4СПН2 контура КОБ2;
  - замена запоминающего устройства ЗУ1Б на ЗУ1А телеметрической системы БРУ-ЦУ8 в ФГБ;
  - замена ЦВМ3 СМ, тестовое включение;
  - замена приборов БСК-1, БСК-2 системы СУБА в СМ;
  - замена сменной панели насосов внутреннего гидроконтура СОТР ФГБ;
  - замена элементов сменных магистралей откачки конденсата СОТР СМ;
  - установка ПО на файловый сервер FS1 для копирования данных СОТ;
  - установка обновлений ПО на управляющие лэптопы RS1, RS2, RS3, REMOTE RS;
  - обновление версии ПО для научной аппаратуры ФСС.

В процессе работ по связям с общественностью проводились ТВ-сеансы с руководителем Роскосмоса, руководством РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, ФГУП ЦНИИмаша, участниками Десятых Всероссийских юношеских чтений имени С.П. Королёва, участниками Всероссийской конференции школьников «Шаг в будущее. Космонавтика», подготовка репортажей для пресс-службы Роскосмоса по подготовке к ВКД-42; ТВ-поздравления участников торжественного мероприятия в честь 95-летия со дня формирования авиации Краснознаменного Черноморского флота, сотрудников и ветеранов ЦНИИмаша с 70-летним юбилеем со дня образования института; ТВ-приветствия участников Космического форума, посвященного 55-летию первого полета человека в космос, участников дня открытых дверей в МГТУ имени Н.Э. Баумана, участников Международного научного конгресса «Наука и инженерное образование – 2016».

Выполнялись видеосъемки сюжетов о работе российских космонавтов на борту РС МКС для сайта Роскосмоса и социальных сетей.

При выполнении работ на РС МКС неоднократно отмечалось низкое качество полетных радиограмм, приводящих к неоптимальным и/или ошибочным действиям экипажа, что свидетельствует об отсутствии отработки радиограмм в наземных условиях.

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

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-43/44/45/46, МКС-45/46, МКС-47/48.

С 15 декабря 2015 года по 2 марта 2016 года – совместный полет с экипажами МКС-43/44/45/46 и МКС-45/46 в составе:

– 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);

– Волков Сергей Александрович (бортинженер МКС-45/46, Роскосмос, Россия).

С 19 марта 2016 года по 18 июня 2016 года – совместный полет с экипажем МКС-47/48 в составе:

– Овчинин Алексей Николаевич (бортинженер МКС-47/48, Роскосмос, Россия);

– Скрипочка Олег Иванович (бортинженер МКС-47/48, Роскосмос, Россия);

– Уильямс Джеффри Нелс (бортинженер экспедиции МКС-47, командир экспедиции МКС-48, НАСА, США).

### **Внекорабельная деятельность**

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

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



Ю. Маленченко при выполнении одной из задач ВКД

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

Целевые задачи выхода:

- запуск флеш-карты «СМС на МКС, 70 тысяч спасибо»;
- отбор проб мазков с внешней поверхности ВЛ1 СО1 и зоны привода крышки иллюминатора № 8 СМ (КЭ «Тест»);
- демонтаж моноблока «Expose-R» (УРМ-Д II ПЛ РО БД СМ);
- демонтаж кассеты СКК № 2-М2 и установка кассеты СКК № 3-М2 на МИМ2;
- установка блока экспонирования образцов (БЭО) № 2 КЭ «Выносливость» на МИМ2;
- изменение ориентации прибора БКДО на МИМ2;
- установка мягких поручней на конической части ПГО-2 ФГБ;
- проведение КЭ «Реставрация» на ВУ СО1;
- проведение фотосъемок внешней поверхности РС МКС.

Особенности выхода:

- шлюзование выполнялось по новой схеме с организацией резервного шлюза в ПхО перед закрытием ВЛ СО1;
- выход осуществлен раньше расчетного времени, запланированное время выполнения ВКД 5 ч 26 мин, продолжительность выхода составила 4 ч 44 мин;
- в процессе проведения КЭ «Реставрация» дважды произошел отказ работы устройства наклеивания пленочного покрытия (УНПП). Экипаж успешно выполнил оперативный ремонт устройства.

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

Отмечено захлаживание в скафандрах во время длительного отдыха на теневой стороне орбиты. Для исключения замерзания космонавтов при работе на теневой стороне орбиты необходимо составлять циклограмму ВКД таким образом, чтобы операторы в тени имели возможность выполнять отдельные операции ВКД.

После выполнения ВКД желательно в ближайшее время проводить инвентаризацию оборудования для ВКД и медицинских упаковок.

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

– ВКД-34 осуществлен операторами С. Келли (бортинженер экспедиций МКС-43/44, командир экспедиций МКС-45/46) и Т. Копра 21 декабря 2015 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 3 ч 12 мин;

– ВКД-35 осуществлен операторами Т. Копра и Т. Пик 15 января 2016 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 4 ч 39 мин. Работы были завершены досрочно в связи с появлением холодной воды на внутренней поверхности гермошлема Т. Копра.

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

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

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

- ТХН-9 «Кристаллизатор».

*Исследование Земли и космоса:*

- ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат\*);
- ГФИ-1 «Релаксация»;
- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ-11 «Обстановка»;
- ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;
- ДЗЗ-17 «Напор-миниРСА»;
- ДЗЗ-18 «Дубрава»;
- КПТ-22 «Экон-М».

*Человек в космосе:*

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-29 «Иммуно»;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- Сарколаб (MARES);
- БИО-14 «Биосигнал»;
- РБО-3 «Матрешка-Р».

*Космическая биология и биотехнология:*

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БИО-19 «Феникс» (пассивное экспонирование);
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БТХ-41 «Бактериофаг»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-49 «Фаген».

*Технологии освоения космического пространства:*

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП»;
- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;

---

\* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-34 «Реставрация»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);
- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-58 «Выносливость»;
- ТЕХ-62 «Альбедо» (автомат);
- КПП-2 «Бар»;
- КПП-24 «Тест».

*Образование и популяризация космических исследований:*

- ОБР-4 «РадиоСкаф» (4-й этап);
- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл».

*Контрактные эксперименты:*

- КНТ-36 «Expose-R».

*Эксперименты партнеров по МКС с участием российских космонавтов, выполняемые по решениям Роскосмоса:*

- АСР-5 «Микробиологический мониторинг».

*Новые эксперименты:*

- ТЕХ-34 «Реставрация»;
- ДЗЗ-18 «Дубрава».

Всего 54 эксперимента, из них 7 без участия экипажа.

Наибольшее количество экспериментов было проведено по направлениям «Технология освоения космического пространства», «Исследование Земли и космоса» и «Человек в космосе».

## **Заключение**

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-46/47, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-46/47 по транспортному кораблю «Союз ТМА-19М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.

2. Полет экипажа МКС-46/47 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 период выполнения программы полета, организации работы персонала ГОГУ.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-46/47  
(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-46/47. 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.

**Express Analysis of Medical Support of the ISS-46/47 Crew Members.****V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper presents the results of medical maintenance of the ISS-46/47 expedition members. It also gives a brief description of operation of the system of mission medical support and maintaining the stability of human environment aboard the ISS RS. Besides, the paper sums up the results of implementation of medical recommendations, the program of medical monitoring and the use of the onboard means to prevent the alteration of cosmonauts' health status in spaceflight.

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

**Выполнение программы полета**

Полет в составе: БИ-4 МКС-46/47, КК ТПК № 719 – Маленченко Юрий Иванович; БИ-5 МКС-46, КЭ МКС-47, БИ ТПК № 719 – Копра Тимоти (НАСА); БИ-6 МКС-46/47, БИ-2 ТПК № 719 – Пик Тимоти (ЕКА) состоялся с 15.12.15 г. по 18.06.16 г. (186 суток).

Этапы полета основной экспедиции:

15.12.15 г. – выведение ТПК «Союз ТМА-19М» № 719 – 14:03 ДМВ.

15.12.15 г. – стыковка ТПК «Союз ТМА-19М» № 719 к МИМ1 – 17:33 GMT/20:33 ДМВ.

18.06.16 г. – расстыковка ТПК «Союз ТМА-19М» № 719 от МИМ1 – 05:53 GMT/08:53 ДМВ. Время посадки – 12:15 ДМВ.

15.12.15 г. в 14:03 ДМВ состоялся старт корабля ТПК № 719 в составе КК Ю.И. Маленченко, БИ Т. Копра и БИ-2 Т. Пик. После выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 719 с МКС в ручном режиме 15.12.15 г. в 20:33 ДМВ по короткой 4-витковой схеме. После ОПЛ прибывший экипаж перешел на станцию. По прибытии на МКС функции БИ-4 были возложены на космонавта Ю.И. Маленченко, БИ-5 – на астронавта Т. Копру и БИ-6 – на астронавта Т. Пика.

Космонавты провели консервацию ТПК № 719, инструктаж по безопасности после стыковки, а также занимались сушкой скафандров. После завершения работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 01:00 до 09:30 утра 16.12.15 г. продолжительностью 8,5 часа. По оценке специалистов



ГМО РТО экипажа ТПК «Союз» в первые сутки полета был напряженным в связи с выполнением сложной и ответственной динамической операции по стыковке. Общее время работы в этот день с момента старта с учетом времени работ в ТПК и на станции составило у КК (БИ-4) 11 часов 50 минут. Период бодрствования после отдыха (сна) на Земле и до отхода ко сну на МКС составил 20,5 часа. Период бодрствования был увеличен на 1 час в связи с задержкой проведения ОПЛ.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 16.12.15 г. рабочая зона у БИ-4 была сокращена на 1 час с целью предоставления ему времени (по 1 часу) на адаптацию и ознакомление со станцией. БИ-4 активно включился в выполнение программы полета.

После стыковки ТГК № 431 (23.12.15 г.) космонавты приступили к разгрузке «грузовика», активно занимались установкой накладных листов на панели интерьера СМ и другими работами. Планируемые дни отдыха частично использовались для выполнения небольших по объему плановых работ и дополнительных работ (экспериментов) по программе Task List.

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

Общее полетное время у БИ-4 составило 186 суток, из которых планировались 125 рабочих и 61 день отдыха.

Фактически у БИ-4 было 27 полноценных (полных) дней отдыха, когда время работы не превышало двух часов, 24 неполных дня отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от двух до четырех часов и 10 дней из запланированных дней отдыха были рабочими днями, когда общее время работы составило 4,5 и более часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-4 составила 65 часов 45 минут. Фактически в дни отдыха БИ-4 на выполнение рабочих операций затратил 67 часов 55 минут. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-4 планировалось 88 часов 40 минут, фактически на эти работы БИ-4 затратил 74 часа 40 минут. В данном полете, как всегда, планировались работы по программе Task List в рабочие дни – 196 часов, фактически на их выполнение БИ-4 затратил 107 часов 40 минут.

За весь полет на выполнение дополнительных работ, включая Task List, по инициативе экипажа, по указанию Земли и сверх плана на рабочие операции БИ-4 затратил 210 часов, что равноценно 32 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 часа в день.

08.01.16 г. (4-я неделя) с борта поступило сообщение о выходе из строя тренажера БД-2. По согласованию с экипажем ремонтные работы оперативно были запланированы на день отдыха 09.01.16 г. в рамках программы Task List. Космонавты, в том числе и БИ-4, провели ремонтные работы на тренажере БД-2, на что затратили по 3 часа. По результатам РВР тренажер был восстановлен.

Согласно плану работ БИ-4 и БИ-1 (С.А. Волков) с 18.01.16 г. приступили к подготовке к ВКД-42. В период подготовки космонавты работали в соответствии с детальными планами суток. Свое самочувствие оценивали как хорошее, работоспособность сохранялась на достаточно высоком уровне.

03.02.16 г. БИ-4 и БИ-1 провели операцию «Выход» (ВКД-42). Время ВКД планировалось 5 часов 26 минут, фактически оно составило 4 часа 45 минут. Космонавты работали с опережением графика. РТО экипажа в этот день был напря-

женным, время работы у БИ-4 составило 14 часов 10 минут, период бодрствования – 19,5 часа.

В связи с предстоящей расстыковкой ТГК № 429 и необходимостью завершения установки листов на панели интерьера, в дни отдыха 06 и 07.02.16 г., а также 13 и 14.02.16 г. были запланированы работы по установке листов. На эти работы космонавты БИ-4 и БИ-1 потратили по 4 часа в день.

На 11-й неделе (24.02–02.03.16 г.) в связи с очередным отказом тренажера БД-2 БИ-4 и БИ-1 в день отдыха 27.02.16 г. выполнили срочные РВР, на что затратили по 3 часа.

В последующий период полета БИ-4, помимо выполнения научных экспериментов, медицинских обследований, текущих работ на станции, активно занимался разгрузкой ТГК № 432. Все работы он выполнял в соответствии с детальными планами суток в условиях штатного РТО. Отмечались отдельные эпизоды увеличения времени на выполнение плановых работ на 1–1,5 часа, в основном, в связи с возникающими техническими трудностями. К существенным переработкам это не приводило.

Согласно номинальному плану посадка экипажа ТПК № 719 планировалась 05.06.16 г.

Решением Роскосмоса посадка экипажа была перенесена на 18.06.16 г. На заключительном этапе полета в соответствии с требованиями «Основных правил и ограничений» с 06.06.16 г. рабочая зона у БИ-4 была сокращена на 1 час с целью предоставления ему времени (по 1 часу) на подготовку к возвращению на Землю. С этого же числа БИ-4 приступил к подготовке и укладке возвращаемых грузов на ТПК № 719. 17.06.16 г. на станции была проведена передача смены по РС (БИ-4–БИ-2).

Перед расстыковкой ТПК 17.06.16 г. сон планировался в штатное время с 21:30 до 06:00 GMT продолжительностью 8,5 часа. После завершения укладки срочных грузов в ТПК № 719 в 02:35 GMT/05:35 ДМВ (18.06.16 г.) было проведено закрытие переходных люков. Расстыковка ТПК осуществлена в 05:52 GMT/08:52 ДМВ, посадка СА – в 12:15 ДМВ в заданном районе.

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

По ежедневным докладам экипажа на всех этапах полета состояние здоровья оставалось хорошим. В первый день после старта БИ-4 жалоб не предъявлял, свое самочувствие оценивал как хорошее, состояние здоровья – отличное, психологическое состояние – спокойное. Внешне выглядел бодрым. Отечность лица, по данным самооценки и визуально в ходе РМС, была выражена незначительно. Отмечал затруднение носового дыхания, изменения голоса не отмечалось. Сон был хороший, глубокий – спал около 7,5 часа.

22.12.15 г. жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Внешне выглядел бодрым. Отечности лица не было, носовое дыхание свободное, голос не изменен. Сон был глубокий, сонливости в дневное время не было.

По состоянию на 05.01.16 г. жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Самочувствие нормальное, настроение хорошее. БИ-4 отметил, что полностью адаптировался к жизни на МКС. Внешне выглядел бодрыми, голос не изменен. Существующий РТО удовлетворял полностью, времени на отведенные рабочие операции было достаточно. По мероприятиям психологической поддержки замечаний не было.

02.02.16 г. проводилась штатная подготовка в ВКД. БИ-4 сообщил, что скафандры и перчатки подогнаны, медицинские укладки и дозиметры ИДЗ-МКС уложены в соответствии с радиограммой. Медицинских противопоказаний для выполнения работ по задачам ВКД-42 не было.

04.02.16 г. после ВКД жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Свое самочувствие во время выполнения работ по внекорабельной деятельности оценивал как хорошее. Температурный режим в скафандре был комфортный. БИ-1 и БИ-4 сообщили, что «...теплоощущение было нормальным, в процессе «Выхода» температуру регулировали, ноги не мерзли...». Ограничений в движении и дискомфорта при работе в скафандре не отмечали. Во время шлюзования использовали принадлежность «Вальсальва». После снятия скафандра при осмотре у БИ-4 повреждений кожи и наминов не было. Явлений общей мышечной усталости не отмечали.



ВКД-42

03.05.16 г. была организована очередная приватная конференция с семьями и друзьями, а также ТВ-сеанс со Святейшим Патриархом Московским и Всея Руси Кириллом. Транслировалось выступление церковного хора по поводу праздника Пасхи. Эти мероприятия имели положительный психологический эффект со стороны экипажа.

Периодические изменения концентрации  $\text{CO}_2$  на самочувствие и работоспособность космонавтов не влияли. Сон был полноценный, в коррекции не нуждался.

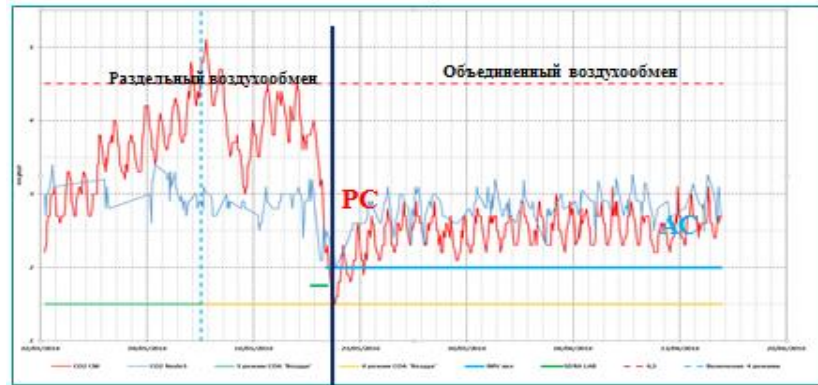
### **Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания**

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

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра было в пределах 740–773 мм рт. ст.

Параметры микроклимата колебались в нормальных пределах, за исключением температуры воздуха (эпизодически, в некоторых местах на станции, на нескольких витках температура воздуха превышала нормальные величины), пониженной относительной влажности и кратковременных повышений  $\text{pCO}_2$  (на нескольких витках 12–14.05.16 г., в период раздельной межмодульной циркуляции АС-РС).

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.



Уровни CO<sub>2</sub> на российском и американском сегментах

В начале февраля экипаж сообщил, что не раз обращал внимание наземных служб на то, что в СМ очень жарко и температуру в СМ желательно поддерживать в пределах 24–25 градусов тепла.

Особенность состоит в том, что в районе расположения бортового велосипеда находятся аккумуляторные батареи и 4 компьютера, которые постоянно работают, и при работе на велосипеде очень жарко – «голова как в сауне»...

Повышение температуры было связано с проведением работ по отбору КАВ и отключением на это время СКВ. Для поддержания температурного режима периодически КОХ-1 и КОХ-2 включались в параллельную работу.

11.03.16 г. БИ-4 попросил «поднять» температуру в РО СМ МКС до +26 °С. Он отметил, что для него «лучше ориентироваться на +26 °С, потому что раньше члены экипажа просили +25 °С, а мне лучше, чтобы ближе к +26 °С было».

26.04.16 г. БИ-4 от имени экипажа вновь попросил поднять температуру воздуха в СМ до 25–26 градусов и поддерживать ее на этом уровне, так как ночью было холодно.

Экипажу было объяснено, что захлаживание температуры воздуха в СМ связано с запланированным на 27.04.16 г. циклированием блока 800 (для предотвращения его перегрева). БИ-4 просил в дальнейшем сообщать о подобных действиях заранее, чтобы члены экипажа могли подготовиться (одеться теплее).

28.04.16 г. для снижения температуры блока 800 при режиме циклирования были включены в параллельную работу КОХ-1, КОХ-2 и КОБ-1, КОБ-2.

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

Повышение рСО<sub>2</sub> на РС МКС отмечалось в период раздельной межмодульной циркуляции АС-РС. Переконфигурация межмодульной вентиляции была проведена в целях снижения уровня и улучшения возможности контроля рСО<sub>2</sub> в АС (в связи с периодическими жалобами астронавтов АС на ухудшение самочувствия, симптомы которого они связывали с повышением уровня СО<sub>2</sub>).

Для снижения уровня СО<sub>2</sub> на РС в этот период СОА «Воздух» переводилась в более интенсивный (четвертый) режим работы.

Жалоб от экипажа на повышение уровня СО<sub>2</sub> в сеансах радиосвязи не поступало.

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

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

### ***Питание и водопотребление***

В сеансах радиосвязи замечаний от экипажа по питанию и водопотреблению на всем протяжении полета не поступало.

По докладам БИ-4 аппетит у него был хороший.

На первые сутки полета, 16 декабря 2015 г., завтрак у него был полноценным, обед – более скромным; в состав своего рациона питания он включил айву и чернослив.

22.12.15 г. БИ-4 было рекомендовано потреблять жидкость в достаточном количестве, проводить периодический прием поливитаминного комплекса «Гексавит» в течение месяца.

02.02.16 г. выдавались рекомендации по питанию и водопотреблению на период ВКД. 05.04.16 г. БИ-4 отметил, что доставленные на ТКК «Прогресс» свежие фрукты и овощи прибыли в хорошем состоянии.

17.05.16 г. БИ-4 сообщил, что замечаний по пище и питьевой воде нет, аппетит хороший. Американским подогревателем пищи пользуются для разогревания российских продуктов промышленного производства в нестандартных упаковках и американских продуктов. Американский подогреватель находится сейчас рядом со столом в РС МКС. Использует буфетную систему питания из своего 16-суточного рациона. Качество питьевой воды оценивает как нормальное.

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

Во время всего полета постоянно проводился контроль за акустической обстановкой на МКС, проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы Noise Pro).

Место сна российского члена экипажа БИ-4 – левая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка у российских космонавтов за дневной период превышала предельно допустимый уровень (ПДУ) на 9,3–11,5 дБА. За ночной период превышала ПДУ на 2,3–14,6 дБА.

Эквивалентные уровни звука в МИМ1 (п. 204) превышали ПДУ на 9,0 дБА и 9,3 дБА за дневной и ночной периоды соответственно.

БИ-4 в связи с превышением допустимых значений акустической нагрузки рекомендовали использовать средства индивидуальной защиты слуха (беруши или наушники с активным подавлением шума) при работе в местах расположения шумящего оборудования, а также во время занятия на спортивных тренажерах. В период сна БИ-4 в левой каюте СМ рекомендовали использовать средства индивидуальной защиты слуха, а также закрывать дверь каюты.

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

За время полета РО внутри станции оставалась спокойной.

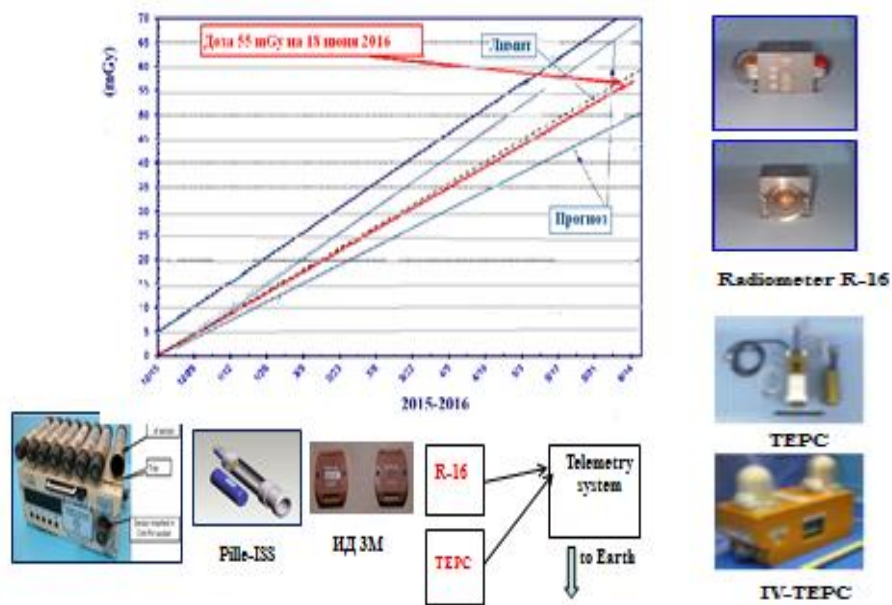
Накопленная поглощенная доза за полет у БИ-4 не превысила допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и Гост 25645.215-85.

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС». В работе использовался комплект дозиметрических датчиков в количестве 10 единиц. Датчики размещались в следующих местах:

№ датчика	Размещение
A0301	СМ, панель 406, рядом с прибором ДБ-8 № 1
A0302	СМ, правая каюта, слева от иллюминатора
A0304	МИМ1, под панелью 204 в нише
A0305	СМ, панель № 327
АО306	Пульт, п.121
A0307	СО-1, полусфера на пл. III
A0309	МИМ2, полусфера у входа
A0310	СМ, правая каюта, пан.447, рядом с ДБ-8 № 3
A0311	СМ, левая каюта, слева от иллюминатора
A0312	NODE2, каюта
A0313	СМ, панель 435 (в районе рабочего стола)

Пространственное поле распределения дозовых нагрузок в СМ сохранялось. Наименьшая мощность поглощенной дозы зарегистрирована на панели 435 в районе рабочего стола.

Наибольшая мощность поглощенной дозы в СМ – правая каюта, слева от иллюминатора.



Мониторинг радиационной обстановки на МКС

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

Контроль за радиационной безопасностью во время ВКД-42 осуществлялся с использованием датчиков: АО309 находился в скафандре БИ-1, АО310 находился в скафандре БИ-4, АО307 находился в СМ.

Космонавты не зафиксировали время измерения датчиков Пилле после ВКД. В оценке дозы использовано плановое время.

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

### Система профилактики в полете

После прибытия на станцию БИ-4 планировалось по одной ознакомительной тренировке на ВБ-3М (17.12.15 г.) и БД-2 (18.12.15 г.).

С 19.12.15 г. физические тренировки ему планировались по российской программе общей продолжительностью 2,5 часа, в основном блоке, периодически 2 раза в день на БД-2 и ВБ-3М.

С 18.05.16 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке (БД-2) и с 06.06.16 г. – ОДНТ-тренировки.

Профилактическое изделие «Браслет» носил постоянно 3 дня после стыковки.

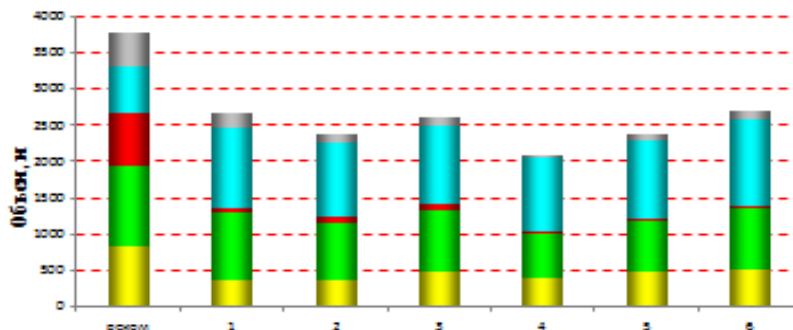
Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» проведена 08.06.16 г. без замечаний.

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 формой 24.

На бегущей дорожке БД-2 БИ-4 выполнял тренировки в соответствии с протоколами бортовой документации.

На заключительном этапе полета БИ-4 было рекомендовано увеличить нагрузку во время выполнения локомоторных тренировок, а также увеличить, по возможности, притяг и время тренировки в пассивном режиме движения полотна дорожки.



Относительное распределение режимов локомоторных тренировок БИ-4 на БД-2

Обсуждались результаты технического обслуживания БД-2, работоспособность системы притяга.

Для подготовки к спуску проведено 6 ОДНТ-тренировок.

Результаты медицинского контроля во время первой предварительной ОДНТ-тренировки БИ-4 (176 сутки полета): тренировка проводилась по третьему дню тренировочного цикла по схеме –20, –25, –30 и –35 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима. Самочувствие у БИ-4 было хорошим. Переносимость тренировки оценена как удовлетворительная.

Было рекомендовано проведение 2-й предварительной ОДНТ-тренировки по четвертому дню тренировочного цикла с режимами разрежения –25, –30, –35 и –40 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима.

08.06.16 г. проведена ОДНТ-тренировка (177-е сутки полета). Тренировка проводилась по четвертому дню тренировочного цикла по схеме –25, –30, –35 и –40 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима. Самочувствие у БИ-4 было хорошим. Переносимость тренировки была оценена как хорошая.

Рекомендовано проведение 3-й предварительной ОДНТ-тренировки по четвертому дню тренировочного цикла с режимами разрежения –25, –30, –35 и –40 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима.

10.06.16 г. проведена ОДНТ-тренировка (179-е сутки полета) по четвертому дню тренировочного цикла по схеме –25, –30, –35 и –40 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима. Самочувствие у БИ-4 было хорошим. Переносимость тренировки хорошая.

Рекомендовано проведение четвертой предварительной ОДНТ-тренировки по пятому дню тренировочного цикла с режимами разрежения –25, –35, –40 и –45 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима.

13.06.16 г. проведена ОДНТ-тренировка (182-е сутки полета) по пятому дню тренировочного цикла по схеме –25, –35, –40 и –45 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима. Переносимость тренировки хорошая.

Рекомендовано проведение двух заключительных ОДНТ-тренировок по штатной схеме.

15.06.16 г. проведена первая заключительная ОДНТ-тренировка (184-е сутки полета). Тренировка проведена в полном объеме по индивидуальной схеме (до –40 мм рт. ст.). Самочувствие БИ-4 до, во время и после воздействия ОДНТ оставалось хорошим. Жалоб на самочувствие не предъявлял. Переносимость воздействия ОДНТ хорошая.

16.06.16 г. проведена вторая заключительная ОДНТ-тренировка (185-е сутки полета). Тренировка проведена в полном объеме по штатной схеме. Самочувствие БИ-4 до, во время и после воздействия ОДНТ оставалось хорошим. Жалоб на самочувствие не предъявлял. Переносимость воздействия ОДНТ хорошая.

### Медико-биологические эксперименты

В период полета БИ-4 выполнил большую программу медико-биологических экспериментов:

МБИ-13 «Спланх»: 17–18.03.16; 18–19.05.16;

МБИ-26 «Мотокард»: 22.01.16; 23.02.16\* (см. п. 9); 24.03.16; 30.03.16. Проверка работоспособности аппаратуры; 21.04.16; 20.05.16;

МБИ-27 «УДОД»: 11.01.16; 23.03.16; 13.05.16;

МБИ-29 «Иммуно»: 13–14.01.16; 16–17.05.16;



МБИ-30 «МОРЗЭ»: 15–16.02.16; 23–24.05.16;  
МБИ-33 «Биокард»: 20.01.16; 11.04.16; 18.05.16;  
МБИ-34 «Космокард»: 17–18.12.15; 21–22.01.16; 18–19.02.16; 09–10.03.16;  
20–21.04.16; 17–18.05.16;  
МБИ-35 «Альгометрия»: 29.12.15; 28.01.16; 29.02.16; 30.03.16; 29.04.16;  
26.05.16;  
МБИ-36 «Контент»: 18.12.15; 31.12.15; 14.01.16; 27.01.16; 12.02.16; 25.02.16;  
10.03.16; 24.03.16; 06.04.16; 19.04.16; 05.05.16; 18.05.16; 01.06.16;  
МБИ-38 «Взаимодействие-2»: 23.12.15; 07.01.16; 19.01.16; 04.02.16; 18.02.16;  
29.02.16; 16.03.16; 30.03.16; 13.04.16; 27.04.16; 10.05.16; 25.05.16; 06.06.16;  
МБИ-39 «ДАН»: 25.01.16; 24.02.16; 28.03.16; 22.04.16; 16.05.16;  
МБИ-42 «Коррекция»: 12–14.02.16; 25–28.04.16; 06–08.06.16;  
«Тест» 15.02.16; 28.04.16; 09.06.16.

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

### **Заключение**

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-46/47 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-46/47 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 медицинские операции.

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 629.78.072

### РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ И ЭРГОНОМИКИ

Ю.А. Виноградов, Е.В. Полунина, В.Н. Саев., Л.Е. Шевченко

Канд. техн. наук, ст.н.с. Ю.А. Виноградов; докт. техн. наук, доцент Е.В. Полунина; докт. техн. наук, доцент В.Н. Саев; канд. техн. наук, доцент Л.Е. Шевченко (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Представлено описание структуры космического тренажера как многоуровневой организационно-технической системы, которая характеризуется многообразием связей в групповой деятельности разработчиков и пользователей тренажера. Рассмотрены особенности разработки космических тренажеров как задачи инженерно-психологического проектирования. Выполнен анализ современного технического уровня и тенденций развития технических средств подготовки космонавтов (ТСПК). Проведен анализ нормативных документов, регламентирующих эргономическое обеспечение разработки и эксплуатации ТСПК, определены основные цели, задачи и этапы эргономического обеспечения. Рассмотрены вопросы проведения эргономической экспертизы ТСПК на всех этапах жизненного цикла по программе и методике, разработанной для каждого этапа.

**Ключевые слова:** тенденции развития технических средств подготовки космонавтов, организационно-техническая система сопровождения инженерно-психологического проектирования и разработки космических тренажеров, эргономическое обеспечение, эргономическая экспертиза, эргономические требования.

#### **Development of Technical Facilities for Cosmonaut Training Taking Into Account the Requirements of Engineering Psychology and Ergonomics. Yu.A. Vinogradov, E.V. Polunina, V.N. Saev, L.E. Shevchenko**

The paper describes the structure of a space simulator as a multilevel organizational and technical system, which is characterized by the variety of relations between designers and users of a simulator in the course of group activity. The features of designing space simulators as an engineering and psychological task are considered. The paper analyzes the existing technological level and development trends of Technical Facilities for Cosmonaut Training (Training Complex) as well as normative documents regulating an ergonomic management of designing and operating the Training Complex; defines main objectives, tasks and stages of ergonomic management; discusses issues of ergonomic examination of the Training Complex at all life cycle stages according to the program and methods developed for each stage.

**Keywords:** development trends of Technical Facilities for Cosmonaut Training, organizational and technical system for supporting engineering and psychological designing of space simulators, ergonomic management, ergonomic examination, ergonomic requirements.

## **Введение**

Технические средства подготовки космонавтов (ТСПК) – совокупность технических средств, предназначенная для профессиональной подготовки космонавтов, отвечающая требованиям дидактики и обеспечивающая теоретическую и практическую подготовку, освоение профессиональных компетенций, закрепление знаний, выработку профессиональных навыков и умений, необходимых для выполнения программы космического полета.

В число ТСПК входят специализированные и комплексные тренажеры и тренажерные комплексы, функциональные стенды, компьютерные обучающие и информационные системы. Это сложные эргатические комплексы с искусственным интеллектом, включающие оператора в поток кооперативных коммуникационных взаимодействий с интерфейсом системы. Эргономические факторы, влияющие на обучение в иммерсионных средах, какими являются ТСПК, связаны с подобием моделей среды обучения и среды профессионального опыта.

Космические тренажеры являются интеллектуальными человеко-машинными системами, которые обеспечивают процесс сквозного моделирования работы и динамики моделируемого объекта и управления ходом тренировки. Это позволяет говорить о ТСПК как о целостной системе получения профессионального опыта и профессионализации космонавта в аспектах динамического развития пилотируемой космонавтики и модернизации ее планов.

С точки зрения инженерной психологии тренажеры следует рассматривать как системы гибридного интеллекта [4]. Системы гибридного интеллекта – это всегда комбинированные системы, включающие в себя естественный и искусственный интеллект. Искусственный интеллект в данном случае – это тренажерная модель управляемого объекта. Естественный интеллект – это совокупность интеллектов большого числа специалистов-разработчиков, заложенная в создание тренажера, а также интеллект пользователей (инженеров, инструкторов, обучающихся космонавтов), которые непосредственно работают с тренажером. В совокупности все это составляет сложную организационно-техническую систему, обеспечить надежность и эффективность которой возможно только при надлежащем эргономическом обеспечении.

## **Тренажер как многоуровневая автоматизированная человеко-машинная система**

Целевым назначением космических тренажеров является обеспечение выработки совокупности профессиональных навыков и умений по управлению полетом пилотируемого космического аппарата (ПКА) и работой его бортовых систем и полезной нагрузки, действиям в нестандартных ситуациях, проведению научно-технических экспериментов.

Для обеспечения целевого назначения космических тренажеров в них реализуются две основные функции:

- моделирование функционирования объекта управления и условий работы оператора;
- обучение оператора (формирование и совершенствование профессиональных навыков).

В соответствии с этим тренажер можно рассматривать как двухконтурную систему управления, включающую контур моделирования и контур управления [1]. В контур моделирования включен непосредственно обучающийся опера-

тор и информационная модель управляемого объекта. Обучаемый оператор совместно с моделируемыми системами объекта и моделью внешней среды образуют человеко-машинную систему, которая характеризуется сложным поведением.

Рабочее место оператора (РМО) создается на основе полномасштабного макета ПКА (рис. 1), оснащенного моделями бортового оборудования, органов управления, средств визуального контроля, образующими информационно-управляющее поле оператора.

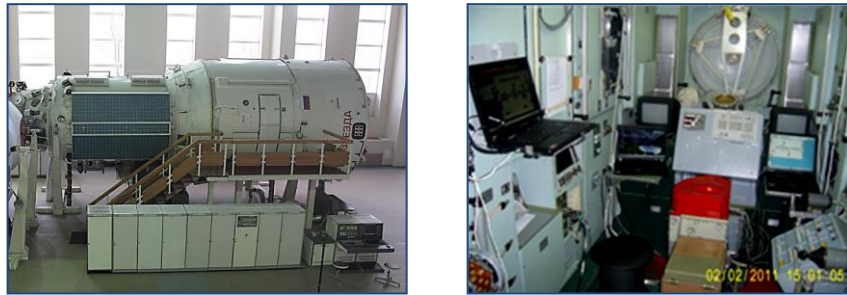


Рис. 1. РМО тренажера служебного модуля МКС

Для полной имитации условий работы на реальном космическом аппарате в тренажере воспроизводится соответствующий объем поступающей оператору информации, а также возникающие у него ощущения. На тренажерах моделируется акустическая обстановка – работа каналов разговорной связи операторов между собой и с ЦУПом, а также шумы работающей аппаратуры бортовых систем. Моделируется визуальная обстановка. Моделируются возможные нештатные и аварийные ситуации. На динамических тренажерах моделируются акселерационные ощущения (ускорения, вибрации, тряски, невесомость).

Информационная модель управляемого объекта формируется программным способом в виде совокупности двух взаимодействующих систем: модели управляемого объекта (динамики движения объекта и функционирования его бортовых систем) и модели внешней среды.

Контур обучения образует система контроля и управления как тренировкой, так и всем процессом подготовки космонавтов. Система управления тренировкой (СУТ) представляет собой автоматизированный многоуровневый комплекс аппаратных и программных средств. Центральным элементом СУТ являются пульты контроля и управления (ПКУ) (рис. 2).

В составе ПКУ используются дисплеи графических станций и видеомониторы телевизионных средств наблюдения за обучающимися в РМО, средства связи с ними, органы управления. Основными пользователями ПКУ являются методисты, инструкторы, инженеры тренажера, эксперты экзаменационной комиссии, врачи, специалисты по системам. Контроль и управление тренировками, оценка деятельности обучающихся космонавтов (экипажей) осуществляется на основе интегрально-факторной организации взаимодействия пользователей ПКУ. Наблюдая за информационно-управляющей моделью при помощи системы отображения информации (СОИ) ПКУ, пользователи получают все необходимые сведения о действии и состоянии системы в целом и осуществляют целенаправленную деятельность по контролю и управлению тренировкой и оценке деятельности обучаемых космонавтов.



Рис. 2. ПКУ тренажерного комплекса российского сегмента МКС

Организация взаимосвязанного функционирования систем тренажера осуществляется средствами вычислительных системы [2] и общего математического обеспечения.

Приведенное описание типовой структуры космического тренажера дает представление о том, что это – многоуровневая организационно-техническая система управления, которая характеризуется многообразием связей в групповой деятельности пользователей тренажера [3]. В связи с этим процесс разработки космических тренажеров основан на системном подходе к инженерно-психологическому проектированию тренажеров, который направлен на оптимизацию деятельности всех пользователей, повышение устойчивости функционирования этой системы в условиях потенциальных отказов техники, надежности при выполнении целевых функций.

### **Разработка космических тренажеров как систем гибридного интеллекта**

Тренажеры для подготовки космонавтов имеют все отличительные свойства систем гибридного интеллекта [4]:

- реализация принципа разделения труда между специалистами при решении ими частных, специальных задач;
- при необходимости решения сложной комплексной задачи согласованное функционирование партнеров – общие ответственность и престиж гибкое перераспределение лидерства и вспомогательных функций между партнерами в зависимости от конкретной задачи и хода ее решения;
- совместный анализ и синтез информации, адаптированный к индивидуальным особенностям партнера, принимающего в данном случае решение, и направленный на формирование у него адекватной модели ситуации как основы принятия решения;
- многоуровневая взаимная адаптация компонентов системы;
- обработка и представление информации в тренажере в виде, соответствующем оптимальным значениям психологических факторов сложности.

Перечисленные свойства систем гибридного интеллекта в космических тренажерах проявляются как на этапах разработки, так и на этапе эксплуатации.

Разработка космических тренажеров основана на системном анализе многолетнего опыта создания нескольких поколений тренажеров для космонавтов и синтезе интеллектов широкого круга специалистов, участвующих в разработке и эксплуатации летных изделий, тренажеров и тренажерных систем. В процессе разработки современного комплекса космических тренажеров участвует более 10 органи-

заций. Это РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала», ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», ГКНПЦ имени М.В. Хруничева и другие ведущие организации, специализирующиеся на разработке различных систем, входящих в состав тренажеров.

Процесс разработки космических тренажеров является многоэтапным, в целом он основан на выполнении требований государственных стандартов, применяемых на стадиях жизненного цикла изделий и материалов. Однако стандарты устанавливают лишь определенную последовательность выполнения видов работ на этапах разработки, которая не отражает реально существующее многообразие прямых и обратных связей производственной системы. Как показывает многолетний опыт разработки космических тренажеров, в результате ряда факторов производственного и экономического характера могут происходить отклонения от сроков, установленных в графиках разработки. Этапы могут частично перекрываться, работа на некоторых этапах может происходить параллельно в нескольких направлениях.

В процессе разработки тренажеров решаются основные задачи:

- психофизиологические: изучение характеристик оператора; анализ деятельности оператора; оценка характеристик выполнения отдельных действий; изучение состояний оператора;

- системотехнические: разработка принципов построения элементов тренажера; проектирование и испытания; оценка надежности и эффективности;

- эксплуатационные: профессиональная подготовка операторов; организация групповой деятельности операторов; разработка методических принципов повышения качества подготовки операторов.

Состав учебно-тренировочных средств для подготовки космонавтов и персонала управления полетом определяется уже на этапе эскизного проектирования ПКА, исходя из состава задач и анализа предстоящей деятельности экипажа в процессе реализации программы полета. Затем в ходе экспертизы эскизного проекта состав учебно-тренировочных средств согласуется со всеми партнерами – участниками разработки тренажера.

Специфика выработки конкретных требований к разрабатываемым космическим тренажерам заключается в том, что в долгосрочном плане не могут быть достаточно конкретизированы как сами методы, так и объекты деятельности космонавтов. Поэтому на ранних стадиях разработки тренажеров формируются общие требования к тренажеру и его подсистемам, исходя из состава задач, которые должен выполнять экипаж в процессе реализации программы полета.

Уточнение отдельных требований к разрабатываемым тренажерам производится на этапе эскизного и технического проектов тренажера. На этих этапах проводится детальная проработка структуры тренажера, исходя из анализа функционально-алгоритмической структуры процесса обучения, контроля и управления тренировкой. Разработка и уточнение требований к тренажерам основывается на синтезе инженерных решений и методического обеспечения процесса подготовки.

На этапе выполнения опытно-конструкторской разработки решающее значение имеют выбор аппаратных средств, на основе которых должен создаваться тренажер, и методов моделирования. И здесь большое значение имеют такие качества разработчиков, как профессионализм и эрудиция, а также научное предвидение, обеспечивающие выбор опережающих разработок.

В дальнейшем, в результате системного анализа деятельности экипажей на борту ПКА при выполнении космического полета и результатов тренировок экипажей на разработанном тренажере, конкретизируются и корректируются требо-

вания к имитируемым бортовым системам тренажера, интеллектуальному интерфейсу экипажа и инструктора. Это влечет за собой необходимость доработок информационных моделей и методик тренировок. Таким образом, разработка космических тренажеров носит итерационный характер.

Доработки тренажеров также связаны с изменением конструкции космического аппарата или изменением конфигурации орбитальной станции в связи с интеграцией в ее состав новых модулей, введением новых бортовых систем или режимов управления, включением новых задач в программу полета. Периодически проводятся модернизации тренажеров в связи с заменой морально устаревшего оборудования систем тренажеров на современное оборудование, рассчитанное на перспективный срок использования.

### **Анализ научно-технической литературы по техническим средствам подготовки космонавтов в части разработки эргономического обеспечения процесса их создания**

Предметом дальнейшего исследования являются вопросы эргономического обеспечения создания ТСПК. Под эргономическим обеспечением в данном случае понимается совокупность нормативно-технических документов тренажеростроения в космонавтике, включая сертификационные нормы и стандарты разработки тренажеров, ГОСТы, разработанные в системе стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения (ССЭТЭО).

Целью поиска и анализа информации является определение современного технического уровня и тенденций развития космических тренажеров и получение на этой основе исходных данных для разработки методических указаний по эргономическому обеспечению создания автономных специализированных тренажеров, функциональных стендов, компьютерных обучающих и информационных систем для подготовки космонавтов. Регламент поиска определен на основе предмета поиска, объекта исследования и конкретных задач патентных исследований.

Предмет поиска (исследования) сформулирован следующим образом: «Технические средства подготовки космонавтов, эргономическое обеспечение их создания». В соответствии с данной формулировкой предмета поиска по указателям классов изобретений (УКИ) определялись классификационные рубрики, в соответствии с которыми должен проводиться отбор патентной информации для анализа. В связи с тем, что в УКИ не найден предмет поиска в данной формулировке, классификация проводилась по терминам, ключевым словам, словосочетаниям.

При проведении тематического поиска были использованы: реферативные и библиографические издания, описания изобретений и патентов с 1998 года по настоящее время (выборочно), РЖ ВИНТИ «Ракетостроение и космическая техника», ЦНТИ «Поиск» «Ракетостроение и космическая техника», ЦИВТИ картотека «Тренажеры», бюллетень новых поступлений в НТБ ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», отчеты по НИР, отраслевая научно-техническая литература, отраслевые сборники докладов научных конференций и семинаров, материалы сайта [www.firs.ru](http://www.firs.ru).

Анализ тенденций и исследование технического уровня ТСПК проводился, исходя из следующего:

– понятие технического уровня объекта техники включает сопоставление его показателей с показателями соответствующей базы сравнения (базового образца, лучшего аналога или другого образца, взятого за базу сравнения);

– тенденции развития и технический уровень ТСПК определяются прогрессом в области науки и техники и напрямую зависят от программно-аппаратной платформы построения и принятой технологии разработки, обязательно включающей вопросы эргономичности ТСПК.

Научно-техническая документация, отобранная для анализа, представлена в списке литературы [5–28].

### **Результаты анализа научно-технической литературы по техническим средствам подготовки космонавтов**

При создании первых тренажеров (60–70-е гг. XX в.) основные усилия были направлены на достижение физического сходства тренажера и моделируемого объекта. Например, в первых космических тренажерах были удовлетворительно реализованы физическое и содержательное подобие рабочего места обучающегося оператора, чего нельзя сказать о рабочем месте обучающих инструкторов – ПКУ. Здесь в качестве средств отображения использовали приборы-повторители. Дополнительно устанавливался минимум других приборов для контроля и управления тренировкой. Такие системы были неудобны в работе, так как вся информация предъявлялась инструктору одновременно без учета того, нужна или не нужна она в процессе отработки конкретного упражнения. Это отрицательно влияло на скорость оценки и переработки информации, поскольку инструктор вынужден был довольно много времени тратить на отбор необходимой информации. Кроме того, пульта подобного типа обладали весьма ограниченной способностью к перестройке в случае изменений в системах управления и отображения.

В последующих разработках тренажеров акцент смещался в сторону использования эргономического подхода, на основе которого разрабатывалась методологическая база и схемы практической реализации всех этапов моделирования объекта, а также анализа и синтеза структур тренажера как программно-технического комплекса, предназначенного для подготовки человека-оператора. Во многом эта проблема решалась благодаря построению психологической модели формирования профессиональной деятельности и реализации эргономических требований к тренажерам.

Эргономический подход к созданию тренажеров включал в последующем эргономическую экспертизу готового изделия на этапе испытаний. Однако отсутствие полноценного эргономического обеспечения создания ТСПК в ряде случаев приводило к тому, что при согласовании технического задания (ТЗ) заказчик и исполнитель ОКР не в полной мере представляли себе перечень требований к образцу и соответствующий объем работ. В лучшем случае эргономические требования предъявлялись в виде качественных показателей – общих эргономических требований, которые определяются ГОСТами, разработанными в ССЭТЭО. (Например, ГОСТ В 29.05.005-84. Тренажеры. Общие эргономические требования или ГОСТ 29.04.003-85. Модели информационные. Общие эргономические требования и др.). Эргономические требования к ТСПК в виде количественных показателей ввиду отсутствия нормативной базы, практически не предъявлялись. Это вылилось в целый ряд неконкретных формулировок ТЗ и в результате к необходимости доработок готового образца, что привело к увеличению временных и материальных затрат на создание тренажера.

В аспекте исследования современные тенденции создания тренажеров как систем управления требуют использование принципов системно-эргономического подхода, определяющего целевую функцию ТСПК как человеко-машинной сис-



темы. Системно-эргономический подход к созданию ТСПК требует соответствия (адекватности) реальному объекту. Адекватность означает воспроизведение в имитируемом объекте результирующих функций, а также внешних и внутренних связей, соответствующих реальному объекту с такой точностью, которая достаточна для решения поставленных задач в необходимом объеме, при этом отличие результата от требуемого допуска должно лежать в поле назначенного допуска.

Проектирование космических тренажеров как обучающих систем направлено на достижение адекватности модели управляемого объекта, воспроизводимой на тренажере. Адекватность является основным требованием системно-эргономического подхода к космическим тренажерам и означает воспроизведение в тренажере результирующих функций, а также внешних и внутренних связей, соответствующих реальному объекту с такой точностью, которая достаточна для решения поставленных задач подготовки в необходимом объеме [5].

Адекватность целей и условий требует воспроизведения как нормальных (штатных) режимов работы, так и других (например, аварийных) состояний объекта моделирования. При этом должна обеспечиваться не только имитация в тренажере тех же конфигураций отказов, что и на реальном объекте, но и адекватное изменение процессов, происходящих при аварии на объекте.

Адекватность интерфейса требует, чтобы параметры рабочего места оператора (размеры, цвет, освещенность, наличие мнемосхем, оборудования и приборов управления, их взаимное расположение и т.п.) были строго одинаковыми на тренажере и на реальном объекте.

Информационная адекватность определяет соответствие имитируемых информационных потоков, воспроизводимых в тренажере, реальному объекту. Информационная адекватность предполагает не только достаточно точную имитацию каждой отдельной составляющей, точный учет динамики ее изменения и высокое качество воспроизведения, но и синхронизацию информации, поступающей от различных источников с динамическими компонентами работы объекта.

Адекватность математического моделирования (динамических моделей) в тренажере является доминирующей. От того, с какой точностью воспроизводятся параметры динамических процессов и режимов, напрямую зависит качество всего тренажера и его дидактическая ценность.

Эргономическая адекватность означает соответствие между всеми элементами, характеризующими взаимодействие оператора с объектом через систему управления. В частности, должна иметь место адекватность реакции объекта на управляющие воздействия от любого органа управления на тренажере как на реальном объекте.

Смысл психологической адекватности можно определить из рассмотрения тренажера в качестве агрегированного комплекса имитаторов отдельных параметров. Каждый отдельный имитатор создает согласно инженерной психологии адекватный «стимул», управляющий оперативно-мыслительной и другой деятельностью. Сопряжение необходимого числа таких имитаторов в единую структуру образует эффективный с позиции психологической адекватности тренажер. Указанная посылка опирается на известную в инженерной психологии схему «стимул–управление–динамическая реакция». Реализация ее в тренажере и обеспечивает правильное формирование навыков и умений в оперативной деятельности.

Построение модели функционирования ПКА и его бортовых систем в тренажерах базируется на основе полунатурного и математического моделирования. Математические модели и допущения, принимаемые при их построении, обеспе-

чивают адекватность математического моделирования, воспроизводя качественно верную физическую картину происходящих в реальной системе явлений во всех имитируемых на тренажере режимах работы объекта моделирования.

С другой стороны, проектирование космических тренажеров направлено на оптимизацию деятельности специалистов по освоению, управлению (использованию), обслуживанию и ремонту тренажеров с целью обеспечения эффективного, надежного, безопасного функционирования системы для достижения функционального назначения при одновременном сохранении здоровья работающих на тренажере специалистов. Поэтому при проектировании управляющих систем и в особенности средств СУТ используются эргономические и инженерно-психологические принципы [6], непосредственно направленные на снижение сложности решения интеллектуальных оперативных задач контроля и управления тренировочным процессом и оценкой операторской деятельности. При этом разработка комплекса СУТ осуществляется на основе квалифицированного использования закономерностей, которые определяют формирование знаний, умений и навыков операторов.

### **Эргономическое обеспечение разработки и эксплуатации технических средств подготовки космонавтов**

Эргономическое обеспечение – совокупность организационно-технических мероприятий, проектно-конструкторских и других работ, направленных на формирование эргономических свойств изделий путем согласования тактико-технических и функционально-технических характеристик с личностными свойствами специалистов (операторов) [29].

Эргономическое обеспечение должно способствовать системному решению задачи согласования свойств человека и характеристик изделия при его создании и эксплуатации в целях обеспечения требуемого качества деятельности, безопасности, работоспособности специалистов и сохранения их здоровья.

Эргономическое обеспечение создания изделий осуществляется в процессе:

- задания требований на создание изделий, их составных частей и комплектующих изделий межотраслевого применения;
- разработки технических предложений;
- разработки тактико-технических заданий (ТТЗ), технических заданий (ТЗ) на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию изделий и их составных частей;
- выполнения ОКР по созданию изделий, их составных частей.

Эргономическое обеспечение при задании тактико-технических (технических) требований к изделиям, их составным частям и комплектующим изделиям межотраслевого применения состоит в разработке и обосновании эргономических требований к ним.

Основными задачами эргономического обеспечения эксплуатации изделий являются:

- сбор, анализ и обобщение данных о затруднениях в работе, ошибках и других факторах снижения качества деятельности специалистов, а также выявления причин, связанных с содержанием деятельности специалистов и эргономическими характеристиками изделий;
- разработка рекомендаций по устранению или компенсации эргономических недостатков изделий и содержания действий специалистов;

– разработка рекомендаций по средствам, методам и организационным мероприятиям, направленным на поддержание необходимой работоспособности специалистов.

Обоснование эргономических требований осуществляют путем анализа назначения, условий эксплуатации, режимов функционирования изделий в соответствии с возможностями человека. После этого определяют содержание деятельности специалистов и необходимые для ее выполнения с требуемым качеством эргономические характеристики изделия, а также профессионально важные качества специалистов.

Разработку эргономических требований осуществляют на основании данных, полученных в результате проведенного обоснования, в соответствии с ГОСТ РВ 29.00.003-96 [30], ГОСТ 20.39.108-85 [31] и другими стандартами, входящими в Систему стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения, требованиями других нормативно-технических документов, а также на основе новых достижений в области эргономики.

В ТТЗ на выполнение ОКР по созданию изделия включают эргономические требования в соответствии с ГОСТ РВ 0029.00.003-96 [30], ГОСТ РВ 15.201-2003 [32], а также требования, вытекающие из результатов выполнения технического предложения.

В ТТЗ (ТЗ) на создание изделий (их составных частей) устанавливают:

- необходимость проведения эргономической экспертизы изделий (их составных частей) на конкретных этапах создания;
- наименование этапов (этапа) работ, на которых должна проводиться экспертиза;
- организации, проводящие экспертизу и участвующие в ней;
- место проведения эргономической экспертизы;
- комплектность документов, предъявляемых на экспертизу и в соответствии с которыми она должна проводиться;
- объем финансирования на проведение эргономической экспертизы.

На этапе разработки эскизного проекта ОКР (составной части ОКР) в соответствии с ГОСТ 2.119-2013 [33] головной исполнитель ОКР (составной части ОКР) анализирует режимы функционирования и условия эксплуатации изделия, определяет технические и программно-информационные пути реализации эргономических требований, в том числе с использованием макетов и моделирующих комплексов, а также результатов натурных экспериментов на изделиях – аналогах или прототипах (при необходимости), и разрабатывает программу эргономического обеспечения создаваемого изделия.

На этапе разработки эскизного проекта ОКР эргономическое обеспечение включает следующие основные работы:

- предварительное распределение функций, выполняемых техническими средствами изделия и специалистами;
- предварительное определение численности специалистов, их основные задачи и функциональные обязанности;
- определение требуемой квалификации специалистов;
- выбор варианта состава технических и программных средств деятельности специалистов;
- разработка вариантов информационных моделей и размещения органов управления, определение наилучшего варианта критерию качества деятельности специалиста (а для задач деятельности, решаемых совместно несколькими специалистами, – по критерию качества деятельности группы специалистов);

- разработка вариантов интерфейсов «пользователь–ЭВМ» и определение наилучшего варианта по критерию качества деятельности специалиста;
- разработка алгоритмов деятельности специалистов для основных решаемых ими задач;
- уточнение показателей, критериев и методов оценки качества деятельности (выполнения алгоритмов деятельности) специалистов;
- определение связей между специалистами и условий, обеспечивающих их взаимодействие;
- определение состава и характеристик инфраструктуры рабочих мест (рабочих зон) специалистов: кресла, поручни, лестницы, вспомогательное оборудование и инструмент, защитные приспособления, специальная одежда и т.д.;
- определение ожидаемых характеристик среды на рабочих местах, оценка уровня их безопасности для специалистов;
- определение необходимости установки специальных средств для охраны окружающей среды и жизнеобеспечения специалистов и, при необходимости, выдают ТЗ на разработку или приобретении таких средств;
- разработка эскизов или чертежей общей компоновки помещений, в которых расположены рабочие места специалистов, и каждого рабочего места.

На этапе создания технического проекта ОКР (составной части ОКР) головной исполнитель разрабатывает эргономическое обеспечение в следующем объеме:

- корректирует, при необходимости, программу эргономического обеспечения создаваемого изделия;
- разрабатывает технические и программные средства с учетом замечаний в части эргономического обеспечения по документам, относящимся к разработке эскизного проекта изделия;
- уточняет распределение функций между техническими и программными средствами изделия и специалистами;
- разрабатывает алгоритмы работы каждого специалиста;
- уточняет состав технических средств для деятельности каждого специалиста;
- уточняет планировку помещений и компоновку рабочих мест;
- определяет организационные и технические меры по защите от ошибочных или случайных действий специалистов;
- уточняет состав и вид средств отображения информации, размещение органов управления, средств обеспечения работоспособности специалистов;
- оценивает удобство проведения регламентных и ремонтных работ, достаточность используемого инструмента и оснастки;
- разрабатывает электронный макет помещения с его предметным содержанием.

Организация и методическое обеспечение работ по оценке полноты и правильности реализации эргономических требований к изделиям, их составным частям в процессе предварительных и приемочных испытаний должны соответствовать требованиям ГОСТ РВ 29.08.001-96 [34].

Эргономическая экспертиза – комплекс научно-технических и организационно-методических мероприятий по оценке степени соответствия эргономических характеристик изделий, их составных частей, а также комплектующих изделий эргономическим требованиям, заданным в ТТЗ [34].

Целью эргономической экспертизы является повышение качества и эффективности функционирования изделий путем контроля реализации эргономических требований, основанных на рациональном учете характеристик операторов, технических средств и факторов среды в функциональных (рабочих) помещениях.

Основными задачами эргономической экспертизы являются:

- контроль и оценка полноты и правильности реализации эргономических требований, заданных в ТТЗ на изделие;
- анализ причин невыполнения заданных эргономических требований и последствий их влияния на реализуемую эффективность изделия;
- обоснование возможных путей совершенствования эргономических характеристик изделия.

Эргономическая экспертиза должна проводиться для изделий, их составных частей, а также комплектующих изделий на всех этапах жизненного цикла по программе и методике, разработанной для каждого этапа. Этапы эргономической экспертизы и их взаимосвязь с этапами жизненного цикла изделия приведены в таблице.

Таблица

Этапы эргономической экспертизы  
и их взаимосвязь с этапами жизненного цикла изделия

Этапы жизненного цикла изделия	Этапы эргономической экспертизы	
	Разработчик	Заказчик
Техническое предложение	Эргономическая экспертиза до приемки технического предложения	Эргономическая экспертиза технического предложения
Эскизный проект	Эргономическая экспертиза до приемки эскизного проекта (заключение представителя заказчика, отзыв НИУ заказчика, экспертное заключение головного НИИ, протокол рассмотрения проекта на НТС, заключение головного исполнителя)	Эргономическая экспертиза эскизного проекта (заключение на эскизный проект ОКР)
Технический проект	Эргономическая экспертиза до приемки технического проекта (заключение представителя заказчика, отзыв НИУ заказчика, экспертное заключение головного НИИ, протокол рассмотрения проекта на НТС, заключение головного исполнителя)	Эргономическая экспертиза технического проекта (заключение на технический проект ОКР)
Изготовление опытного образца	Эргономическая экспертиза при проведении предварительных испытаний комиссией разработчика	–
Государственные испытания опытного образца	–	Эргономическая экспертиза при проведении государственных испытаний комиссией заказчика
Корректировка конструкторской документации и доработка образца	Эргономическая экспертиза конструкторской документации, откорректированной по результатам государственных испытаний	Эргономическая экспертиза конструкторской документации при ее согласовании и утверждении в процессе работы межведомственной комиссии
Эксплуатация образца	–	Сбор и анализ данных об эргономических недостатках образца в процессе его эксплуатации. Разработка предложений по его совершенствованию при модернизации

Эргономическую экспертизу материалов эскизного и технического проектов заказчик проводит в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 29.08.001-96 [34] ОКР (составной части ОКР), представленного головным исполнителем в объеме, указанном выше. Результаты экспертизы отражаются в специальном разделе заключений заказчика о выполнении эскизного и технического проектов ОКР (составной части ОКР). При этом следует учитывать, что порядок разработки программных средств должен соответствовать ГОСТ Р 51189-98 [36], а метрологическое обеспечение измерительных систем – требованиям ГОСТ Р 8.596-2002 [37].

Эргономическую экспертизу при приемке эскизного и технического проектов проводит комиссия по приемке законченных этапов работ.

Разработчик обеспечивает работу комиссии документацией, материалами, приборами, макетами и средствами контроля количественных эргономических характеристик, оцениваемых на данном этапе.

При проведении эргономической экспертизы эскизного и технического проектов оценивают:

- распределение функций между операторами и техническими средствами;
- распределение функций между операторами;
- конструкцию пультов управления, средств отображения информации, органы управления и их размещение на рабочих местах операторов, кресла операторов;
- состав и параметры информационных моделей;
- алгоритмы деятельности операторов управления и обслуживающего персонала;
- качество деятельности операторов управления;
- аппаратуру обучения и тренажа;
- компоновку функциональных (рабочих) помещений и ожидаемые в них значения факторов среды;
- технические средства обеспечения нормативных значений факторов среды в функциональных (рабочих) помещениях;
- технико-эстетическое решение интерьеров помещений, средств деятельности, надписей на панелях управления и средствах отображения.

Результаты эргономической экспертизы включаются в заключение на проект и должны содержать:

- перечень эргономических недостатков изделия, выявленных в процессе экспертизы;
- выводы о степени реализации эргономических требований, заданных в ТТЗ на ОКР;
- рекомендации по устранению выявленных недостатков и улучшению эргономических характеристик изделия.

Эргономическую экспертизу опытных образцов в процессе предварительных и государственных испытаний и после доработки опытного образца по результатам государственных испытаний проводят комиссии по проведению испытаний опытных образцов.

Программы и методики эргономической экспертизы, проводимой при выполнении технического предложения, эскизного и технического проектов до их приемки заказчиком, разрабатывает организация, проводящая эргономическую экспертизу.

Программы и методики эргономической экспертизы, проводимой заказчиком при приемке технического предложения, эскизного и технического проектов, разрабатывает и утверждает заказчик.

Методики эргономической экспертизы при проведении предварительных испытаний опытных образцов изделий разрабатывает головной разработчик изделия и согласовывает с представителем заказчика.

Оформление программ и методик эргономической экспертизы должно соответствовать требованиям ГОСТ РВ 15.211-2002 [38].

## **Заключение**

В результате анализа процесса разработки ТСПК установлено, что:

- космические тренажеры – это многоуровневые организационно-технические системы управления, которые характеризуются сложным поведением и многообразием связей в групповой деятельности разработчиков и пользователей тренажера;

- процесс разработки космических тренажеров основан на системном подходе к эргономическому проектированию, который направлен на оптимизацию деятельности всех пользователей тренажера и функционирования комплекса тренажерных средств с заданными показателями надежности и эффективности;

- разработка космических тренажеров как систем гибридного интеллекта основана на анализе многолетнего опыта создания нескольких поколений тренажеров для космонавтов и синтезе интеллектов широкого круга специалистов, участвующих в разработке и эксплуатации ПКА, тренажеров и тренажерных систем;

- коллективное решение сложных интеллектуальных задач, таких как разработка космических тренажеров и их дальнейшее использование для подготовки космонавтов, включает совместное уточнение проблемы, поиск адекватных подходов, определение характера объекта и внешней среды, совместное формирование адекватной информационной модели;

- реализация перечисленных задач становится эффективной благодаря главному преимуществу систем гибридного интеллекта – максимальному использованию априорного опыта решения, подбору участников разработки тренажеров для наилучшей взаимной индивидуальной адаптации каждой априорной стратегии и соответствующего участника, организации оптимального взаимодействия между участниками при решении задач разработки и использования тренажеров.

Анализ научно-технической литературы по предмету поиска «Технические средства подготовки космонавтов и эргономическое обеспечение их создания» показал, что:

- при создании современных тренажеров используется эргономический подход, на основе которого разрабатывается методологическая база и схемы практической реализации всех этапов моделирования объекта, а также осуществляется анализ и синтез структур тренажера как программно-технического комплекса, предназначенного для подготовки человека-оператора;

- эргономические факторы, влияющие на обучение в иммерсионных средах, каковыми являются ТСПК, связаны с подобием моделей среды обучения и среды профессионального опыта;

- при создании ТСПК должны обеспечиваться две формы подобия – физическое (обеспечивает физическую адекватность законов функционирования среды обучения в ТСПК законам среды функционирования реального ПКА) и содержательное (обеспечивает дидактическую адекватность процессов функционирования ТСПК и ПКА);

- системно-эргономический подход к созданию ТСПК требует соответствия (адекватности) модели реальному объекту, т.е. воспроизведение в модели объекта

результатирующих функций, а также внешних и внутренних связей с такой точностью, которая достаточна для решения поставленных задач в необходимом объеме;

– эргономический подход к созданию тренажеров включает проведение эргономической экспертизы готового изделия на этапе испытаний.

В результате анализа нормативных документов, регламентирующих эргономическое обеспечение создания ТСПК:

– определены основные цели, задачи, этапы эргономического обеспечения и установлено, что эргономическое обеспечение должно способствовать системному решению задачи согласования свойств человека и характеристик технического средства при его создании и эксплуатации в целях обеспечения требуемого качества и эффективности его функционирования;

– установлено, что эргономическая экспертиза должна проводиться для изделий и их составных частей на всех этапах жизненного цикла ТСПК по программам и методикам, разработанным для каждого этапа;

– определен перечень нормативных документов, которые необходимо использовать при разработке эргономического обеспечения процесса создания и эксплуатации ТСПК.

Проблемные вопросы сопровождения проектирования, разработки и эксплуатации ТСПК связаны с тем, что эта организационно-техническая система может рассматриваться как профессиональная среда для космонавтов, в которой они получают не только узкопрофессиональные компетенции, но и достигают эффектов освоения профессионального опыта, передачи практических знаний, профессионализации в целом, что, собственно, и позволяет экипажу достигать высокого уровня готовности к реальной деятельности, непосредственного перехода к выполнению программы полета без какого-либо дополнительного переучивания и переподготовки в реальных условиях космического полета. В этом смысле подготовка космонавтов на средствах ТСПК своеобразна и уникальна, и в этом качестве она не может быть сведена к тем общеэргономическим требованиям, которые сформулированы для областей труда, в которых тренажеры – лишь часть системы профессионализации в наземных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. Развитие комплекса тренажеров орбитальных модулей российского сегмента МКС // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 2(15). – С. 26–35.
- [2] Опыт создания и эксплуатации вычислительных систем космических тренажеров / Лункин К.С., Виноградов Ю.А., Саев В.Н. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(15). – 2015. – С. 102–111.
- [3] Методическое обеспечение операторов комплекса тренажеров российского сегмента Международной космической станции / Полунина Е.В., Шевченко Л.Е., Виноградов Ю.А. // Труды IX Международной конференции «Психология и эргономика: единство теории и практики», 17–19 сентября 2015, Тверь. – С. 47–50.
- [4] Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология информатика. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
- [5] Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. Тенденции развития космических тренажеров // Труды IX международной конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014», 3–5 июля 2014, Санкт-Петербург. – С. 302–309.
- [6] Шевченко Л.Е., Батраков В.В. Пути совершенствования структуры СОИ ПКУ тренажерного комплекса РС МКС // Труды IX Международной конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014», 3–5 июля 2014, Санкт-Петербург. – С. 390–395.



- [7] Тарасов В.Б., Чернышов А.П. Эргономическое обеспечение процессов разработки летательных аппаратов // Кибернетика и вычислительная техника. – Вып. 94. Эргатические системы управления. – Киев: Наукова думка, 1989. – С. 96–102.
- [8] Четвериков В.Н. Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами. – М.: Высшая школа, 1991.
- [9] Современный облик ПКУ космических тренажеров и перспективы его развития / Наумов Б.А., Шевченко Л.Е., Полупнина Е.В. // Тезисы докладов XXXV научных чтений. – Калуга, 2000.
- [10] Погорелов А.Г. Инженерная психология и эргономика. Учебно-методический комплекс. – Институт управления бизнеса и права, 2004.
- [11] Шукшунов В.Е. и др. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технология разработки и опыт эксплуатации. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [12] Князев В.А. Технология оценки уровня деятельности операторов в человеко-машинных системах // Диссертация на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М., 2005.
- [13] Развитие технологии вертолетного тренажеростроения / Бюшгенс А., Литвиненко А., Суханов В. // Вертолет. – 2006. – № 2.
- [14] Шукшунов В.Е. Механика-моделирование-электроника-системотехника-дизайн-производство // Форум «Технологическая база исследований и разработок». – Центр тренажеростроения, 2009.
- [15] Сергеев С.Ф. Методология эргономического проектирования систем искусственного интеллекта для самолетов 5-го поколения // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – 2007. – № 11. – С. 6–11.
- [16] Сергеев С.Ф. Курс лекций по инженерной психологии и эргономике. – Изд-во Санкт-Петербург. университета, 2008. – С. 174–300.
- [17] Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика: Учебное пособие. – М.: НИИ школьных технологий, 2008. – 176 с.
- [18] Володко А.М. Использование комплексных тренажеров для обучения и подготовки экипажей вертолетов действиям в особых ситуациях // Конференции «Состояние и перспективы развития авиационного тренажеростроения», 22–23 августа 2007, г. Жуковский.
- [19] Сохин И.Г. Комплексная подготовка экипажей МКС как управляемый технологический процесс. – РГНИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, 2007.
- [20] Петер Тарп, Стефан Клемент. Сертификационные нормы и стандарты разработки тренажеров для самолетов и вертолетов // Международная конференция. Российский рынок авиационных тренажеров: нормы, технологии, разработки и потребности. – г. Жуковский, 2008.
- [21] Шибяев В.М. Задачи и пути реформирования отечественной нормативной базы авиационных тренажеров в направлении нового Международного стандарта ICAO 9625 // Международная конференция. Российский рынок авиационных тренажеров: нормы, технологии, разработки и потребности. – г. Жуковский, 2008.
- [22] Токарев В.Н. Проблемы гармонизации российских норм и стандартов с международными // Международная конференция. Российский рынок авиационных тренажеров: нормы, технологии, разработки и потребности. – г. Жуковский, 2008.
- [23] Самойлов В.П. Нормативно-правовая база тренажеростроения авиации Вооруженных сил Российской Федерации // Международная конференция. Российский рынок авиационных тренажеров: нормы, технологии, разработки и потребности. – г. Жуковский, 2008.
- [24] Литвиненко А., Бюшгенс А. Тренажеростроение: стратегия развития // Вертолет. – № 2. – 2008.
- [25] Бюшгенс А. Новые тренажеры для летчиков // Вертолет. – № 4. – 2008.
- [26] Литвиненко А. Авиационное тренажеростроение в России. Проблемы и перспективы // Военный парад. – № 4. – 2008.
- [27] Сергеев С.Ф. Эргономика объектов вооружения. Курс инженерной психологии для конструкторов управляемого режима. – Санкт-Петербург.: Политех. ун-т, 2009. – 143 с.

- [28] Магид С.И., Загретдинов И.И. и др. Нормативно-технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических объектов.
- [29] ГОСТ РВ 29.00.002-2005. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Эргономическое обеспечение. Основные положения.
- [30] ГОСТ РВ 29.00.003-96. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Номенклатура, порядок и методы обоснования эргономических требований.
- [31] ГОСТ 20.39.108-85. Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора эргономических требований.
- [32] ГОСТ РВ 15.201-2003. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Тактико-техническое (техническое) задание на выполнение опытно-конструкторской работы.
- [33] ГОСТ 2.119-2013. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект.
- [34] ГОСТ РВ 29.08.001-96. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Эргономическая экспертиза. Основные положения, программы и методики.
- [35] ГОСТ РВ 15.110-2003. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Документация отчетная научно-техническая на научно-исследовательские работы, аванпроекты и опытно-конструкторские работы. Основные положения.
- [36] ГОСТ Р 51189-98. Средства программные систем вооружения. Порядок разработки.
- [37] ГОСТ Р 8.596-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
- [38] ГОСТ РВ 15.211-2002. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения.

УДК 629.785:629.78.06.629.785

**МИССИИ-АНАЛОГИ НАСА, ПРОВОДИМЫЕ В ИНТЕРЕСАХ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В ДАЛЬНИЙ КОСМОС: NEEMO, ISTAR, Mars Yard/Chamber, Antarctic/desert, Hi-SEAS**

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

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

Проведен обзор миссий-аналогов, проводимых НАСА в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос для освоения космических объектов Солнечной системы, а также выполненных при этом научных исследований. В данной статье рассмотрены следующие миссии-аналоги: проект по проведению исследований в экстремальных условиях, МКС как стенд-аналог исследований, проект «Марсианский двор», программа Antarctic/desert, проект Hi-SEAS. Определены цели, задачи, направления исследований в рамках каждого проекта.

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

**Analogue Missions of NASA Implemented in the Interests of Manned Deep Space Exploration: NEEMO, ISTAR, Mars Yard/Chamber, Antarctic/desert, Hi-SEAS. P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, R.R. Kaspransky**

The paper reviews the following analogue missions implemented by NASA in the interests of manned missions in deep space for the purpose of exploring astronomical bodies in the solar system and related research: the project of research under extreme environment; the ISS as the platform for analogue studies; Mars Yard project; Antarctic/desert program; Hi-SEAS project. Scientific objectives, tasks and trends are defined in terms of each project.

**Keywords:** analogue mission, astronaut, extravehicular activity, extreme conditions, spacesuit.

В работе [1] были рассмотрены миссии-аналоги: марсианский проект Хотон, программа исследования и отработка технологий в пустыне, программа демонстрации использования местных ресурсов, проект «озеро Павилион», проект «Марсианская арктическая научно-исследовательская станция», проводимые НАСА в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос для освоения космических объектов Солнечной системы.

В данной статье будут рассмотрены еще несколько проектов НАСА, выполняемых в рамках программы Human Research Program (HRP) – Программа исследований человека.

**Проект по проведению исследований в экстремальных условиях (NASA Extreme Environment Missions Operations - NEEMO)****Окружающая среда: океан**

Водная среда позволяет создать условия, аналогичные условиям жизни и работы в космосе. Для моделирования деятельности астронавтов в условиях пониженной гравитации в условиях гидросреды, НАСА использует не только наземные бассей-

ны, но и подводную лабораторию Aquarius Национального управления по изучению и освоению океана и атмосферы (NOAA), расположенную примерно в шести километрах от Ки Ларго в Национальном морском заповеднике Флорида Киз. Лаборатория расположена рядом с коралловыми рифами на 19-метровой глубине. Изоляция и реальные опасности окружающей среды этой лаборатории делают ее отличным местом для тестирования концепций освоения космического пространства [2].

Аналогичная по размеру жилым помещениям Международной космической станции, лаборатория является единственным постоянным местом обитания человека под водой.

Длительность экспедиций до трех недель обеспечивает имитацию жизни на космическом корабле и позволяет выполнять работы, аналогичные внекорабельной деятельности астронавтов. Во время экспедиций проводились испытания нового навигационного и связного оборудования для перспективных автоматических транспортных средств. Проводимые работы обеспечивают понимание астронавтами (исследователями) ежедневных операций миссии и создают реалистичные сценарии деятельности экипажей в замкнутых объемах в режиме реального времени.

В лаборатории Aquarius с 2001 года отрабатывается программа НАСА под названием NEEMO (NASA Extreme Environment Missions Operations). Основной задачей этой программы является имитация условий работы астронавтов в экстремальных условиях, в том числе, после посадки на поверхности других планет (Марса и Луны) или астероидов.

Лаборатория представляет собой корпус (жилой модуль), по форме близкий к цилиндру, с основанием, имеющим мощные гидравлические винтовые регулируемые опоры (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид лаборатории Aquarius

Жилой модуль имеет длину 13,5 метров, диаметр – около 3,5 метров, внутренний объем помещений – 11 кубических метров, общая площадь около 37 квадратных метров. Такие внутренние размеры примерно соответствуют американскому лабораторному модулю Destiny на МКС. Масса обитаемого модуля около 80 тонн. Модуль рассчитан на размещение 6 человек (в том числе 2 человека – эксплуатационный персонал подводной лаборатории).

Для визуального наблюдения, фото- и видеосъемки результатов экспериментов на корпусе лаборатории имеются иллюминаторы. Внутри корпуса расположе-

ны системы жизнеобеспечения и научная аппаратура, системы связи, рабочая и жилая зоны (кухня, спальни, душевые, туалет). Выход астронавтов из лаборатории в океан и возвращение обратно осуществляется через раздвижной люк, расположенный в полу переходного отсека. Схематично план жилого модуля представлен на рис. 2.

Основание представляет собой 116-тонную конструкцию, которая обеспечивает устойчивое горизонтальное удержание жилого модуля в условиях возможных штормов и приливных течений. Каждая из четырех опор оснащена 25-тонным балластом. Винтовые гидравлические подъемники каждой опоры имеют возможность выдвигаться до 2 м по вертикали.

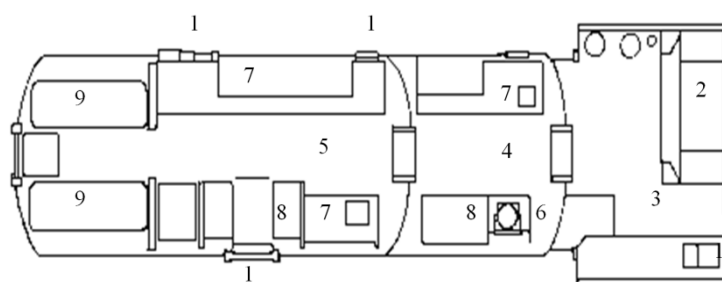


Рис. 2. План жилого модуля лаборатории Aquarius

1 – иллюминаторы; 2 – люк входа и выхода; 3 – переходной отсек; 4 – входной отсек;  
5 – основной отсек; 6 – научная зона; 7 – стол; 8 – сиденье; 9 – койка (3 яруса)

Над лабораторией расположена плавучая платформа (буй жизнеобеспечения) диаметром 10 м (рис. 3), которая удерживается пятью нейлоновыми канатами. На плавучую платформу установлена мачта для антенн связи, компрессорные установки, дизель-генераторы, системы телефонной и радиосвязи. Платформа соединена с лабораторией 42-метровым фалом, который содержит шланги подачи воздуха от компрессоров и кислорода от баллонов, а также кабели электроснабжения от дизель-генераторов и кабели для передачи данных и телефонной связи.



Рис. 3. Внешний вид плавучей платформы над лабораторией Aquarius

Отличительной особенностью экспериментов с использованием подводной лаборатории является работа под водой методом насыщенных погружений. Давление внутри обитаемого модуля соответствует давлению воды на уровне выходного люка, что позволяет проводить длительные эксперименты под водой вне модуля и возвращаться в модуль без проведения декомпрессии. Для примера, время бездекомпрессионного погружения (по стандартам, принятым для астронавтов НАСА) на эти глубины составляет около 80 минут, а при использовании подводной лаборатории проводятся многочасовые эксперименты вне обитаемого модуля. Перед возвращением из подводной лаборатории после завершения программы двухнедельного «полета» астронавты проводят 17-часовую декомпрессию.

Важным моментом этих экспериментов является длительное пребывание в экстремальных условиях. Астронавты оценивают условия проведения экспериментов по программе NEEMO как максимально-подобное моделирование космической среды, которое есть в техническом арсенале НАСА.

С 2001 года по 2015 год в лаборатории было осуществлено 20 «полетов» продолжительностью от 7 до 17 суток.

Основными задачами этих экспериментов являлись:

- отработка навыков работы с научным оборудованием астронавтов при нахождении на внеземной поверхности вне спускаемого аппарата;
- использование транспортных средств передвижения по поверхности Луны и Марса, испытание крана-манипулятора;
- доставка пострадавшего астронавта с поверхности в спускаемый модуль;
- отработка навыков ориентирования на местности и выживания в критических ситуациях;
- отработка операций по строительству ферменных трубчатых конструкций, в том числе с использованием управляемых робототехнических средств;
- управление подводными имитаторами марсианского и лунного роверов;
- исследование высокоскоростных Интернет-технологий и методов диагностирования болезней и проведение хирургических операций;
- физиологические эксперименты, аналогичные проводимым по проекту Марс-500;
- проведение операций на внеземной поверхности, в том числе за пределами посадочного модуля в режиме ограниченной связи с Центром управления полетами или автономно;
- отработка рациональных способов перемещения, в том числе походки астронавта по внеземной поверхности в условиях пониженной гравитации.

### **Международная космическая станция – стенд-аналог исследований (International Space Station Test Bed for Analog Research - ISTAR) Окружающая среда: низкая околоземная орбита**

Международная космическая станция (МКС) предлагает уникальную платформу для испытания будущих исследовательских систем, потому что она обеспечивает длительную невесомость и возможность оценить многие факторы, недоступные в других миссиях-аналогах. НАСА использует МКС в качестве испытательного полигона для длительных полетов по следующим направлениям:

- определение рисков и вызовов здоровью и безопасности астронавта;
- подготовка экипажей к выполнению автономных операций;
- исследование влияния временных задержек связи;

- подготовка наземных элементов;
- развитие технологий;
- оценка новых систем по мере того, как они становятся доступными.

В 2012 году НАСА представила программу моделирования аналога Марс-миссии на МКС до 2016 года. Данная миссия на МКС направлена на решение ключевых технологий исследования космического пространства и концепции проведения человеком миссий за пределами околоземных орбит [3].

Результаты выполнения программы аналога Марс-миссии на МКС позволят совершенствовать технику для космических полетов и всей космической инфраструктуры, что позволит обеспечить безопасность космических полетов по программе исследования астероидов и Марса.

*Цели миссии:*

- проведение исследований основных этапов полета к Марсу – старта, межпланетного перелета, посадки как можно более реалистично в эксплуатационных ограничениях МКС;
- выявление рисков для человека во время длительного полета и разработка мероприятий по их парированию, чтобы подготовиться к Марсианской экспедиции;
- изучение задач/операций, которые будут выполняться экипажем автономно при полете к Марсу;
- разработка предложений по планированию полета и функций экипажа в длительных экспедициях;
- определение критических процессов подготовки к полету, включая исследование функций комплекса управления, обучение экипажа, порядок разработки планов полета, потребности в обеспечении полетов и сертификации летной готовности, которые уникальны для длительных полетов на Марс;
- определение наиболее эффективных способов общения с учетом длительности времени прохождения сигналов;
- исследование рисков неблагоприятных поведенческих условий и психических расстройств из-за длительного полета;
- определение требований для обеспечения возможности проведения экипажем исследовательских экспедиций;
- проверка различных концепций освоения космоса.

*Основные требования*

Восемьдесят процентов времени выполнения на МКС Марс-миссии должны планироваться Центром управления полетами МКС.

Марс-миссия проводится с участием трех или более членов экипажа в течение как минимум четырех месяцев. Члены экипажа, участвующие в программе, должны взаимодействовать только друг с другом не менее 85 % времени орбитального полета.

Контроль выполнения задач Марс-миссии должна проводить специально созданная группа управления.

Марс-миссия проводится с задержкой связи, которая изменяется с расстоянием от Земли и соответствует задержке, ожидаемой во время перелета Земля–Марс.

Задержка связи во время выполнения задач аналога миссии применяется ко всем видам связи.

*Задачи экипажа*

Во время выполнения Марс-миссии экипаж будет имитировать следующие типовые и целевые операции:

- запуск экипажа, деятельность на низкой околоземной орбите, деятельность по подготовке к отлету марсианского корабля;
- общая уборка, приготовление пищи и питание, обслуживание и ремонт оборудования, физические упражнения, личная гигиена, отдых, общение с семьей и друзьями;
- техническое обслуживание марсианского корабля и его систем, деятельность по связям с общественностью;
- коррекция траектории и осуществление маневров;
- осуществление обновления программного обеспечения полета;
- подготовка экипажа к действиям в нештатных ситуациях;
- подготовка экипажа к действиям на орбите, при спуске с орбиты, при старте с планеты, деятельности на поверхности планеты;
- обучение экипажа действиям на орбите Марса, стыковке с обитаемым модулем на поверхности, теле- и робототехническое управление поверхностной инфраструктурой, системами спуска/старта и посадки;
- три недели адаптации экипажа к гравитации Марса.

Программа ISTAR направлена на обеспечение длительных периодов работы космонавтов на орбите, аналогичных по длительности миссии на Марс или на околоземный астероид.

Одним из направлений исследований на космической станции является исследование взаимодействия людей и роботов. Это работы с роботом Robonaut 2 (R2) на МКС (рис. 4). Условия на космической станции являются идеальными для работы робота в непосредственной близости от человека, в то же время в условиях невесомости. Предусмотрено развитие системы добавлением нового программного обеспечения и подсистем, таких как ноги или средства передвижения, что позволит R2 работать за пределами космической станции.

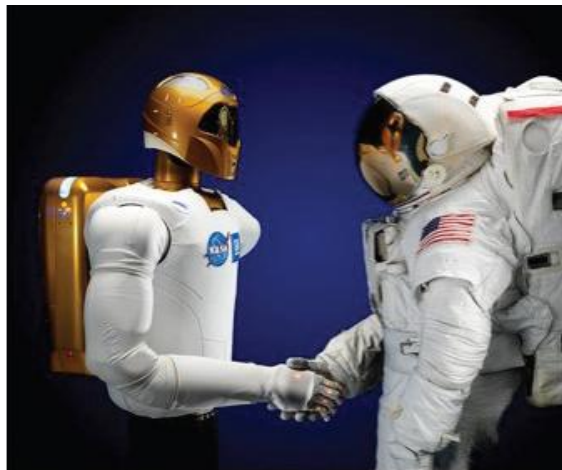


Рис. 4. Robonaut 2 на борту МКС пожимает руку космонавту



### Проект «Марсианский двор» (Mars Yard - MY) Среда обитания: искусственно созданный полигон

Проект Mars Yard представляет собой искусственно созданный полигон, который имитирует рельеф марсианской поверхности. Расположен в США на территории Центра пилотируемых космических полетов имени Л. Джонсона, вблизи городов Пасадена и Бейтаун штата Техас. Организационно входит в состав Лаборатории реактивного движения НАСА. Основным назначением этого объекта является отработка технических решений и испытания автоматических марсоходов [4, 5, 6, 7, 8].

Испытательная зона представляет собой площадку на открытой местности с естественным освещением, на которой создается необходимый рельеф (уклоны, неровности, траншеи, камни и т.д.). Искусственный грунт полигона состоит из специально подобранной комбинации песка, кирпичной пыли, гранитной крошки и вулканического пепла. Присутствуют также фрагменты скальных пород. На этом полигоне проводились отработка конструкции и испытания трех поколений американских марсоходов, запущенных НАСА с 1996 по 2011 годы. В связи с увеличением размеров и массы разрабатываемых марсоходов (см. таблицу), размеры испытательной зоны для каждого нового проекта увеличивались.

Таблица

Размеры и масса марсоходов НАСА

	«Curiosity»	«Spirit» / «Opportunity»	«Sojourner»
Запуск, год	2011	2003	1996
Масса, кг	899	174	10,6
Размеры (Д×Ш×В), м	3,1 × 2,7 × 2,1	1,6 × 2,3 × 1,5	0,7 × 0,5 × 0,3

Эволюция размеров марсоходов показана на рис. 5, где на переднем плане показан марсоход «Sojourner», слева прототип марсоходов «Spirit» и «Opportunity», а справа – «Curiosity». Если первоначально площадь испытательной зоны составляла около 325 м<sup>2</sup>, то в 2007 году она была расширена до 1950 м<sup>2</sup>. В настоящее время испытательная зона занимает 2376 м<sup>2</sup> и имеет размеры 66 x 36 метров (рис. 6).

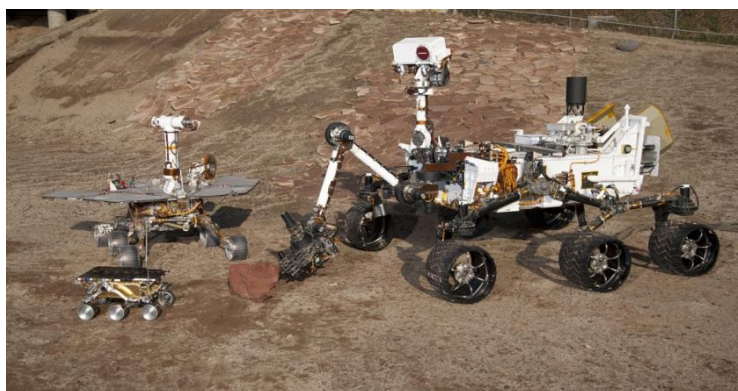


Рис. 5. Марсоходы НАСА на полигоне

В Европейском космическом агентстве (ЕКА) в марте 2014 сдан в эксплуатацию объект с аналогичным названием «Mars Yard». Этот объект разработан компанией Airbus Defence and Space и расположен в городе Стивенидж (Англия). Испытательная зона размером 30 x 13 метров расположена внутри помещения, и фактически представляет собой короб, заполненный 300 тоннами песка. На поверхности песка испытательной зоны моделируются неровности в виде небольших ямок, имеются небольшие уклоны. Кроме того, на поверхности испытательной зоны располагаются препятствия в виде камней (рис. 7). Этот полигон ЕКА предполагает использовать для тестирования марсохода в рамках проекта «ЕхoMars», который планируется к запуску в 2018 году.

Рядом с испытательной зоной расположены складские помещения для хранения и обслуживания марсоходов, а также помещения для размещения специалистов, оргтехники и ЭВМ и оборудования.



Рис. 6. Общий вид полигона Mars Yard (НАСА)



Рис. 7. Общий вид полигона Mars Yard (ЕКА)

**Работы по программе Antarctic/desert**  
**Окружающая среда: Антарктида**  
**Inflatable Lunar Habitat Analog Study in Antarctica –**  
**Исследование аналога надувного обитаемого лунного модуля**  
**в Антарктиде**

Процесс исследования Луны может осуществляться кратковременными или долговременными экспедициями.

На первом этапе для размещения астронавтов, необходимого оборудования и инструмента будет достаточно объема лунных спускаемых аппаратов, но длительное пребывание потребует специальных помещений и значительного количества оборудования и инструмента [9].

В связи с этим разрабатываются различные жилые модули, которые обеспечивают необходимую защиту человека от внешних воздействий и поддерживают его жизнедеятельность. Кроме того, помещения для проживания должны легко собираться, так как астронавты будут работать в скафандрах. Одним из перспективных направлений создания лунных обитаемых модулей является создание надувных модулей.

НАСА завершило цикл испытаний легкого надувного жилого модуля в Антарктиде. Испытания проводились на станции Мак-Мердо более года при низких температурах (до  $-60$  °С) и сильном ветре (с порывами до  $90$  км/ч).

Участниками проекта являлись: НАСА, Национальный научный фонд (NSF) и компания ILC Dover LP.

Общей целью этого совместного проекта является проектирование, строительство и испытания надувного жилого модуля. Модуль должен иметь хорошие прочностные характеристики, позволяющие осуществлять его эксплуатацию в крайне суровых зимних условиях, а также легко разворачиваться, собираться и транспортироваться.

В процессе испытаний запланировано получение информации о параметрах атмосферы внутри и вне модуля, а также об энергопотреблении модуля. Возможное применение данного жилого модуля для будущих полетов позволит сократить количество оборудования и топлива, необходимого для транспортировки на Луну.

Легкий надувной жилой модуль (рис. 8) был разработан и изготовлен компанией ILC Dover LP и был развернут в январе 2008 года на станции Мак-Мердо в Антарктиде в сотрудничестве с НАСА и Национальным научным фондом.



Рис. 8. Надувной жилой модуль

Одной из ключевых особенностей легкого надувного жилого модуля является возможность его быстрой установки. Модуль был распакован и полностью развернут менее чем за 50 минут бригадой из трех человек. По конструкции модуль является палаткой, но по прочностным характеристикам соответствует зданию, и в отличие от палатки, модуль имеет почти жесткую структуру, которая может выдерживать тяжелый снег и ветер до 160 км/ч. Жесткость конструкции модуля обусловлена применением инновационной трубчатой конструкции под слоем изоляции.

Легкий надувной жилой модуль легко собирается и трансформируется в небольшой объем. Соотношение объемов развернутого и собранного модуля составляет 15:1.

В надувном жилом модуле предусмотрена защита от радиации с использованием местных ресурсов (лунного грунта – реголита). Для этой цели на внешней поверхности модуля имеются специальные сумки. Эти сумки в реальных условиях заполняются реголитом. В процессе проведения испытаний вместо реголита использовался снег, которым были заполнены «реголитовые сумки» (рис. 9).

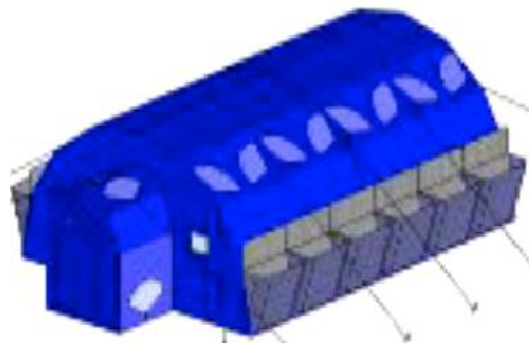


Рис. 9. «Реголитовые сумки» на модуле

Внутри жилого модуля были установлены датчики температуры, давления, влажности, воздушного потока, контроля двуокиси углерода, расхода энергии. Снаружи модуля были установлены датчики температуры, ветра и интенсивности света. Эти датчики были размещены в различных местах, в том числе на полу и даже под землей.

С помощью тепловизора выявлялись места утечки тепла. Были установлены осветители, обогреватели, компьютеры, антенны для передачи информации.

В процессе испытаний исследователи хотели получить ответы на следующие вопросы:

- может ли модуль быть установлен человеком с ограниченной подвижностью (низкая гравитация и громоздкие скафандры);
- может ли модуль быть собран, перемещен и вновь установлен в другом месте;
- сможет ли модуль эффективно работать в условиях очень низких температур, смогут ли надувные стены обеспечивать достаточную теплоизоляцию;
- сможет ли модуль быть достаточно устойчивым, чтобы противостоять холоду, сильному ветру и пыли в течение длительного периода времени.

По результатам годичного эксперимента было сделано несколько важных выводов:

- перспективные надувные жилые модули должны иметь более высокий уровень автономности;
- перспективные надувные жилые модули необходимо комплектовать стандартизированными встроенными датчиками с беспроводной передачей информации (чтобы ни один из датчиков не мешал другим);
- конструкция жилого модуля должна быть более жесткой, чтобы на внутренней стороне модуля можно было размещать различные приборы.

### **Проект Гавайского центра космического моделирования Hawai'i Space Exploration Analog and Simulation (Hi-SEAS) Окружающая среда: вулкан**

В научном центре Hi-SEAS проводят моделирование полета человека на Марс для решения проблем, которые могут возникнуть во время будущих космических миссий [10].

Центр расположен в изолированном месте на северном склоне вулкана Мауна-Лоа на острове Гавайи. Выбранный для программы район находится на высоте приблизительно два с половиной километра над уровнем моря. Это довольно скалистая, сухая область, в которой выпадает небольшое количество осадков и довольно прохладно. Здесь специалисты НАСА занимаются научными исследованиями, которые позволят определить, что потребуется для поддержания нормальной жизни экипажа космического корабля во время продолжительного перелета на Марс и пребывания на планете (рис. 10).

В ходе проведения экспериментов экипажи миссий располагаются в модуле, представляющем из себя купол, диаметр которого равен 11 метров, а объем составляет 385 кубических метров. Внутри купола имеются рабочая и жилая зоны, расположенные на двух уровнях (рис. 11, 12). Первый этаж общей площадью 92 квадратных метра (полезная площадь 82 квадратных метра), включает общие зоны, такие как кухня, столовая, ванная с душем, туалет, лаборатория и некоторые другие места общего пользования. Площадь помещений второго этажа составляет около 40 квадратных метров и включает шесть отдельных кают для экипажа.

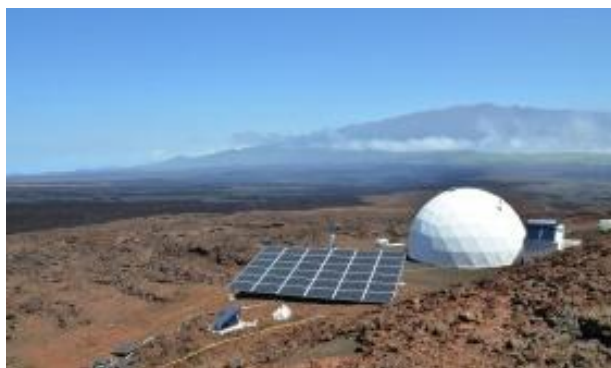


Рис. 10. Общий вид базы Hi-SEAS



Рис. 11. Общий вид внутри купола на базе Hi-SEAS



Рис. 12. Каюты экипажей

Каждый член экипажа располагается в отдельной полукруглой каюте, в которой имеется кровать, стол и стул. Одежда хранится под кроватью.

Приготовление пищи производится экипажами из сублимированных продуктов, не требующих заморозки.

Связь с «внешним» миром осуществляется через специальную электронную почту, письма по которой будут отправляться с задержками, как если бы они шли с Марса. Также у участников будет доступ к некоторым сайтам, кэшированные страницы которых будут находиться в памяти компьютера.

Выход из купола членами экипажей осуществляется только в скафандрах (рис. 13).

Проводимые в рамках проекта Hi-SEAS исследования позволяют определить, какие работы сможет совершать экипаж в полной экипировке и как долго прослужат их скафандры. В то же время, они позволяют изучить человеческий фактор – психологическое поведение человека в замкнутом пространстве. Прежде всего, определить, смогут ли люди, обладающие различными навыками, работать как единое целое с поставленными перед ними задачами. Как отмечали члены работавших экипажей, в ходе отдельных экспериментов внутри коллектива неоднократно возникали конфликты и разногласия, участников одолевали приступы



Рис. 13. Имитация работы астронавта на поверхности Марса в скафандре

подавленного настроения и мучительного беспокойства. Помимо психологических проблем, в последние дни миссий некоторым членам экипажей пришлось пережить болезни, усталость, нехватку питьевой воды, неполадки с энергосистемой жилища, перепады электричества, штормы.

Всего, начиная с августа 2013 года, по проекту Hi-SEAS осуществлено две миссии продолжительностью по четыре месяца, одна миссия продолжительностью восемь месяцев. Очередная (четвертая) миссия продолжительностью 12 месяцев началась 29 августа 2015 года. В этой миссии участвуют шесть членов экипажа.

## Выводы

1. Для подготовки к осуществлению полетов пилотируемых и автоматических космических аппаратов к планетам и астероидам Солнечной системы НАСА разработало и выполняет программу исследований, направленную на проверку концепций выполнения планируемых миссий, демонстрацию новых технологий решения всего спектра задач, которые будут выполняться в космосе, более глубокого понимания общесистемных, технических и оперативных проблем.

2. Одним из направлений исследований является проведение миссий-аналогов на Земле. Миссии-аналоги являются полевыми испытаниями в местах, которые определены на основе сходства физических условий в этих местах с условиями на космических объектах, на которых осуществляется целевая миссия.

Основные требования к выбору мест проведения миссий-аналогов заключаются в следующем:

- сходство рельефа местности с рельефами Луны и Марса;
- экстремальные значения температур на площадках проведения исследований;
- изолированное расположение площадок для реализации реалистичных сценариев общения.

3. При реализации Программы исследований человека НАСА широко использует имеющиеся исследовательские площадки, созданные другими организациями для своих целей. К таким относятся работы в Арктике, Антарктиде, под водой по программам NEEMO и PLRP, в космосе на МКС. Для реализации других программ НАСА создает собственные исследовательские площадки.

4. Основными направлениями исследований по Программе полевых испытаний являются:

- оценка и тестирование систем и операций ВКД в пустынной среде с сильно пересеченной местностью, такой как метеоритные кратеры, крутые склоны, вулканические поля, равнины с различным составом почвы, в условиях пыльных бурь, при экстремальных температурах;
- оценка технологий применения человеко-машинных и автоматических систем;
- разработка технологий использования местных ресурсов – грунта, воды, электроэнергии;
- проведение геологических, биологических, геофизических, медицинских, физиологических и других экспериментов в условиях, аналогичных тем, которые могут быть на Марсе;
- исследование деятельности групп людей (экипажей) в условиях изоляции и реальных опасностей окружающей среды.

5. Опыт проведения исследований в НАСА показывает, что для обеспечения реализации «Концепции российской пилотируемой космонавтики» и «Стратегии российской пилотируемой космонавтики на период до 2035 года» целесообразно организовать отечественные комплексные исследования проблем выполнения космических полетов за пределы низкой околоземной орбиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миссии-аналоги НАСА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: HMP, DESERT RATS, ISRU, PLRP, FMARS / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 3(20) – С. 68–79.
- [2] The Aquarius Underwater Laboratory: America's "Inner Space" Station: Сайт National Oceanic and Atmospheric Administration [Электронный ресурс]. URL: <http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/diving/aquarius/aquarius.html>, (дата обращения 25.10.2014).
- [3] The International Space Station: Unique In-Space Testbed as Exploration Analog. Сайт НАСА, 12-2199\_A1b.
- [4] Mars Yard Ready for Red Planet Rover. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Mars\\_yard\\_ready\\_for\\_Red\\_Planet\\_rover/](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_yard_ready_for_Red_Planet_rover/)
- [5] Mars on Earth. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Mars\\_on\\_Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Mars_on_Earth)
- [6] The MarsYard III. <http://www-robotics.jpl.nasa.gov/facilities/facility.cfm?Facility=14>
- [7] Three Generations of Rovers in Mars. <http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA15278>
- [8] Mars Yard Testing Ground for Rovers. <http://guardianlv.com/2014/03/mars-yard-testing-ground-for-rovers/>
- [9] NASA's Analog Missions: Paving the Way for Space Exploration. 563511main\_NASA-Analog-Missions-06-2011\_508. Сайт НАСА. (дата обращения 15.07.2015)
- [10] Hi-SEAS (Hawaii Space Exploration Analog and Simulation), <http://hi-seas.org/>. (дата обращения 07.08.2015).



УДК 004.81:159.942.52

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ В КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Б.И. Крючков, В.М. Усов, М.В. Михайлюк

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
докт. физ.-мат. наук М.В. Михайлюк (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, г. Москва)

Создание робототехнических систем космического назначения составляет одно из направлений перспективных программ пилотируемых полетов. На сегодняшнем этапе особое внимание уделяется антропоморфным конструкциям роботов-помощников экипажа для поддержки внутрикорабельной и внекорабельной деятельности. Дистанционное управление такими роботами-манипуляторами предполагает задание человеком-оператором (ЧО) сложных двигательных актов на исполнение манипуляционному роботу в ручном (копирующем) режиме. Этот режим подразумевает применение метода захвата движения рук ЧО с помощью носимого костюма (экзоскелета), одеваемого на верхний плечевой пояс. Для дистанционного управления роботами с более широкими возможностями автономного функционирования имеются и другие способы построения человеко-машинного интерфейса. В качестве альтернативы методам контактного съема информации, когда взаимодействие ЧО с органом управления осуществляется на физическом уровне (*англ.*: Instrumented Haptic Interface Devices), могут рассматриваться способы бесконтактного формирования управляющих сигналов с помощью технологий распознавания и идентификации движений ЧО «на расстоянии». В свете этих посылок в статье рассматриваются вопросы проведения инженерно-психологических исследований на базе исследовательских компьютерных стендов с использованием СЗД.

**Ключевые слова:** пилотируемый космический полет, космонавт, взаимодействие «космонавт–робот», человеко-машинный интерфейс, система захвата движения.

### **Engineering-Psychological Designing of Human-Machine Interaction.**

**B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, M.V. Mikhailyuk**

The development of space robotic systems is one of the promising trends in manned space exploration. Today, the special attention is paid to creating humanoid robots to support crews during intra/extravehicular activity. For remote controlling manipulation robots, a human operator (HO) should give to a robot the complex motor acts in a master-slave mode. This mode means capturing movements of a human operator's hands using special equipment for an upper body called an exoskeleton. To provide a distant control of robots having extended functionality there are other human-machine interfaces. The alternative to methods of contact sensing of information when an interaction between a HO and a command element is realized at the physical level are methods of noncontact forming of control signals using the technology of remote detection and identification of a HO's movements. Considering the above said, the paper discusses issues of engineering-psychological computer-assisted studies using the Movement Haptic Device.

**Keywords:** manned space mission, interaction "cosmonaut - robot", man-machine interface, Movement Haptic Device.

## Введение

Двигательная сфера человека традиционно является важным источником информации о его поведенческой и рабочей активности, что широко используется в психофизиологии труда, эргономике и инженерной психологии. Согласно [17] все двигательные задачи можно разделить на четыре класса «по назначению органов управления»:

1) Операции включения, выключения и переключения. Манипулирование соответствующими органами управления строится по принципу простых реакций или реакций выбора, основной характеристикой которых является время реакции.

2) Двигательные задачи, заключающиеся в выполнении последовательного ряда повторяющихся движений, с помощью которых осуществляются операции кодирования и передачи информации. Характеристикой повторяющихся движений является их темп.

3) Третий класс двигательных задач наблюдается при манипулировании с органами управления для настройки аппаратуры и точной установки управляемого объекта. В этом случае необходимо дозирование движений по их силовым, пространственным и временным параметрам в соответствии с некоторой заданной мерой. Основным фактором, определяющим их динамику, является точность дозировочных реакций.

4) Операции слежения за изменяющимися объектами. Задачи, выполняемые оператором в процессе движения, относятся к классу непрерывных перцептивно-моторных задач.

Там же отмечается, что управляющие движения оператора характеризуются следующими основными «группами характеристик – скоростными (временными), пространственными, силовыми и точностными».

Эту рабочую классификацию можно взять за основу при проектировании взаимодействия ЧО и манипуляционного сервисного робота.

В эргономике рабочие движения человека традиционно составляют предмет изучения в аспектах приложения методов антропометрии к компоновке рабочих мест, оценки моторного поля и других показателей при изучении человеческого фактора в робототехнике, так как в эргатических системах «человек–техника» на основе анализа движений человека-оператора (ЧО) могут быть получены объективные оценки качества деятельности и удобства (юзабилити) человеко-машинных интерфейсов [41].

Применительно к робототехнике выявились новые аспекты изучения рабочих движений ЧО, так как дистанционное управление активными агентами потребовало изучения, каким образом в режиме реального времени и в полном объеме передать сигналы управления от ЧО манипуляционному роботу и проконтролировать их исполнение [2]. В частности, повышенное внимание стало уделяться «системам захвата движения» или Motion Capture (сокр. *русск.*: СЗД или *англ.*: Мосар), которые предназначены для «получения и регистрации данных о движении реальных объектов в реальном мире», в том числе, когда для управления роботами создается виртуальное окружение [27, 33, 41, 46, 47].

В данной работе выполняется анализ существующих и перспективных решений построения СЗД в интересах улучшения взаимодействия «космонавт–робототехническая система» за счет расширения средств контроля исполнения двигательных актов при дистанционном управлении космическими роботами и для уточнения назначения управляющего движения ЧО.

Далее СЗД рассматриваются в расширенном толковании задачи захвата движения как составной части проблемы построения человеко-машинного интерфейса с акцентом на вопросы, которые представляется возможным решить на этапе инженерно-психологического проектирования средств деятельности космонавта с использованием исследовательских компьютерных стендов.

### **Состояние вопроса построения и применения СЗД**

Одно из основных направлений внедрения новых информационных технологий – это улучшение человеко-машинного взаимодействия. Анализ надежности деятельности ЧО приобретает все большее значение в проектировании сложных эргогических систем. При этом важно не только фиксировать внешние проявления поведенческой активности ЧО по показателям его поведения, речи, мимики, жестикологии и др., но и получить релевантную информацию, по которой можно сформировать управляющие команды дистанционно управляемому роботу и составить представление о состоянии работоспособности самого ЧО.

С точки зрения истории вопроса необходимо отметить, что первые шаги в области создания СЗД, пригодных для эргономических исследований современных изделий робототехники, сформировались в таких областях как конструирование промышленных роботов (копирующее управление, многостепенные ручки, супервизорный режим управления и др.), а также (что в дальнейшем стало диктовать основные тенденции в этой области) в сфере мультипликации и анимации при производстве кинокартин, в игровой индустрии.

Воплощение идей голосовых и жестовых команд при взаимодействии пользователя с компьютером, а затем и в носимых устройствах связи и коммуникации и др., привело к еще большему разнообразию подходов и предлагаемых решений бесконтактного управления роботами.

Сегодня особенно актуально получение практически значимых результатов в области дистанционных бесконтактных методов сбора информации и распознавания «смыслового содержания» двигательных актов человека при управлении робототехническими системами (РТС). Кроме того, попытки наделяния сервисных роботов интеллектуальными способностями адаптации к социальному окружению также ставят на повестку дня вопросы построения человеко-машинного взаимодействия на основе управления речью, жестами и пр. [1, 10, 19, 24, 25, 34, 49, 50, 52, 53, 57].

На сегодняшний день накоплена обширная литература по вопросам захвата движения и применения СЗД, но при этом основные принципы выбора и варианты классификации рассматриваются преимущественно с позиций получения исходных данных, экономичности и практичности (юзабилити) способов, методик и инструментария измерений [14, 16, 26, 34, 45].

В отношении построения органов дистанционного управления роботами эта тематика имеет близкое, но все же несколько иное, расширенное содержание, поскольку не может быть сведена исключительно к вопросам регистрации данных и выбора сенсоров и датчиков для СЗД. Не менее сложные и важные для пилотируемой космонавтики инженерно-психологические вопросы связаны с адаптацией методологии изучения двигательных реакций и произвольных двигательных актов к проектированию органов управления роботами на основе СТЗ как той части человеко-машинного интерфейса, которая обслуживает канал передачи информации от ЧО к роботу. Эти вопросы должны рассматриваться для решения прикладных задач в соответствии с поступательным развитием косми-

ческой робототехники. В частности, в пилотируемой космонавтике к настоящему времени широко апробированы супервизорные способы управления космическими манипуляторами для поддержки внекорабельной деятельности (ВнеКД) космонавта. Опыт формирования управляющих команд традиционными исполнительными органами развитых пультов в составе рабочих мест, безусловно, оказался успешным и, кроме того, в ходе испытательных работ были апробированы способы управления с выносных пультов, что существенно расширило возможности космонавта по реализации решений в сложной динамически меняющейся обстановке ВнеКД. Эти варианты построения средств управления манипуляционными роботами были реализованы не только в виде специализированных тренажеров для подготовки космонавтов, но и в виде компьютерных моделей и виртуального представления окружения для тренажеров космонавтов [27, 28, 30–32].

Появление антропоморфных конструкций для построения сервисных космических роботов-помощников экипажа при поддержке внутри- и внекорабельной деятельности экипажа потребовало поиска новых органов управления, и в этих целях – проведения специальных наземных лабораторных, а также и натуральных исследований и экспериментов для проверки их приемлемости для условий космического полета.

Так, например, в режиме космического эксперимента (КЭ) применительно к внутрикорабельной деятельности рассматриваются дистанционные способы управления антропоморфными изделиями робототехники непосредственно из ЦУПа с помощью многостепенных ручек и носимого костюма типа экзоскелета, одеваемого на верхний плечевой пояс ЧО [13].

Постановка такого рода сложного КЭ исходит из посылки, что для нестандартных условий деятельности в экстремальной среде копирующие дистанционные режимы управления антропоморфными роботами представляются предпочтительными для реализации в пилотируемых полетах, несмотря на множество известных ограничений человеческого фактора.

В аспектах выполнения пилотируемых полетов к Луне и Марсу, в дополнение к режиму ручного управления роботами антропоморфного типа, признается необходимым изучать режимы дистанционного управления автономными мобильными роботами (АМР) разных конструкций в условиях напланетной работы космических экипажей. Этот вариант выполнения пилотируемых миссий с использованием АМР (например, при освоении Луны) несомненно потребует новых решений в области построения органов управления космическими роботами, в том числе с использованием так называемых бесконтактных способов взаимодействия «человек–робот». Аргументом в пользу такой позиции является опыт применения автономных мобильных роботов в сложных наземных условиях, который продемонстрировал перспективность управления с помощью речевых команд и жестов. Этот путь построения многомодального интерфейса требует междисциплинарных исследований в области человеко-машинного взаимодействия, включая «человекоориентированные вычисления» для очувствления роботов и наделения их интеллектуальными способностями адаптации к социальной среде, что отвечает современным подходам в области когнитивных наук [18, 25, 41, 54].

Необходимо отметить, что существуют развитые специализированные системы, которые анализируют движения рук человека, речевую продукцию человека, его мимику, телодвижения, физиологические показатели. При этом в работе [18] отмечается, что на сегодняшний момент не существует системы, полностью

реализующей требования практики по распознаванию психофизиологических реакций человека.

Тем не менее, вне зависимости от того, как будет использована информация о двигательной активности ЧО (например, для построения управления роботами и/или для оценки состояния работоспособности человека), в первую очередь требуется обеспечить высокое качество измерений в ходе функционирования окончного звена СЗД – датчиков, сенсоров, системы регистрации сигналов [33]. Затем, уже на этой основе, появляется возможность осуществлять переход к алгоритмам распознавания типа движения, его «смыслового» контекста с учетом состояния рабочей среды и конкретной ситуации управления.

### **Существующие и перспективные системы распознавания управляющих движений и реакций человека в ходе взаимодействия с роботом**

Проблема захвата и распознавания характера движения активно исследуется не только в робототехнике, а фактически повсюду, где человек взаимодействует с машиной, включая стационарные компьютеры, носимые информационные средства типа смартфонов, планшетов, «умных часов», навигаторов и др.

Важно отметить, что успехи распознавания движений во многом подготовлены классическими учениями о физиологии движений (Бернштейн, Анохин и др.), а также исследованиями в области биомеханики и смежных областях [4, 5, 15, 17, 21, 51].

Эти данные представляют существенный интерес для разных областей знаний: физиологии труда, гравитационной физиологии, робототехники и др. Так, изучение рабочих движений человека дает возможность оценить их точность, стабильность в различных неблагоприятных условиях (утомление, наличие помех и др.), а также при использовании различных органов управления (в том числе, манипуляционным роботом).

Захват движения, как самостоятельный раздел теории и практики построения биотехнических систем, посвященный получению данных о поведенческой активности человека в составе эргатической системы, представляет также несомненный интерес в свете современных проблем развития методологии инженерно-психологического проектирования средств ввода информации в системы обеспечения взаимодействия «человек–робот».

Рассмотрим некоторые из применяемых на практике технологий. Приводимые ниже по тексту сведения цитируют данные, которые широко представлены в разных источниках и с незначительными вариациями повторяются как в печатных работах, так и в Интернете [31].

На сегодняшний день существуют большое количество СЗД, построенных на разных принципах измерения, оцифровки, идентификации и передачи движений. Рассмотрим наиболее распространенные решения, потенциально пригодные для применения в условиях пилотируемой космонавтики.

Сегодня при разработке антропоморфных космических роботов в первую очередь изучаются возможности так называемых «механических СЗД». Они представляют собой систему датчиков, непосредственно измеряющих углы между жестко закрепленными на суставах человека стержнями, повторяющими их движения. Примерами являются носимые экзоскелеты на верхний плечевой пояс, шлемы для захвата движений головы человека.

Механические системы захвата движения непосредственно отслеживают величину сгибов в суставах, и для этого на верхний плечевой пояс человека надевается специальный механический «Мосар-скелет», который повторяет все движения в соответствующих суставах рук человека. На обработку передаются данные об углах сгибов всех суставов, которые контролируются соединениями «Мосар-скелета». Наиболее часто для управления применяется «Мосар-скелет» для верхнего плечевого пояса, в то время как для целей реабилитации и выполнения ассистивных функций (для лиц с ОВЗ с нарушениями двигательных функций) носимый экзоскелет может надеваться на любую подвижную часть тела и в отдельных случаях применяться для функциональной диагностики совместно с подвижными (силовыми) платформами для захвата движений всего тела при сохранении в вертикальной позе равновесия на неустойчивой опоре.

Отметим кратко полезные возможности СЗД типа подвижных платформ для контроля состояния ЧО при погружении в искусственную среду на основе технологий виртуальной реальности, так как они позволяют исследовать функцию равновесия, тесно связанную с функционированием тех анализаторов, которые наиболее подвержены негативному воздействию невесомости в космическом полете (нарушению их взаимодействия).

СЗД типа подвижных платформ в физиологии спорта и восстановительной медицины применяются для оценки сохранения и регуляции позы. Этот подход имеет хорошее теоретическое и методическое обоснование [15, 21, 23, 42, 43]. Например, такие платформы позволяют реализовать метод «стабилометрии», который основан на регистрации положения, отклонений и других характеристик проекции общего центра массы тела человека на плоскость опоры [42, 43].

Стабилометрия позволяет объективно оценить состояние функции равновесия человека. Это важно, когда выполнение движений для управления динамическим объектом происходит в условиях измененной гравитационной обстановки и при возмущающих воздействиях на вестибулярный аппарат человека, а также в условиях возникновения зрительно-моторных и зрительно вестибулярных рассогласований по типу «тренажерной болезни», когда визуальное восприятие движения в пространстве не совпадает с потоком воздействующей на организм ЧО неинструментальной информации. Основным показателем – качеством функции равновесия (КФР) – может войти в состав методики контроля функционального состояния ЧО при выполнении операторских функций.

Расчет показателя функции равновесия для целей диагностики, как правило, основан на сравнении объективных показателей, отражающих состояние равновесия в покое (статическое равновесие) и при выполнении серии функциональных проб (динамическое равновесие), в числе которых могут быть тесты сенсомоторной координации [23, 36, 44].

Такую же функцию, как механические СЗД, при захвате движения рук и других частей тела человека могут выполнять гироскопические или инерциальные системы для сбора информации о движении. Они используют миниатюрные гироскопы и инерциальные сенсоры, расположенные на теле человека – так же, как и маркеры или магниты в других аналогичных по назначению СЗД. Данные с гироскопов и сенсоров передаются в компьютер, где происходит их обработка и запись. СЗД может определять не только положение сенсора, но также угол его наклона. Это позволяет воспроизводить в определенном диапазоне копирующие режимы, а также реализовать интерактивные режимы взаимодействия ЧО с вир-

туальным окружением [6, 8]. Для таких решений можно указать наличие коммерчески доступных СЗД [29, 40].

Возможности оценки движения с помощью датчиков-акселерометров для психофизиологических исследований представлены также в литературном обзоре в аспектах мониторинга физической активности человека [29].

Кроме вышеуказанных СЗД существуют магнитные системы, в которых маркерами являются магниты, а камерами – ресиверы, система высчитывает их позиции по искажениям магнитного потока. Этим не исчерпывается перечень возможных технических решений, отражающих специфику построения биотехнических систем для оценки двигательной активности человека как в норме, так и при изменении состояния его работоспособности.

Широкое распространение получили безмаркерные технологии, основанные на анализе видеоизображений и применении дальномерных систем [26, 37, 58].

Технология идентификации движения на основе анализа видеоизображения распространена в спортивной медицине, клинической нейрофизиологии, при функциональном обследовании опорно-двигательной системы в гравитационной физиологии, прикладной психофизиологии и других смежных областях. Одна из традиционных схем исследования движений человека с использованием системы видеонализа заключается в следующем. На характерные точки на теле человека наклеиваются светоотражающие маркеры (катафоты). Человек, движения которого необходимо зарегистрировать и затем воспроизвести на компьютерном «аватаре» (виртуальном агенте антропоморфного типа), совершает движения, записываемые несколькими видеокамерами. При компьютерной обработке видеозаписи определяются координаты этих характерных точек. Эти координаты могут использоваться для вычисления углов в суставах скелетного многозвенника и дальнейшего анализа движений человека (или анимации аватара).

Имеются отечественные публикации [2, 3, 14, 46, 62], посвященные разработке СЗД человека на основе датчиков-маркеров, в которых описаны алгоритмы для определения активного объекта на сцене, определения позы человека и проверки корректности расположения маркеров, распознавания движений человека.

Распознавание человека на видеоизображении для определения его реакции может осуществляться при помощи технологий безмаркерного захвата движений (например, когда требуемая информация собирается от сенсора Microsoft Kinect).

Представляют интерес работы, в которых производится анализ данных на основе нескольких видов СЗД, в частности, решается задача совместной обработки показаний системы видеонализа и инерциальных датчиков для учета накапливаемой ошибки измерений [6]. В работе [61] для комплексирования с измерениями систем видеонализа предлагается использовать современные малогабаритные блоки на основе инерциальных микроэлектромеханических систем (МЭМС датчиков).

Заслуживает краткого рассмотрения математический аппарат, который позволяет создать графический (образ) скелет и исследовать движение, представленное в 3D-формате.

Исследование локомоций человека с помощью плоской многозвенной модели может осуществляться как в виде прямой, так и в виде обратной задачи динамики [2, 22, 35, 45, 49, 59, 63].

Например, матрица перехода из системы координат KCS устройства Kinect в СК CS<sub>1</sub> (см. рис. 1) будет иметь вид:

$$M_{CS_1} = M_R M_{T,OA}, \tag{1}$$

$$M_R = \begin{pmatrix} e_{1,x} & e_{2,x} & e_{3,x} & 0 \\ e_{1,y} & e_{2,y} & e_{3,y} & 0 \\ e_{1,z} & e_{2,z} & e_{3,z} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_{T,OA} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -A_x \\ 0 & 1 & 0 & -A_y \\ 0 & 0 & 1 & -A_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где  $M_R$  – матрица поворота осей,  $M_{T,OA}$  – матрица переноса начала СК из точки  $O$  (начало системы KCS) в точку  $A (A_x, A_y, A_z)$  левого плеча;  $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3$  – базисные векторы СК CS<sub>1</sub> (соответствующие осям  $X_1, Y_1, Z_1$ ) с координатами в СК KCS.

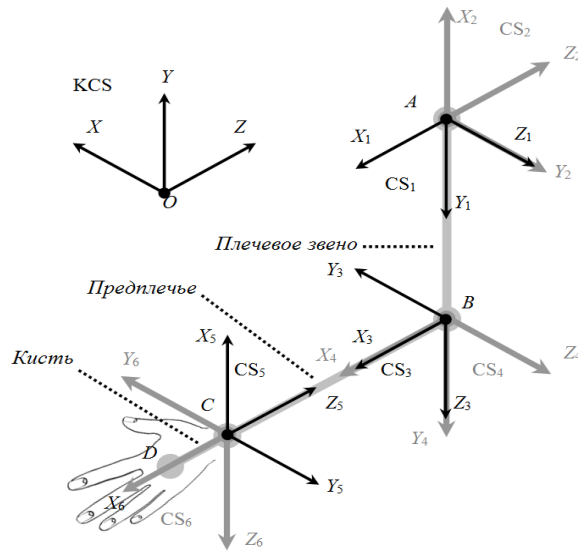


Рис. 1. Системы координат в точках руки

При решении прямой задачи динамики вводят начальную конфигурацию системы, а также вектор управления. После численного интегрирования системы дифференциальных уравнений находят конечную конфигурацию системы, а также кинематические и динамические траектории.

При моделировании, основанном на интегрировании дифференциальных уравнений, определяются начальные кинематические и динамические параметры, и прослеживается переход механической системы из одного известного положения в другое.



При решении обратной задачи динамики по известным кинематике и траекториям движения сегментов тела человека определяются силы/моменты, вызвавшие это движение.

При решении как прямой, так и обратной задачи механики часто опираются на следующие упрощающие решение задачи предположения, лежащие в основе построения модели тела человека:

- сегменты тела человека (включая туловище) абсолютно твердые;
- все суставы идеальные;
- длины сегментов, положения центров масс известны;
- определены линейная и угловая кинематика звеньев тела;
- массы, тензор моментов инерции звеньев тела известны;
- силы реакции приложены в центрах вращения в суставах;
- моменты управления являются функциями сил межзвенных реакций, углов, угловых скоростей;
- силы сопротивления внешней среды известны.

### **Математические и алгоритмические подходы к анализу видеопотока для идентификации положения тела и конечностей человека**

В литературе описаны модели внутрикадрового представления тела человека или «внутрикадровые модели» для решения задачи идентификации жестовых команд. Все модели представления тела человека внутри кадра видеопотока можно разделить на двумерные (2D) и трехмерные (3D) или воксельные (*англ.*: voxel-volume element – объемный элемент изображения, термин, введенный по аналогии с pixel) [1, 16].

Первый класс точечных моделей представляют силуэтные модели, в которых кадровый образ тела описывается множеством точек его силуэта [56, 59–61, 63].

Полная силуэтная модель формируется путем последовательного применения операций вычитания фона кадра, пороговой бинаризации изображения, получения его силуэта и замены силуэта множеством силуэтных точек. Другим способом представления изображения тела человека внутри кадра видеопотока является скелетная модель, согласно которой изображение тела преобразуется в скелет и далее в видеопотоке производится трекинг характерных точек скелета [10, 11, 12, 48, 49, 55].

Понятие скелета или срединной оси плоской фигуры было впервые введено в конце 60-х годов XX века Бламом, который показал, что медиальное представление фигур (*англ.*: *Medial Representation*) на двумерных изображениях является эффективным способом описания их геометрической структуры. По сравнению с традиционным представлением формы медиальное представление является более информативным, оно отражает как общую структуру объекта, так и детальную структуру его элементов. Скелет сохраняет информацию о топологической структуре объекта и сокращает объем памяти, необходимой для ее хранения.

Одна из сопутствующих задач – формализация описания движений человека. В работе [56] показано, что это может осуществляться на базе нечеткой логики посредством ввода лингвистических переменных, которыми сможет оперировать разрабатываемая автоматизированная система распознавания в рамках концепции описания характерных телодвижений на ограниченном естественном языке для поиска информации на видеоизображении. Такие описания может составить эксперт предметной области для последующего использования при автоматической обработке данных.

Рассматриваются следующие параметры: часть тела, продолжительность движения, скорость движения и направление движения. Можно сказать, что в этом случае подсистема поиска характерного движения на видеоизображении основана на интерпретирующей модели.

Одним из интенсивно разрабатываемых направлений исследований в психологии труда и инженерной психологии является изучение глазодвигательной активности ЧО, которое потребовало разработки систем отслеживания движения (трекинга) глаз или ай-трекинга.

Методы, использующие регистрацию движения глаз, давно привлекали интерес специалистов в области создания систем интерфейса в качестве перспективного метода управления динамическими объектами. «Возможность с высокой точностью измерять положение и анализировать движения глаз с определением направления взора – технология отслеживания глаз, или ай-трекинга – чрезвычайно важна для научных исследований, изучающих процессы зрительного восприятия или использующих зрительную стимуляцию» при проведении исследований интерфейса «человек–машина» [41].

Согласно [38, 39] современные системы трекинга глаз обеспечивают:

- высокую точность и надежность измерения движений глаз;
- монокулярные и бинокулярные измерения;
- эффективные алгоритмы анализа движений глаз;
- совместимость с другим исследовательским оборудованием;
- удобство настроек программного обеспечения, высокую скорость и эффективность управления аппаратурой;
- интеграцию с тренажерами-имитаторами, реальными транспортными средствами и другим оборудованием;
- оценку статуса ЧО и мониторинг внимания.

Необходимо отметить, что технологии ай-трекинга сегодня представляют обширную область прикладных исследований, основанных на анализе маршрутов движения глаз, поиска релевантных признаков, которые определяют когнитивную активность человека и используются им для формирования рабочих гипотез о состоянии рабочей среды и контролируемых в ней объектов, поиска и опознания объектов в составе сложной визуальной сцены [7]. Для целей контроля состояния ЧО возможна более узкая постановка задачи выявления свойств распределения внимания и перемещения фокуса внимания в ситуации поиска релевантной информации в разных условиях зрительной деятельности.

В психофизиологии труда и инженерной психологии анализ окуломоторных реакций используется для оценки состояния ЧО, ввиду такого преимущества метода видеоокулографии, как высокая скорость реагирования в реальном времени, высокое разрешение по времени (в зависимости от задачи, анализируемого параметра и алгоритма оценивания регистрирующая аппаратура может иметь частоту от 30–50 Гц до 1000 Гц и выше) [20, 38, 39].

С учетом достижений современной элементной базы, методы видеоокулографии являются перспективными с точки зрения разработки аппаратуры мониторинга и контроля функциональных состояний ЧО на тренажерах и исследовательских стендах [38, 39].

В ряде случаев методики и инструментарий ай-трекинга подразумевают применение технологий виртуальной, дополненной и индуцированной реальности, так как шлем виртуальной реальности служит и для создания условий наблюдения через стереопару, и для отслеживания углов поворотов головы ЧО. Это на-

правление исследований двигательной активности ЧО, связанное с разработкой шлемов виртуальной реальности и встроенных в них ай-трекеров, важна для изучения процессов зрительного восприятия.

### Моделирование контактных интерфейсов для реализации в составе исследовательского компьютерного стенда

Исследовательские задачи копирующего управления манипуляционным роботом с помощью специальных дополнительных устройств и органов управления, надеваемых на ЧО (компьютерные перчатки, экзоскелет и т.д.), освещены в литературе достаточно подробно [2, 22], в том числе с использованием средств моделирования виртуального окружения [9, 27, 31, 32, 47].

В случае копирующего режима управление роботом-манипулятором выполняет человек с помощью специального костюма – экзоскелета как задающего устройства, которое кинематически подобно манипулятору. Встроенные в экзоскелет датчики могут определять углы поворота головы, торса, рук и ног оператора (если робот моделирует только верхнюю часть человека, то используется неполный экзоскелет, который определяет ориентацию торса, головы и рук, возможно совместно с системами трекинга, закрепленными на очках или шлеме виртуальной реальности). Заданное ЧО движение должно быть отработано (скопировано) роботом. При моделировании робота в виртуальной среде необходимо полностью симитировать поведение виртуальной модели, аналогичное реальному роботу, что требует построения схемы автоматического пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования.

Рассмотрим, каким образом может быть реализована эта схема применительно к исследовательскому стенду для проектирования человеко-машинных интерфейсов.

В работе [47] описана реализация копирующего режима управления антропоморфным роботом. Для съема данных с экзоскелета используется специальный блок, который принимает данные по согласованному информационному протоколу, содержащему значения углов поворота всех шарниров. Принятые значения поступают на вход соответствующих регуляторов. Функциональная схема ПИД регулирования для одного из двигателей при реализации копирующего режима показана на рис. 2.

Для построения и моделирования сложных систем управления в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН разработан редактор функциональных схем [30], имеющий библиотеки функциональных блоков и позволяющий моделировать схемы управления для реальных механических систем (рис. 3).

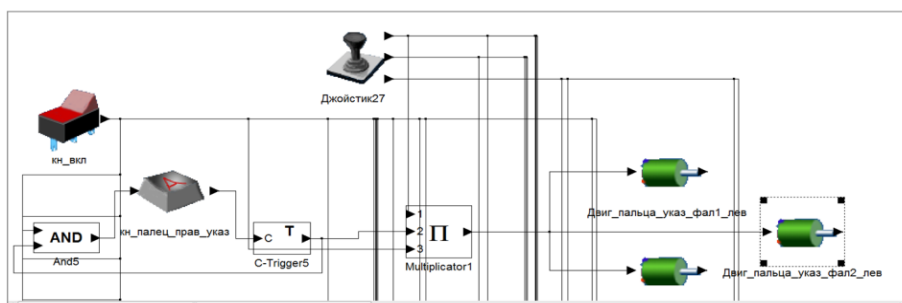


Рис. 2. Фрагмент схемы для управления фалангами пальцев

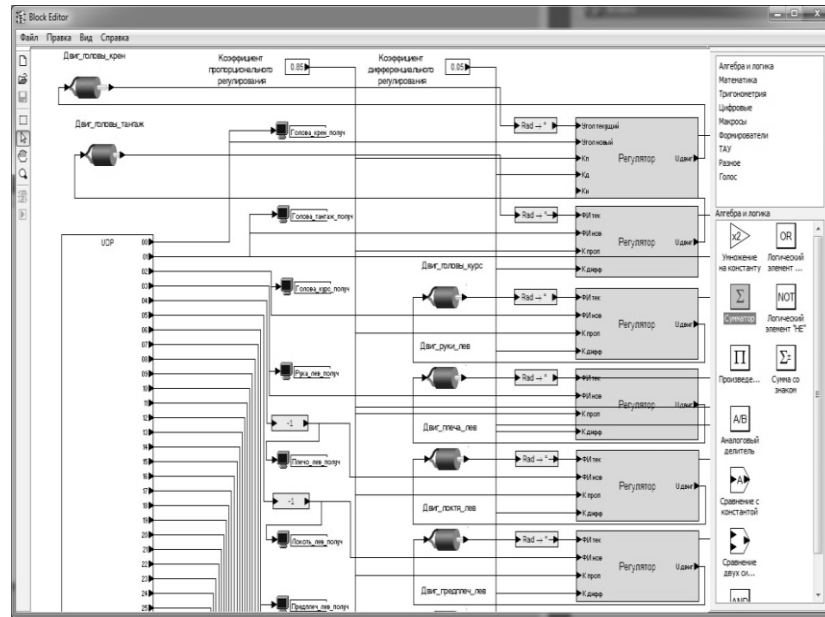


Рис. 3. Визуальный редактор функциональных схем

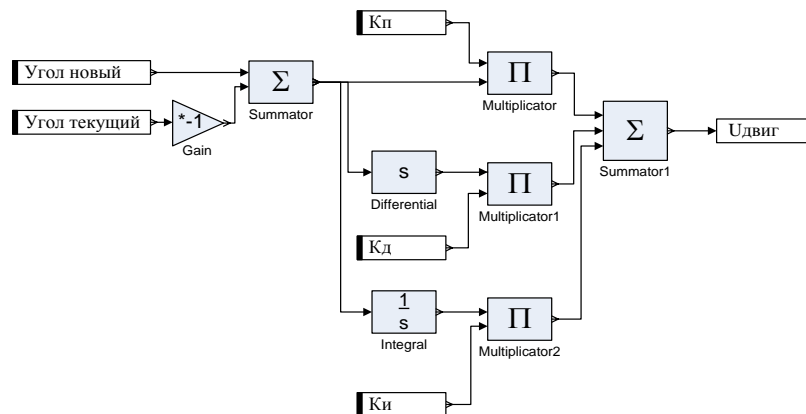


Рис. 4. Функциональная схема ПИД регулирования

Общая функциональная схема ПИД регулирования представлена на рис. 4. В этой схеме управления используются следующие функциональные блоки: сумматор, умножение, константа, дифференциатор и интегратор. Значения текущего угла поворота двигателя передаются в подсистему управления из подсистемы моделирования динамики. Новое значение угла поворота, к которому необходимо привести двигатель, поступает от экзоскелета через подключаемый модуль. Значение рассогласования вычисляется с помощью блоков умножения на кон-

станту (-1) и сумматора. Далее значение рассогласования поступает на входы блоков дифференциатора и интегратора. Значения пропорционального, дифференциального и интегрального регулирования умножаются на соответствующие коэффициенты  $K_p$ ,  $K_d$  и  $K_i$ , а затем складываются с помощью блока «Сумматор». Результирующее значение интерпретируется как напряжение и передается на вход двигателя в подсистему расчета динамики. Если обозначить через  $\varphi = \varphi_H - \varphi_T$  разность нового и текущего значений углов поворота двигателя, то для напряжения получается формула

$$U = K_{II}\varphi + K_{ID}D(\varphi) + K_{II}I(\varphi). \quad (2)$$

В работах [9, 31] представлены данные о практической реализации копирующего режима управления антропоморфным роботом на основе применения вышеизложенного подхода.

В литературе в меньшей степени представлены работы по построению естественных бесконтактных интерфейсов для обеспечения взаимодействия космонавта с РТС.

### **Моделирование бесконтактного взаимодействия космонавта с РТС**

Рассмотрим постановку задачи, когда в качестве дополнительного условия выступает ограничение, состоящее в том, что выдачу управляющих команд необходимо осуществить бесконтактным способом на основе голосовых и жестовых команд.

В данном случае для того, чтобы принять адекватное решение, ЧО должен иметь возможность:

- 1) постоянного поддержания связи и ведения коммуникации с РТС;
- 2) поддержания в актуальном состоянии знаний и образных представлений о текущей ситуации на основе обратной визуальной связи о состоянии внешней среды, в которой реализуется активность РТС.

Из инженерной психологии известно, что в условиях стресса и жестких временных ограничений принятие ЧО ответственных решений должно сопровождаться повышенными мерами безопасности, направленными на снижение ошибок выдачи таких команд самим космонавтом, а также на исключение ошибок, связанных с неточным распознаванием «естественной» речи и жестов.

Речевая форма коммуникации и/или жестовый способ взаимодействия требуют единообразной трактовки и интерпретации команд и семантических конструкций участниками человеко-машинного диалога. В этом смысле правомерно требование обеспечить такую реализацию способа бесконтактного управления, при котором ЧО сочетает определенные голосовые команды привычными жестами, и при этом их содержание находится в тесном соответствии друг с другом. Подкрепление речи фиксированной жестикуляцией в объеме небольшого числа управляющих команд, построенных на экономных движениях руки и/или пальцев, является достаточно естественным требованием, но, тем не менее, предполагает специальное обучение ЧО таким видам ведения диалога на основе принятых в команде (экипаже) соглашений.

Исходным пунктом данного исследования принимается, что заранее был сформирован некоторый набор исполнительных действий для бесконтактного управления РТС, который можно представить в виде программных модулей, готовых для исполнения при передаче соответствующей команды от ЧО в «верхний

уровень управления» РТС в ходе экстренной реализации бесконтактного управления в супервизорном режиме. Именно для инициализации программных модулей используются скриптовые команды.

Исходя из этого предположения, в данной работе акцент исследования переносится на вопрос, каким образом ЧО может актуализировать исполнительную активность РТС в подходящих для этого условиях и, в том числе, каким образом достичь необходимых результатов на основе заранее сформированных программных модулей управления РТС. Другими словами, в основе принятия решения ЧО должно быть точное знание условий перемещения РТС, параметров их позиционирования и динамики движения, текущих сценариев активности, способов остановки и/или инициализации активности с учетом особенностей «модели картины внешнего мира» РТС, и это те условия, которые требуют информационного обеспечения на основе человеко-машинного интерфейса.

Реализация бесконтактного управления РТС в приведенных выше предположениях строится на основе комбинированного речевого и жестового интерфейса, ориентированного на использование ЧО проблемно-ориентированного языка общения с роботом, который является основой для передачи командных скриптов в «верхний контур управления» РТС, который, собственно, и предназначен для интерфейса с ЧО [19, 54].

Для улучшения «включенности» ЧО в текущую ситуацию при построении диалогового управления в общем случае необходимо обеспечить визуальное представление виртуальной среды, отражающее начальное и конечное состояние реального мира до и после выполнения операции. Визуальное построение текущего и ожидаемого состояния среды требует применения технологии индуцированной виртуальной реальности (ИВР).

Применение ИВР преследует цель интеграции отображаемых ЧО данных от датчиков и сенсоров АМП, получающих информацию о процессах в реальном физическом мире.

Применение ИВР в тех ограничениях, которые перечислены выше, требует выполнения ряда предварительных этапов конструирования виртуальной среды для последующего 3D-представления на средствах индикации для ЧО [28]. Они включают формирование и описание:

- 3D-модели объектов виртуального мира;
- сценариев поведения для моделей объектов и активных агентов и возможного изменения отображения в виртуальной среде;
- «видимости» при конкретных положениях «внешнего наблюдателя» контролируемых ЧО объектов виртуального окружения РТС (определяется положение объектов относительно друг друга, их размер, повороты и другие необходимые атрибуты для построения зрительной сцены);
- возможных сценариев влияния объектов друг на друга, в том числе коллизий и контактного взаимодействия;
- возможных изменений объектов виртуального мира и состояния внешней среды при воздействии на них активных агентов и перемещениях РТС;
- последствий (исходов) действий каждого активного агента при его взаимодействии с объектами среды и самой средой.

### **Предлагаемая схема построения интерфейса «космонавт–РТС»**

Используемая методическая схема построения бесконтактного управления РТС предполагает выполнение следующих условий:

- на предварительном этапе формируется набор программных модулей, позволяющих получить 3D-визуализацию исполнения действия РТС как в рамках технологии виртуальной реальности, так и в форме индуцированной реальности для учета данных из внешней среды о параметрах реальной активности робота; эти модули могут быть переданы для исполнения в контур управления «верхнего уровня» РТС и должны храниться в БД ПАК на рабочем месте ЧО;

- с каждым программным модулем связывается некоторое элементарное «законченное по смысловому содержанию» действие, которое кодируется скриптом; скрипты хранятся в БД в вычислительной системе на рабочем месте ЧО и на уровне исполняемых программ в составе РТС; предполагается, что эти скрипты на рабочем месте ЧО и модули в системе управления робота синхронизированы и идентичны; допускается формирование новых скриптов как некоторой композиции исходных согласно правилам допустимых переходов на графе потенциальных событий в составе сложного действия, состоящего из элементарных, ранее запрограммированных;

- рабочее место ЧО должно быть оборудовано ПАК, предназначенным для распознавания голосовой и жестовой команды ЧО; после производства голосовой и жестовой команды ПАК производит ее распознавание и кодирование.

На рабочем месте ЧО средствами ПАК выполняется контроль:

- наличия в БД скрипта, соответствующего этой распознанной команде, и проверяется наличие заранее запрограммированного действия РТС, которое связано с этим скриптом;

- выполнения требуемого действия в данных конкретных условиях – заранее подготовленный скрипт запускается на выполнение в моделируемой виртуальной среде и на основе моделирования выполняется индикация планируемого действия согласно распознанной команде в виде 3D-динамического образа;

- речевой продукции ЧО с целью исключения речевых ошибок типа оговорок, нечеткого произношения, ошибочных решений ЧО и пр.

### **Программно-аппаратные средства, предназначенные для предлагаемой схемы построения бесконтактного человеко-машинного интерфейса**

Для экспериментальной реализации предлагаемого способа построения человеко-машинного интерфейса был выбран вариант построения голосового и жестового управления роботом в командном режиме с использованием изделия (бесконтактного контроллера) Kinect (Microsoft Corporation).

Устройство Kinect дает следующие, полезные с точки зрения построения речевого и жестового интерфейса, возможности:

- Skeletal Tracking (трекинг человеческой фигуры).
- Face Tracking (трекинг лица).
- Speech Recognition (распознавание речи).

Изображение бесконтактного контроллера Kinect представлено на рис. 5.

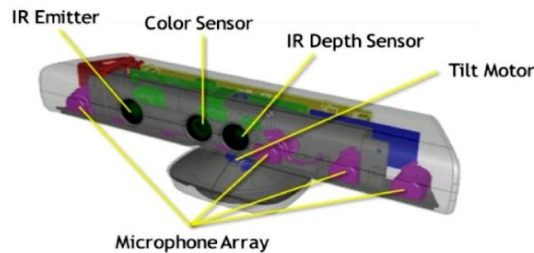


Рис. 5. Изображение устройства Kinect и его основных сенсоров (приводится фрагмент из фирменной документации Microsoft Corporation)

Основные датчики и сенсоры Kinect включают:

– IR Emitter – инфракрасный излучатель структурированного ИК-света. Его назначение испускать инфракрасные лучи, которые, отражаясь от предметов, попадают назад в сенсор, где он их принимает.

– IR Depth Sensor – инфракрасный приемник. Собирает отраженные лучи излучаемого структурированного света, преобразует их в метрику «расстояние от сенсора до объекта(ов)». И таким образом строится целый кадр «матрица расстояний» по всем точкам. Максимальное разрешение 640x480 (30 fps).

– Color Sensor – цветная камера. Захват видео с максимальным разрешением 1280x960 (12 fps). Угол обзора камеры: 43° по вертикали и 57° по горизонтали (угол обзора дальномера идентичный). Можно выбрать формат картинки: RGB или YUV.

– Microphone Array – набор микрофонов. 4 встроенных микрофона позволяют определить местоположение источника звука и направление звуковых волн. Встроенный обработчик звукового сигнала включает подавление эха и уменьшение шума.

– Tilt Motor – электродвигатель в основании сенсора для поворота сенсора в вертикальной плоскости «Коррекция наклона». Позволяет программно настраивать наклон сенсора в диапазоне  $\pm 27^\circ$  по вертикали.

Программные интерфейсы Kinect описаны в составе фирменной документации, и, кроме того, в составе открытого программного обеспечения для Kinect имеются модули, реализующие различные элементы технологии распознавания (ASR) и синтеза речи (TTS) и др.

### Базовая система распознавания речи и жестов для построения ПАК

В качестве системы распознавания речи в работе выбрана открытая кроссплатформенная система CMU Sphinx университета Карнеги-Меллон, которая состоит из трех основных компонентов:

- акустическая модель, преобразующая звук в фонемы;
- словарь, преобразующий фонемы в слова;
- языковая модель – строит предложение из полученных слов.

В случае комплексного использования голосовых команд и жестов управления может использоваться типовая схема применения Kinect, которая описана в работе [34, 50] с позиций построения интегрированного бесконтактного управления роботизированными системами. В данной работе предложена аналогичная схема для распознавания голосовых и жестовых команд (рис. 6).



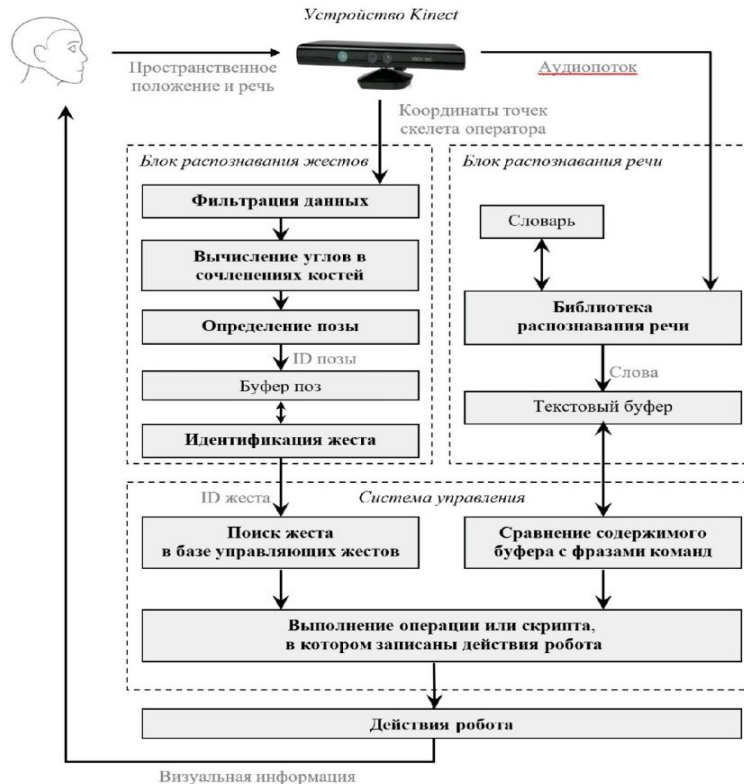


Рис. 6. Схема применения устройства Kinect в интересах формирования команд на основе распознавания жестов и речи ЧО

### Системы программирования для построения интерфейса при бесконтактном управлении РТС

Идея применения разработанной в ФГУ ФГЦ «НИИСИ РАН» информационной технологии, опирающейся на оригинальные разработки: систему 3D-визуализации «GLView» и систему распознавания голосовых и жестовых команд с последующим их преобразованием в скриптовые команды (на основе применяемых в «GLView» программ), в упрощенном изложении заключается в том, что когда ЧО производит голосовую или жестовую команду, устройство Kinect должно позволить записать эту команду и передать ее в систему обработки, которая, в свою очередь, инициирует процесс распознавания этой команды. Если команда распознана, то система управления запускает заранее подготовленный скрипт, в соответствии с которым РТС выполняет заданное действие после того, как ЧО санкционирует его инициализацию.

Система визуализации «GLView» для систем виртуальной реальности была успешно реализована в ряде моделирующих комплексов для эргатических систем «космонавт–пилотируемый комплекс» и «космонавт–РТС» [27, 31, 32].

Достаточно очевидно, что человеко-машинный интерфейс при задании активности РТС и при планировании вмешательства ЧО в функционирование робота должен быть построен с учетом возможностей расширенного зрительного контроля и с использованием прогностических моделей для мониторинга изменяющейся обстановки. При этом в числе отображаемых ЧО элементов на системе отображения информации (СОИ) в составе рабочего места космонавта предлагается визуализировать сложные сцены, адекватные реально складывающейся реальной обстановке, включая синтезированные объекты как стационарные, согласно их точному расположению на цифровой карте, так и мобильные, в данном случае – РТС, информация о позиционировании которых собирается самими РТС и передается на рабочее место космонавта по каналам связи и телеметрии. Именно для этого рассматривается применение технологии индуцированной виртуальной реальности (ИВР). Надо подчеркнуть, что применение виртуальных сред выявляет свои преимущества в тех приложениях, когда удается в режиме времени, близком к реальному, воспроизводить на СОИ визуальную обстановку, соответствующую реальному положению в пространстве всех контролируемых объектов.

### **Заключение**

Проблема изучения взаимодействия в системе «человек–робот» актуальна для многих областей применения робототехнических изделий, но особенно она актуальна для пилотируемой космонавтики. При этом, несмотря на то что исследования активно ведутся по различным направлениям, многие аспекты применения роботов в новой среде изучены все еще недостаточно.

Для улучшения взаимодействия «человек–робот» актуальны вопросы построения надежных, «естественных», интуитивно понятных человеку видов человеко-машинных интерфейсов, в частности тех, которые используют технологии бесконтактных жестовых и естественно-языковых взаимодействий. Особенно оправданным представляется поиск новых видов интерфейсов для бесконтактного управления роботами в экстремальных условиях, что с точки зрения учета человеческого фактора мотивируется опорой на привычные способы коммуникации между людьми. Новые достижения в данной области опираются на прогресс в области построения СЗД.

Решение этих вопросов целесообразно искать в области использования многомодальных интерфейсов в робототехнике, так как они позволяют использовать наиболее подходящий и удобный для ЧО вид взаимодействия с роботами. При этом большинство возникающих при построении человеко-машинных интерфейсов вопросов необходимо решать с применением методик моделирования на исследовательских компьютерных стендах, оснащенных в числе прочего инструментария системами сбора объективных данных о поведенческой и двигательной активности ЧО.

Получаемая при этом информация необходима для исследования:

- 1) традиционных методов ручного управления манипуляционным роботом при использовании носимых костюмов типа экзоскелета на верхний плечевой пояс ЧО или костюмов, в которых вмонтированы датчики для съема информации о взаимном расположении частей тела (в частности, положения частей верхних конечностей в системе координат, связанной со схемой тела человека) и последующего извлечения данных, необходимых для решения задачи управления в копирующем режиме;

2) диалогового взаимодействия человека с интеллектуальным роботом, при котором распознавание команд ЧО дистанционно управляемому роботу производится на основе анализа движений рук человека (на этой основе совершенствуются системы безопасности, автоматизированные системы управления роботом, срочного оповещения партнеров по коммуникации и т.д.); этот же подход может использоваться при трекинге движений глаз;

3) распознавания актуального состояния ЧО на основе анализа бесконтактных методов диагностики и мониторинга психоэмоционального состояния человека по голосу, мимике и жестам (на этой основе могут быть построены системы обнаружения опасных состояний и отказов ЧО, автоматизированные системы управления состоянием человека и др.).

Анализ перспектив методологии проектирования деятельности ЧО показывает, что многие новые проблемы построения человеко-машинных интерфейсов применительно к космической робототехнике необходимо решать посредством проведения специальных инженерно-психологических исследований и экспериментов, опираясь на достижения современных информационных технологий в области захвата движения, построения моделей виртуальных сред, 3D-визуализации, широко применяемых в современном тренажеростроении.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Использование жестовых интерфейсов при взаимодействии с объектами / В.Л. Авербух, Н.В. Авербух, И.С. Стародубцев и др. // Научная перспектива. – 2014. – Т. 56. – № 10. – С. 57–66.
- [2] Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: Учеб. пособие / Алферов Г.В., Кулаков Ф.М., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. – СПб.: «СОЛО», 2006. – 146 с.
- [3] Андреев В.А. Система видеозахвата и анализа движения – инициализация, настройка и калибровка камер // Труды конференции «Новые информационные технологии» (Судак, Крым, 15–25 мая 2004 г.) – С. 140–141.
- [4] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М., 1975. – 407 с.
- [5] Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. – М.: Наука, 1990. – 495 с.
- [6] Совместная обработка показаний инерциального блока и системы видеоанализа / Бобылев А.Н., Кручинин П.А., Чертополохов В.А. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 10 (159). – С. 97–102.
- [7] Специализированный «ай-трекинг» без ай-трекера: экспериментальный подход к изучению когнитивных процессов / Бондарь Г.Г., Гусач Ю.И., Ивлев С.А. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-2. – С. 324–328.
- [8] Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В.Н. Бранец, И.П. Шмыглевский. – М.: Наука, 1992. – 278 с.
- [9] Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов / Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1. – С. 42–46.
- [10] Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
- [11] Методы компьютерной оптики / А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский и др. / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 688 с.
- [12] Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р.М. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 606 с.

- [13] Гребенчиков А.В. Заявка на проведение космического эксперимента на российском сегменте МКС: «Исследование возможностей использования дистанционно-управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета» (шифр «Теледроид») // Электронный ресурс. URL: <http://knts.tsniimash.ru/ru/src/notice/ТЕЛЕДРОИД%20Заявка.doc>; [http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment\\_q.aspx?idE=309](http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.aspx?idE=309) доступ свободный (дата обращения 2016/07/12).
- [14] Гуленко И.Е. Система видеозахвата и анализа движения – распознавание трансформаций и движения объекта // Труды конференции «Новые информационные технологии» (Судак, Крым, 15–25 мая 2004 г.) – С. 141–142.
- [15] Гурфинкель В.С. Концепция схемы тела и моторный контроль. Схема тела в управлении позными автоматизмами / Гурфинкель В.С., Левик Ю.С., Лебедев М.А. // Интеллектуальные процессы и их моделирование. Пространственно-временная организация / Ред. А.В. Чернавский. – М.: Наука, 1991. – С. 24–53.
- [16] Демин Н.А. Проектирование системы распознавания динамического поведения людей // Молодежный научно-техн. вестник № 12, декабрь 2015 // Электронный ресурс. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/824090.html> доступ свободный (дата обращения 2016/07/12).
- [17] Основы инженерной психологии / Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин, Б.А. Смирнов / Под ред. Б.Ф. Ломова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.
- [18] Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.С. Бобков // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.
- [19] Загорюлько Ю.А. Моделирование робота, управляемого речевыми сигналами. // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 5. – С. 98–102.
- [20] Захарченко Д.В. Изменение параметров окуломоторных и двигательных реакций оператора под действием алкоголя. На соискание ученой степени канд. биолог. наук. – М.: Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, 2015. – 105 с.
- [21] Биомеханика двигательного аппарата человека. / Заицорский В.М., Арутин А.С., Селуянов В.Н. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
- [22] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. // Робототехника / Под ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
- [23] Физиологические методы контроля в спорте / Л.В. Капилевич, К.В. Давлетьева и др. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 172 с.
- [24] Карпов А.А. Ассистивные информационные технологии на основе аудиовизуальных речевых интерфейсов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 27. – С. 114–128.
- [25] Карпов А.А. Когнитивные исследования ассистивного многомодального интерфейса для бесконтактного человеко-машинного взаимодействия // Информатика и ее применения. – 2012. – Т. 6. – № 2. – С. 77–86.
- [26] Князь В.А. Оптическая система захвата движения для анализа и визуализации трехмерных процессов // Сб. трудов «Юбилейной 25 Международной конференции (GraphiCon2015)», Россия, Протвино (Парк Дракино), 22–25 сентября 2015. – С. 232–237.
- [27] Крючков Б.И., Усов В.М. Создание моделей виртуальной реальности как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником экипажа и как условие определения потенциальных областей его полезного применения // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Политехника-сервис, 2013. – С. 230–244.
- [28] Технологии моделирования для эргономического проектирования системы «космонавт–манипуляционный робот–рабочая среда» / Крючков Б.И., Михайлюк М.В., Усов В.М. // Материалы конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2014). – СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. – С. 367–377.

- [29] Логинов С.И. Возможности оценки физической активности человека с помощью датчиков движения акселерометров (литературный обзор) // Вестник новых медицинских технологий. – 2007. – Вып. № 1. – Т. XIV. – С. 149–151.
- [30] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Визуальный редактор и модуль расчета функциональных схем для имитационно-тренажерных комплексов // Программные продукты и системы. – № 4. – 2014. – С. 10–15.
- [31] Исследование возможности использования андроидов в космосе с помощью технологий виртуальной реальности. / Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А., Бурдин Б.В. // Пилотируемые полеты в космос: матер. 10-й Междунар. науч.-практич. конф. – Звездный городок, 2013. – С. 29–31.
- [32] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система визуализации "GLView" для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4 (9). – С. 60–72.
- [33] Система регистрации и визуализации параметров движения / А.В. Мищенко, А.В. Польшков, Н.Н. Фашевский // Использование сложных навигационных приборов в нетрадиционных областях: Матер. всерос. молод. конф. 9–11 июля 2012 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. // Электронный ресурс, URL: <http://iu2.bmstu.ru/netrad/article08.pdf> доступ свободный (дата 2016/07/12).
- [34] Нагапетян В.Э., Хачумов В.М. Распознавание жестов руки в задаче бесконтактного управления беспилотным летательным аппаратом // Автометрия. – № 2. – 2015. – С. 103–109.
- [35] Ратнер П. Трехмерное моделирование и анимация человека, 2-е изд. – М.: «Вильямс», 2005. – 272 с.
- [36] Сайт «Компания ДИСНЕТ» // Электронный ресурс. URL: <http://www.disnet.ru/equipment/26/> доступ свободный (дата обращения 2016/07/12).
- [37] Сайт ООО «Центр авиакосмической медицины и технологий»: Биомеханический аппаратно-программный комплекс «Видеоанализ движений» // Электронный ресурс URL: <http://amc-si.com/tovari-i-uslugi/biomehanicheskiy-apatratno-programmnyy-kompleks> доступ свободный (дата 2016/07/21).
- [38] Сайт фирмы SensoMotoric Instruments GmbH (SMI) // Электронный ресурс URL: <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/overview.html> доступ свободный (дата 2016/07/12).
- [39] Сайт фирмы Neurobotics // Электронный ресурс URL: <http://neurobotics.ru/eyetracking> доступ свободный (дата 2016/07/12).
- [40] Сайт кампании Xsens // Электронный ресурс URL: [https://www.xsens.com/?gclid=CKj6iO7R\\_M0CFaH4cgodP\\_IM5g](https://www.xsens.com/?gclid=CKj6iO7R_M0CFaH4cgodP_IM5g) доступ свободный (дата обращения 2016/07/12).
- [41] Сергеев С.Ф. Методы тестирования и оптимизации интерфейсов информационных систем: учеб. пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 117 с.
- [42] Скворцов Д.В. Стабилометрическое исследование. – М.: Маска, 2010. 176 с.
- [43] Скворцов Д.В. Стабилометрия – функциональная диагностика функции равновесия, опорно-двигательной системы и сенсорной системы // Функциональная диагностика. – 2004. – № 3. – С. – 78–84.
- [44] Стабилоанализатор «стабилан-01» в спорте / С.С. Слива, А.С. Слива, Д.В. Кривец // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2004. – Т. 41. – № 6. – С. 25–29.
- [45] Оптико-электронные методы измерения движений человека / Н.Г. Сучилин, В.С. Савельев, Г.И. Попов. – М.: ФОН, 2000. – 126 с.
- [46] Медицинские аспекты разработки систем человеко-машинного взаимодействия с использованием моделей виртуальной реальности для нейрохирургии / Тимофеев А.В., Чернакова С.Э., Литвинов М.В., Аничков А.Д., Полонский Ю.З., Козаченко А.В. // Труды СПИИРАН. – 2008. – Вып. 6. – С. 184–196.
- [47] Торгашев М.А. Моделирование копирующего режима управления антропоморфным роботом в виртуальной среде // Труды НИИСИ РАН. – 2015. – Том 5. – № 2. – С. 47–54.

- [48] Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
- [49] Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов и др. – М.: Физматлит, 2003. – 592 с.
- [50] Хачумов В.М. Интегрированный человеко-машинный интерфейс бесконтактного управления роботизированными системами. // Materials of the XI International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Potential – 2015» (February 28–March 7, 2015), Vol.39, Technical Sciences. – Sheffield: Science and Education Ltd., 2015. – pp. 39–42.
- [51] Чхаидзе Л.В. Координация произвольных движений человека в условиях космического полета. – Изд. 2-е. – М.: «Наука», 1968. – 133 с.
- [52] Система интерпретирования голосовых команд для управления мобильным роботом / И.А. Щербатов, И.О. Проталинский, В.А. Бородин // Мехатроника, автоматизация, управление. – № 6. – 2014. – С. 14–18.
- [53] Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом-помощником экипажа / Р.М. Юсупов, Б.И. Крючков, А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, В.М. Усов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 3. – С. 23–34.
- [54] Юценко А.С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сб. тр. V Междунар. науч.-практич. конф. (Коломна, 28–30 мая 2009 г.). – Т. 1. – М.: Физматлит, 2009. – С. 97–108.
- [55] Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. – 584с.
- [56] Baturshin I.Z., Sheremetov L.B. Perception-based Approach to Time Series Data Mining // Applied Soft Computing. Volume 8. Issue 3, June, 2008. – pp. 1211–1221.
- [57] Fardana A.R. et al. (2014). Controlling a Mobile Robot With Natural Commands Based on Voice and Gesture / A.R. Fardana, S. Jain, I. Jovancevic, Y. Suri, C. Morand and N.M. Robertson, HRI Workshop // The 2013 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA) URL: <http://home.eps.hw.ac.uk/~cgb7/readinggroup/papers/ICRA2013.pdf> Доступ свободный (дата обращения 2016/07/12).
- [58] Moeslund T.B. et al. (2006) A Survey of Advances in Vision-Based Human Motion Capture and Analysis / T.B. Moeslund, A. Hilton, V. Kruger // Computer Vision and Image Understanding. 2006. Vol. 104, No. 2-3. – pp. 90–126.
- [59] Perez-Sala X. A Survey on Model Based Approaches for 2D and 3D Visual Human Pose Recovery / X. Perez-Sala, S. Escalera, C. Angulo et al. // Sensors. 2014. No.14. – pp. 4189–4210.
- [60] Rosenhahn B. et al. (2004) A Silhouette Based Human Motion Tracking System / B. Rosenhahn, U.G. Kersting, L. He, A.W. Smith, T. Brox, R. Klette, H.-P. Seidel // Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3175. – Berlin: Springer, 2004. – pp. 294–304.
- [61] Tautges J., Zinke A., Kruger B., Baumann J., Weber A., Helten T., Muller M., Seidel H.-P., Eberhardt B. Motion Reconstruction Using Sparse Accelerometer Data // ACM Trans. Graph. 2011. Vol. 30, № 3. – P. 18:1–18:12.
- [62] Timofeev A.V., et al. (2004) Design and Implementation of Multi-Agent Man-Machine Interface on the Base of Virtual Reality Models / Timofeev A.V., Andreev V., Gulenko I.E., Derin O.A., Litvinov M.V. // Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference Speech and Computer (September 20–22, 2004. St. Petersburg, Russia). – pp. 670–675.
- [63] Wang J.J. Video Analysis of Human Dynamics – a Survey / J.J. Wang, S. Singh // Real-Time Imaging. 2003. Vol. 9, No. 5. – pp. 321–346.

УДК 629.783:629.7.015

**О МИКРОУСКОРЕНИЯХ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ**

М.Н. Бурдаев, Б.В. Бурдин

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

В статье проведен анализ характеристик пространственных полей неустранимых микроускорений гравитационного и динамического происхождения на космических аппаратах, стабилизированных в орбитальной системе координат. Определены форма и размеры пространственных поверхностей равных микроускорений и их зависимость от величин микроускорений (микрперегрузок).

**Ключевые слова:** орбитальная система координат, микрогравитация, микроускорения, микрперегрузки, космические аппараты, поверхности равных микрперегрузок.

**Micro Accelerations on Space Vehicles. M.N. Burdaev, B.V. Burdin**

The paper analyzes the characteristics of spatial fields of unremovable micro accelerations of gravitational and dynamic origin on space vehicles stabilized in orbital reference system and defines the shape and dimensions of spatial surfaces of equal micro accelerations and their dependence on the values of micro accelerations (micro g-loads).

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

Все материальные тела, движущиеся в космосе, подвержены воздействию сил взаимного притяжения с другими космическими объектами. В природе существуют ситуации и процессы, в которых силы взаимного притяжения полностью или частично взаимно уравновешиваются, либо их действие компенсируется силами динамического происхождения. Равнодействующая всех влияющих на предмет сил может быть равной нулю. В этом случае тело (точнее, его центр масс) находится в состоянии невесомости.

Если на материальную точку действуют только силы взаимного притяжения с другими телами и эти силы взаимно уравновешены – невесомость этой точки условно называется статической. Статической, потому что она сформирована силами, происхождение которых не связано с движением источников притяжения. Статическая невесомость существует, например, в некоторых точках пространства между Землей и Луной. Эти точки называются либрационными. До них космонавты пока еще не добивались. Условный характер названия этого вида невесомости определен тем, что эти точки движутся в инерциальном пространстве Вселенной с большой скоростью вместе с Землей и Луной.

В настоящее время все космические полеты осуществляются в условиях, когда силы притяжения в центре масс космического аппарата уравновешиваются силами, возникающими при движении тел по криволинейным траекториям. Такая ситуация, когда силы различного происхождения уравновешивают друг друга, называется динамической невесомостью.

В процессе проведения в космосе научных исследований неоднократно повышались требования к допустимому уровню микроускорений, действующих на объекты экспериментов. В материалах РКК «Энергия» в требованиях технологического оборудования к конструкции и системам орбитального комплекса в 1994 году указывалось, что допустимые микроускорения должны быть на уровне до  $1 \cdot 10^{-4}$  g, в 1997–1999 годах – не более  $1 \cdot 10^{-6}$  g в диапазоне частот 0...0,1 Гц, не

более  $1 \cdot 10^{-5}$  в диапазоне частот 0.1...10 Гц и не более  $1 \cdot 10^{-4}$  в диапазоне частот 10...100 Гц; в 2012 году в техническом задании на специальную часть эскизного проекта автоматического космического аппарата «ОКА-Т» в пункте 3.2.2.6 требовалось: «При эксплуатации КА «ОКА-Т» должны обеспечиваться следующие условия по микрогравитации в зонах размещения технологического оборудования: уровень остаточных микроускорений на борту КА в режиме свободного полета при выполнении программы исследований должен составлять не хуже  $10^{-6}g_0$  в течение 20 суток при одновременном обеспечении стабилизации направления вектора остаточных квазипостоянных микроускорений не хуже  $\pm 0.5$  град вдоль одной из строительных осей КА».

Из перечисленного следует, что за восемь лет, с 1994 до 2012 года требования к максимальному допустимому уровню остаточных микроускорений на борту КА в режиме свободного полета при выполнении программы исследований повысились на два порядка и появились требования к стабилизации направления вектора остаточных квазипостоянных микроускорений вдоль одной из строительных осей КА.

Отметим, что в 1990-х годах наиболее высокие требования предъявлялись к уровню микроускорений на самых низких частотах. Поэтому особенно актуальным представляется исследование микроускорений с нулевой и близкой к ней частотой – гравитационных микроускорений, частоты которых определяются величиной периодов орбит космических аппаратов.

Для оценки реальных возможностей выполнения подобных требований проводится анализ распределения в пространстве и времени характеристик гравитационных и динамических микроускорений на орбитальных объектах.

Математические основы исследований гравитационных и динамических микроускорений на орбитальных объектах были заложены в работах [1–3].

В публикациях [4–6, 8, 9] несколькими авторами выполнены в различных объемах исследования характеристик и структуры поля бортовых квазистатических микроускорений на космических аппаратах. Общим в этих работах является использование приближенных методов расчетов с точностью до второго порядка относительно члена  $r/R$ , где  $R$  – гравитационный радиус орбиты космического аппарата,  $r$  – гравитационный радиус точки, жестко закрепленной относительно конструкции этого аппарата, и представление процесса вычислений и получаемых результатов в матрично-векторном виде. Выбор этого метода исследования и вида представления получаемых результатов авторы объясняют удобством выполнения оценочных вычислений.

При изложении материала о структуре и характеристиках полей бортовых микроускорений в учебном процессе, в том числе при подготовке космонавтов, и в инженерной практике более эффективным является представление вычислительного процесса и его результатов в наглядной форме, отображающей пространственную картину и физический смысл исследуемого явления.

С этой целью в ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» при исследовании полей микроускорений на космических кораблях и разработке учебного материала для космонавтов по этой теме используется не матрично-векторная, а векторно-аналитическая форма математического аппарата. Результаты проведенных исследований изложены в данной статье в части, касающейся полетов космических аппаратов в режиме орбитальной стабилизации.



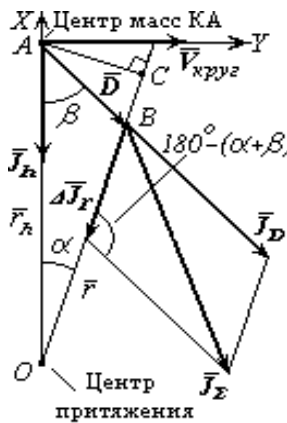


Рис. 1. К расчету микроускорения в точке  $B$ , жестко связанной с космическим аппаратом, стабилизированным в орбитальной системе координат (ОСК)

Выберем на плоскости орбиты космического аппарата систему координат, начало которой совмещено с его центром масс (рис. 1, точка  $A$ ). Одна из осей этой системы координат направлена по местной вертикали, вторая – по местному горизонту. Такая система координат называется орбитальной, или сокращенно ОСК. Орбитальные системы координат вращаются в плоскости орбиты вместе с местной вертикалью – линией, соединяющей центры масс космического аппарата и центра притяжения. В данной статье в качестве конкретного примера рассматривается движение космического аппарата по круговой орбите в центральном поле тяготения с гравитационной постоянной Земли.

Отметим любую точку  $B$  в плоскости орбиты космического аппарата, жестко закрепленную на расстоянии  $D$  от его центра масс. Угол между отрезком  $D$  и направлением к центру притяжения обозначим символом  $\beta$ .

Поместим центр масс космического аппарата и начало ОСК на удалении  $r_h$  от центра притяжения. Гравитационное ускорение  $g_h$  в центре масс космического аппарата составит:

$$g_h = \frac{\mu}{r_h^2},$$

где  $\mu$  – гравитационная постоянная поля тяготения, в котором происходит полет.

Геоцентрический радиус  $r$  точки  $B$  (рис. 1):

$$r = \sqrt{r_h^2 + D^2 - 2r_h D \cos \beta}.$$

Ускорение  $g$  земного тяготения в точке  $B$  равно:

$$g = \frac{\mu}{r^2} = \frac{\mu}{r_h^2} \frac{r_h^2}{r^2} = g_h \frac{r_h^2}{r^2}.$$

Радиус-векторы  $r_h$  центра масс космического аппарата и  $r$  точки  $B$  вращаются относительно инерциального пространства с угловой скоростью  $\omega$ :

$$\omega = \frac{V_u}{r_h},$$

где  $V_u$  – горизонтальная составляющая орбитальной скорости космического аппарата.

Для круговой орбиты космического аппарата

$$V_u = V_{\text{круз}} = \sqrt{\frac{\mu}{r_h}},$$

угловая скорость вращения радиуса-вектора центра масс космического аппарата

$$\omega = \frac{1}{r_h} \sqrt{\frac{\mu}{r_h}}.$$

Центробежное ускорение  $J_{\text{цб}}$  в точке  $B$ , возникающее вследствие этого вращения, равно:

$$J_{\text{цб}} = \omega^2 r = \frac{\mu r}{r_h^3} = \frac{\mu}{r_h^2} \frac{r}{r_h} = g_h \frac{r}{r_h}.$$

Ускорения  $g$  и  $J_{\text{цб}}$  действуют в точке  $B$  по местной вертикали в противоположных направлениях. Их разность  $\Delta J_r$  составляет:

$$\Delta J_r = J_{\text{цб}} - g = \omega^2 r - \frac{\mu}{r^2} = \frac{\mu r}{r_h^3} - \frac{\mu}{r^2} = \frac{\mu}{r_h^2} \left( \frac{r}{r_h} - \frac{r_h^2}{r^2} \right) = g_h \left( \frac{r}{r_h} - \frac{r_h^2}{r^2} \right). \quad (2.1)$$

Космический аппарат, стабилизированный в орбитальной системе координат, вращается вместе с ней в инерциальном пространстве с угловой скоростью  $\omega$ . Центробежное ускорение  $J_D$ , возникающее вследствие этого вращения, равно:

$$J_D = \omega^2 D = \frac{\mu D}{r_h^3} = \frac{\mu}{r_h^2} \frac{D}{r_h} = g_h \frac{D}{r_h}. \quad (2.2)$$

Векторная сумма ускорений  $\Delta J_r$  и  $J_D$  равна:

$$J_{\Sigma} = \sqrt{\Delta J_r^2 + J_D^2 + 2\Delta J_r J_D \cos(\alpha + \beta)}.$$

Для удобства дальнейшего анализа перейдем от микроускорений к микроперегрузкам. С этой целью разделим обе части последнего уравнения на  $g_h$ :

$$\frac{J_{\Sigma}}{g_h} = \sqrt{\left( \frac{\Delta J_r}{g_h} \right)^2 + \left( \frac{J_D}{g_h} \right)^2 + 2 \frac{\Delta J_r}{g_h} \frac{J_D}{g_h} \cos(\alpha + \beta)}. \quad (2.3)$$

Из уравнений (2.1) и (2.2) получим:

$$\frac{\Delta J_r}{g_h} = \frac{r}{r_h} - \frac{r_h^2}{r^2}; \quad \frac{J_D}{g_h} = \frac{D}{r_h}$$

и подставим эти выражения в (2.3):

$$\frac{J_\Sigma}{g_h} = \sqrt{\left(\frac{r}{r_h} - \frac{r_h^2}{r^2}\right)^2 + \left(\frac{D}{r_h}\right)^2} + 2\left(\frac{r}{r_h} - \frac{r_h^2}{r^2}\right)\frac{D}{r_h} \cos(\alpha + \beta). \quad (2.4)$$

Из треугольника ОАС определим:

$$\frac{D}{r_h} \cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha - \frac{r}{r_h}. \quad (2.5)$$

В треугольнике ОАВ известно соотношение:

$$D^2 = r_h^2 + r^2 - 2r_h r \cos \alpha,$$

откуда

$$\cos \alpha = \frac{r_h}{2r} \left( \frac{r^2}{r_h^2} - \frac{D^2}{r_h^2} + 1 \right). \quad (2.6)$$

Подставим полученное выражение в (2.5):

$$\frac{D}{r_h} \cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha - \frac{r}{r_h} = \frac{r_h}{2r} \left( \frac{r^2}{r_h^2} - \frac{D^2}{r_h^2} + 1 \right) - \frac{r}{r_h} = \frac{1}{2} \left[ \frac{r_h}{r} \left( 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \right) - \frac{r}{r_h} \right]. \quad (2.7)$$

Подставив (2.7) в (2.4), после несложных преобразований получим:

$$\frac{J_\Sigma}{g_h} = \sqrt{\frac{D^2}{r_h^2} \frac{r_h^3}{r^3} + \left(1 - \frac{r_h^3}{r^3}\right) \left(1 - \frac{r_h}{r}\right)},$$

откуда следует:

$$\frac{D}{r_h} = \frac{r}{r_h} \sqrt{\frac{r}{r_h} \left[ \left( \frac{J_\Sigma}{g_h} \right)^2 + \left( \frac{r_h}{r} - 1 \right) \left( 1 - \frac{r_h^3}{r^3} \right) \right]}. \quad (2.8)$$

Из треугольника АОВ получаем:

$$\beta = \arccos \left[ \frac{1}{2} \frac{r_h}{D} \left( \frac{D^2}{r_h^2} - \frac{r^2}{r_h^2} + 1 \right) \right]. \quad (2.9)$$

Уравнения (2.6), (2.8) и (2.9) позволяют рассчитывать и строить линии равных значений (изолинии) микроперегрузок  $n_h = \frac{J_\Sigma}{g_h}$ . В этой форме микроперегрузки определяются по отношению к гравитационному ускорению  $g_h$  на расчетной круговой орбите радиусом  $r_h$ . Нетрудно пересчитать микроперегрузку к ускорению на уровне Земли  $n_0$ :

$$n_0 = \frac{J_\Sigma}{g_0} = \frac{J_\Sigma}{g_h} \frac{g_h}{g_0} = \frac{J_\Sigma}{g_h} \left( \frac{R}{r_h} \right)^2,$$

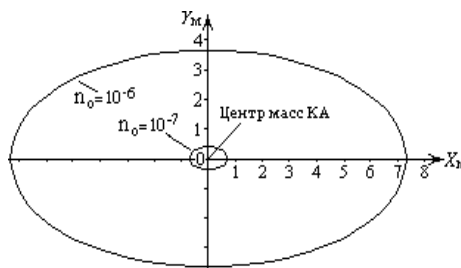


Рис. 2. Линии равных значений микроперегрузок:  $n = 1 \cdot 10^{-6}$  и  $1 \cdot 10^{-7}$  в плоскости круговой орбиты высотой 300 км для точек, жестко связанных с конструкцией космического аппарата, стабилизированного в ОСК

где  $R = 6371$  км – средний радиус Земли.

На рис. 2 показаны изолинии микроперегрузок  $n_0 = 1 \cdot 10^{-6}$  и  $n_0 = 1 \cdot 10^{-7}$ .

Из рисунка видно, что область в плоскости орбиты, в пределах которой может быть достигнута микроперегрузка менее  $n_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ , имеет размеры по горизонту менее 15 метров и по вертикали менее 8 метров.

Для микроперегрузки  $n_0 = 1 \cdot 10^{-7}$  аналогичная область имеет размеры порядка 150 на 80 сантиметров. На этом основании можно сделать вывод, что уровни микроперегрузок  $n = 1 \cdot 10^{-7}$  на аппаратуре, неподвижно закрепленной на орбитальной станции на время выполнения работ с ней, практически не могут быть обеспе-

чены без контроля положения центра масс станции и учета его положения при выборе места размещения аппаратуры.

Известно, что центр масс орбитальной станции в зависимости от вариантов ее конфигурации и загрузки меняет свое положение относительно ее конструкции на десятки сантиметров.

Поскольку для орбитальной станции эта задача достаточно сложна, представляется более перспективным использование для достижения минимальных микроперегрузок космических аппаратов меньших размеров типа пилотируемых кораблей «Союз», грузовых транспортных кораблей «Прогресс» или разрабатываемых специальных автоматических космических аппаратов «ОКА-Т».

В пространстве вокруг центра масс любого космического аппарата можно найти поверхности равных микроперегрузок. Для этого усложним схему расчета: введем третью координату  $Z$ , определяющую расстояние от плоскости орбиты до параллельной ей и жестко связанной с ней плоскости; в этой плоскости проведем

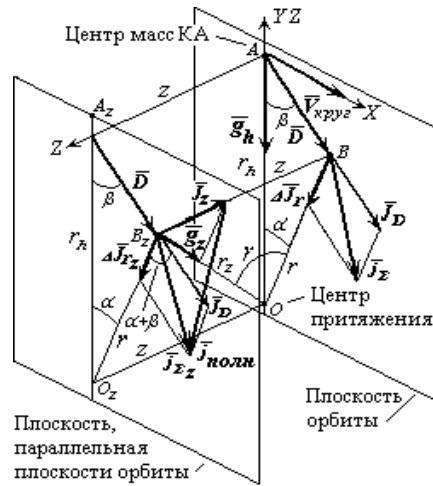


Рис. 3. Основные характеристики, используемые при расчетах изоповерхностей микроперегрузок на КА, ориентированных в ОСК

анализ и расчеты, аналогичные выполненным выше (рис. 3).

Рассмотрим ускорения, действующие в точках, лежащих на общем с точкой  $B$  перпендикуляре к плоскости орбиты (рис. 3).

При любых значениях  $Z$  в точках на таких плоскостях, лежащих на общем с точкой  $B$  перпендикуляре к плоскости орбиты, имеют место одинаковые величины центробежных ускорений:  $J_{цб}$ , возникающих вследствие движения по орбите, и  $J_D$ , возникающих вследствие вращения космического аппарата в инерциальной системе координат.

При  $Z \neq 0$  эти плоскости не проходят через центр притяжения. Поэтому векторы гравитационного ускорения  $\vec{g}_z$  не лежат в них и имеют две проекции: на эту плоскость  $g_{zr}$  и перпендикулярную к ней  $J_z$ .

В треугольнике  $BOB_z$ :

$$r_z = \sqrt{r^2 + z^2};$$

$$\sin \gamma = \frac{z}{r_z} = \frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \frac{z}{r_h \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}};$$

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} \frac{r}{r_h}.$$

В точке  $B_z$  центробежное ускорение  $J_{цб}$  от движения центра масс КА по орбите:

$$J_{цб} = \omega^2 r = \frac{\mu r}{r_h^3} = g_h \frac{r}{r_h},$$

гравитационное ускорение  $g_z$  равно:

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

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

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

В точке  $B_z$  микроускорения составляют:

– суммарное радиальное микроускорение  $\Delta J_{rz}$  в плоскости, параллельной плоскости орбиты:

$$\Delta J_{rz} = J_{\text{цб}} - g_{zr} = g_h \frac{r}{r_h} - g_h \frac{r}{r_h \left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} = g_h \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right];$$

– центробежное ускорение  $J_D$  от вращения КА в инерциальном пространстве:

$$J_D = \omega^2 D = \frac{\mu D}{r_h^3} = \frac{\mu}{r_h^2} \frac{D}{r_h} = g_h \frac{D}{r_h};$$

– тангенциальное микроускорение  $J_z$ :

$$J_z = g_z \sin \gamma = g_h \frac{1}{\sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} \frac{z}{r_h}.$$

Полное микроускорение в точке  $B_z$  равно:

$$J_{\text{полн}} = \sqrt{\Delta J_{rz}^2 + J_D^2 + 2\Delta J_{rz} J_D \cos(\alpha + \beta) + J_z^2}.$$

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

$$\begin{aligned} n_0 &= \frac{J_{\text{полн}}}{g_0} = \frac{J_{\text{полн}}}{g_h} \cdot \frac{g_h}{g_0} = \frac{J_{\text{полн}}}{g_h} \cdot \frac{R_3^2}{r_h^2} = \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta J_{rz}^2}{g_h^2} + \frac{J_D^2}{g_h^2} + 2 \frac{\Delta J_{rz} J_D}{g_h^2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{J_z^2}{g_h^2}} \\ &= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} \left[ 1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right]^2 + \left(\frac{D}{r_h}\right)^2 + 2 \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right] \frac{D}{r_h} \cos(\alpha + \beta) + \frac{J_z^2}{g_h^2}} \end{aligned}$$

$$= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\left[ \frac{r^2}{r_h^2} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right]^2 + \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ \frac{r_h}{r} \left( 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \right) - \frac{r}{r_h} \right] + \left( \frac{D}{r_h} \right)^2 + \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}} \right.}$$

Преобразуем сумму первых двух членов под корнем:

$$\begin{aligned} & \frac{r^2}{r_h^2} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right]^2 + \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ \frac{r_h}{r} \left( 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \right) - \frac{r}{r_h} \right] = \\ & \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ \frac{r}{r_h} - \frac{r}{r_h} \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{r_h}{r} \left( 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \right) - \frac{r}{r_h} \right] = \\ & = \frac{r}{r_h} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ \frac{r_h}{r} \left( 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \right) - \frac{r}{r_h} \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] = \\ & \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ 1 - \frac{D^2}{r_h^2} - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] = \\ & = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \left[ 1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] - \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right] \frac{D^2}{r_h^2}. \end{aligned}$$

Подставив полученный результат в предыдущее уравнение, продолжим преобразование:

$$\begin{aligned} \frac{J_{\ddot{u}\ddot{u}}}{g_0} &= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta J_{rz}^2}{g_h^2} + \frac{J_D^2}{g_h^2} + 2 \frac{\Delta J_r J_D}{g_h^2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{J_z^2}{g_h^2}} = \\ &= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] - \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \frac{D^2}{r_h^2} + \left(\frac{D}{r_h}\right)^2 + \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} = \\ &= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] - \left[1 - 1 + \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \frac{D^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} = \\ &= \frac{R_3^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] + \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \frac{D^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}}. \end{aligned}$$

Откуда:

$$\begin{aligned} \left(\frac{J_{ном} r_h^2}{g_0 R_3^2}\right)^2 &= \sqrt{\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] + \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \frac{D^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}}, \\ \left(\frac{D}{r_h}\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} &= \left(\frac{J_{ном} r_h^2}{g_0 R_3^2}\right)^2 - \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] - \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}, \end{aligned}$$



$$\frac{D}{r_h} = \sqrt{\left(\frac{r^2 + z^2}{r_h^2 + r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \left\{ \left(\frac{J_{полн} r_h^2}{g_0 R_3^2}\right)^2 - \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{r^2 + z^2}{r_h^2 + r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \left[1 - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2 + z^2}{r_h^2 + r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}\right] - \frac{z^2}{r_h^2} \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}} \right\}}.$$

Графические изображения изолиний равных микроперегрузок на плоскостях, удаленных от плоскости орбиты на расстояния  $\pm z$ , строятся в прямоугольных системах координат  $X, Y$ . Начала этих систем лежат на линии, проходящей через центр масс КА перпендикулярно плоскости его орбиты, оси  $X$  и  $Y$  коллинеарны соответствующим осям на плоскости орбиты КА.

Расчет координат  $x$  и  $y$  точек изолиний микроперегрузок для круговых орбит с радиусом  $r_h$  выполняется в следующем порядке:

- от начального значения  $y = 0$  последовательно выбираются монотонно возрастающие величины  $\pm y$ ,
- рассчитывается величина  $r/r_h$ :

$$\frac{r}{r_h} = 1 + \frac{y}{r_h},$$

- вычисляется величина  $D/r_h$  по формуле (2.8),
- рассчитывается величина угла  $\beta$  между полупрямой  $-Y$  и вектором  $\bar{D}$  по формуле:

$$\beta = \arccos \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{D^2}{r_h^2} - \frac{r^2}{r_h^2} + 1 \right) \frac{r_h}{D} \right],$$

- определяются координаты  $x_{1,2}$ :

$$x_{1,2} = \pm \frac{D}{r_h} \cdot r_h \sin \beta.$$

В качестве примера на рис. 4 представлены результаты расчетов для микроперегрузки:

$$\frac{J_{полн}}{g_0} = 10^{-6} \text{ и } z = \pm(0, 2, 4, 6, 7).$$

Из тех же расчетных данных выбраны величины  $\pm |x|_{\max} = f(z)$  и на рис. 5 приведен график этой функции, отображающий вид изоповерхности  $\frac{J_{полн}}{g_0} = 10^{-6}$  в проекции на плоскость местного горизонта  $XAZ$  в точке А (рис. 3).

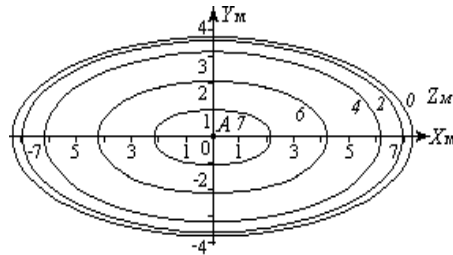


Рис. 4. Сечения поверхности равных микроускорений  $10^{-6}$  плоскостями, параллельными плоскости орбиты и удаленными от нее на расстояния  $\pm Z$ . Точка А – центр масс космического аппарата

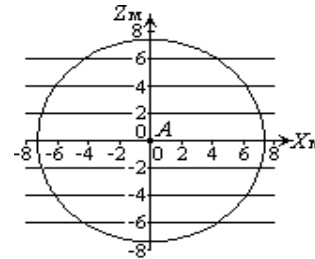


Рис. 5. Проекция изоповерхности микроперегрузки с уровнем  $10^{-6}$  на плоскость местного горизонта XAZ

На основании изложенного могут быть сделаны некоторые выводы:

1. При полетах в центральных полях тяготения на космических аппаратах, стабилизированных в орбитальной системе координат, существуют трехмерные общие поля неустранимой микрогравитации и динамических микроускорений, стационарные относительно орбитальной системе координат.

2. Существование стационарных полей неустранимой микрогравитации и динамических микроускорений является следствием неоднородности центральных полей тяготения.

3. Характеристики стационарных полей неустранимой микрогравитации и динамических микроускорений определяются напряженностью гравитационных полей, расстоянием от центра масс космического аппарата до центра притяжения и не зависят от размеров и конструкции космических аппаратов.

4. В конкретных полях неустранимой микрогравитации и динамических микроускорений на космических аппаратах могут быть аналитическим путем определены трехмерные поверхности с одинаковым уровнем суммарных микроускорений.

5. Трехмерные поверхности с одинаковым уровнем микроускорений на космических аппаратах, стабилизированных в орбитальной системе координат, имеют форму дисков, диаметральной плоскости которых проходят через центр масс космического аппарата и лежат в плоскости местного горизонта. Максимальный размер по вертикали эти диски имеют в своем центре, совпадающем по положению с центром масс космического аппарата; с удалением от центра этот размер уменьшается.

6. Размеры поверхностей с одинаковым уровнем микроускорений зависят от величины микроускорений, для которой они определяются. Например, на космических аппаратах, осуществляющих полет в поле тяготения Земли по круговой орбите на высоте 300 километров, имеют место следующие размеры этих поверхностей:

Величина микроперегрузки в долях ускорения притяжения на уровне Земли	Размеры поверхностей с одинаковым уровнем микроперегрузки	
	Горизонтальный, м	Вертикальный, м
$10^{-5}$	146,28	73,14
$10^{-6}$	14,63	7,31
$10^{-7}$	1,46	0,73

Отсюда следует, что повышение на порядок требований к остаточному уровню микроперегрузок уменьшает размеры области, ограниченной новым уровнем требуемой микроперегрузки также на порядок.

7. Для обеспечения в рабочих зонах приборов заданных уровней микроперегрузок размеры этих зон не должны превышать значений, указанных в таблице.

8. Размеры рабочих зон с указанными в таблице микроперегрузками имеют место при условии, что центры этих зон совпадают с центрами масс космических аппаратов и уменьшаются по всем осям на величины, равные удвоенной разности координат центра зоны и центра масс космического аппарата. Отсюда следует, что с уменьшением требуемой в рабочей зоне величины микроперегрузки повышаются требования к точности совмещения центра рабочей зоны с центром масс космического аппарата и, соответственно, к точности знания фактического положения центра масс космического аппарата.

9. В процессе исследования обнаружена теоретическая возможность вычисления координат центра масс космического аппарата по результатам определения квазистатических микроускорений в нескольких взаимно удаленных точках его конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

УДК 681.51.012: 531.5

## МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИИ ЛУНЫ И МАРСА НА КОРОТКОРАДИУСНОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

В.А. Акулов, И.В. Макаров, С.А. Акулов, В.Л. Балакин

Докт. мед. наук И.В. Макаров (Самарский государственный медицинский университет)

докт. техн. наук В.А. Акулов; канд. техн. наук С.А. Акулов; докт. техн. наук В.Л. Балакин (Самарский государственный аэрокосмический университет)

Разработана методология исследований отклика организма человека на пониженный уровень гравитации (Луна, Марс), моделируемой центрифугой короткого радиуса. Оценка состояния организма осуществляется при восьми режимах воздействия: ортостаз, клиностастика, вращение с имитацией гравитации Луны, Марса, Земли,  $\pm 20\%$  от нормы (Земля), повторная клиностастика после сеанса вращения. В качестве основного показателя состояний (измеряемого параметра) выбран лодыжечно-плечевой индекс, который характеризует градиент давления в артериях нижних конечностей и его зависимость от величины и направления действия гравитационной нагрузки. Описана дистанционно управляемая информационно-аналитическая система, которой оснащена центрифуга. Исследования выполнены в интересах космонавтики и гравитационной терапии.

**Ключевые слова:** центрифуга короткого радиуса, имитация гравитации планет, межпланетные экспедиции, здоровье космонавтов.

### **Methods and Results of Simulating the Moon and Mars Gravity Using the Short Radius Centrifuge. V.A. Akulov, I.V. Makarov, S.A. Akulov, V.L. Balakin**

The paper proposes the methodology of studying a human body's response to reduced gravity (the Moon, Mars), simulated using the short-radius centrifuge. The state of a body is evaluated at eight exposure modes: orthostasis, clinostatics, rotation under simulated Lunar, Mars, Earth gravity,  $\pm 20\%$  of normal (Earth); re-clinostatics is carried out after rotation. As a key state indicator (the measurable parameter), we selected an ankle-brachial index, which indicates the pressure gradient in the lower limbs' arteries, and its dependence on the magnitude and direction of gravity loading. The paper describes the remotely controlled information-analytical system, installed on the centrifuge. The studies were carried out in the interests of manned spaceflight and gravitational therapy.

**Keywords:** short-radius centrifuge, simulation of planet gravity, interplanetary expeditions, health of cosmonauts.

### **Введение**

В перспективных программах освоения космоса (Россия, США, Китай, Япония) предусматриваются межпланетные миссии с длительным, до 20–30 суток, пребыванием экипажей на Луне и Марсе. Реализация этих программ предполагает масштабную модернизацию процессов подготовки экипажей (методология, оборудование), что обусловлено возникновением новых, внешних по отношению к человеку факторов, в числе которых частичная гравитация (гипогравитация) [1–4]. Как известно, напряженность гравитационного поля Луны составляет  $\sim 0,17$  от земной, а Марса  $\sim 0,4$ . Следовательно, гипогравитация по своему воздействию на человека занимает промежуточное положение между нормой (Земля, ортостаз) и крайне негативным состоянием, каковым является невесомость.

В связи с этим особую актуальность приобретают проблемы сохранения здоровья экипажа и обеспечения высокой работоспособности в процессе профессиональной деятельности [1–4]. В частности, предусматриваются многочасовые и многокилометровые перемещения по поверхности планет, сбор образцов грунтов (сыпучие и твердые породы), установка/демонтаж оборудования и т.п. Следует отметить, что работать предстоит в скафандрах, причем при существенно большей продолжительности пребывания в них по сравнению с существующей практикой (МКС, до 9 часов). Как показал опыт внекорабельной деятельности и эксперимент «Марс-500», движение в скафандре затруднено. Требуются дополнительные, причем довольно значительные физические усилия для преодоления жесткости скафандра, которая возрастает в безвоздушном пространстве вследствие перепада давления (эффект футбольного мяча).

Таким образом, при выполнении межпланетных миссий следует ожидать появления весьма специфического противоречия. С одной стороны, длительное (многосуточное) пребывание экипажа в неблагоприятной внешней среде, а с другой – сохранение его высокой эффективности и работоспособности. Очевидно, что это противоречие необходимо разрешить на ранних этапах подготовки к полету. В противном случае научная и практическая ценность экспедиций утрачивается, а их целесообразность (это риски и значительные затраты ресурсов) становится весьма неопределенной.

Один из подходов к разрешению этого противоречия состоит в тренировках и широкомасштабных исследованиях организма человека в условиях управляемой искусственной силы тяжести (ИСТ) [1–4]. Специалистами самарских вузов накоплен опыт выполнения подобных работ с моделированием гравитации Луны, Марса, Земли на короткорadiusной центрифуге (ЦКР) [5–8]. Обобщению этого опыта посвящена настоящая статья.

### **Постановка задачи**

*Объект исследований:* система «человек–вращающиеся платформы (планеты, ЦКР)».

*Цель исследований:* выявление тенденций и закономерностей отклика организма человека на вариацию величины и направления действия гравитационной нагрузки с имитацией гравитации планет на ЦКР.

*Задачи исследований:*

- анализ проблемы неоднородности ИСТ;
- адаптация теоретических основ гемодинамики и гидромеханики к предметной области;
- разработка подходов к разрешению проблемы неоднородности ИСТ;
- разработка методологии моделирования управляемой гипогравитации на ЦКР: оценка адекватности ИСТ и естественной силы тяжести (ЕСТ), построение циклограммы испытаний, перечень режимов воздействия, выбор измеряемых параметров, методы обработки и представления результатов, подбор испытателей;
- выполнение серии экспериментов;
- анализ результатов с системных позиций и выдача результатов в параметрах, принятых в космической и восстановительной медицине;
- формулировка выводов и рекомендаций по применению в пилотируемой космонавтике и гравитационной терапии.

### Анализ проблемы неоднородности ИСТ

Физическая имитация гипогравитации планет в наземных условиях затруднена. Во-первых, земная гравитация создает постоянно действующий фон, интенсивность которого в несколько раз превышает интенсивность гипогравитационных полей. Во-вторых, существует неоднородность напряженности поля ИСТ, создаваемого ЦКР. Она проявляется в структурных различиях, что, в свою очередь, обусловлено рядом факторов. Среди них несоизмеримость размеров планет и ЦКР. Так, например, радиус Земли составляет около 6 400 000 м, в то время как радиус ротора ЦКР – около 2 м. Как следствие столь существенных различий, для генерации центростремительного ускорения, соизмеримого с ускорением свободного падения, необходимо вращение ротора центрифуги с повышенной, по сравнению с естественной (планетной), угловой скоростью. Так, например, имитация гравитации Земли на ЦКР осуществляется при скорости  $\omega = 3,6 \text{ с}^{-1}$  (частота вращения  $n = 34 \text{ об/мин}$ ) [4], в то время как скорость вращения Земли составляет  $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  (один оборот за 24 час). Таким образом, превышение составляет несколько порядков, что весьма существенно.

Важным свойством ЕСТ является однородность, под которой понимается неизменность ускорения свободного падения при значительных, по сравнению с ростом человека, удалениях от поверхности планет. Что касается ЦКР, то центробежное ускорение ( $w_{цб}$ ), имитирующее ускорение свободного падения, зависит от радиуса ротора ( $r$ ) и возрастает от нуля (ось вращения,  $r = 0$ ) до некоторого максимального значения (периферия  $r = R_{max}$ ):

$$w_{цб} = \omega^2 \cdot r. \tag{1}$$

Это свойство ИСТ принято называть неоднородностью. На рисунке 1 неоднородность представлена графически.

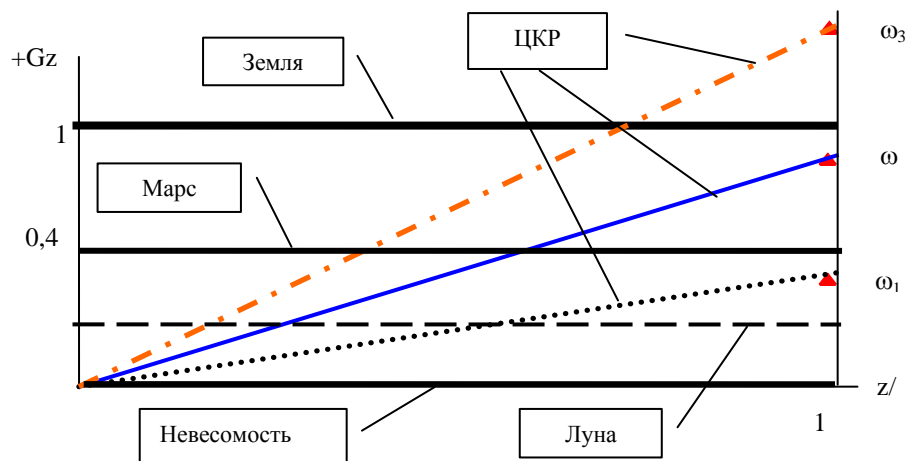


Рис. 1. Структурные различия ЕСТ и ИСТ.  
Условная адекватность ЦКР как физической модели ( $\omega_1 \leq \omega_2 \leq \omega_3$ )

По горизонтали отложен относительный радиус ЦКР ( $R_{max}$  принят за 1), а по вертикали – перегрузки, определяемые по формуле  $+G = \omega^2 \cdot r / g$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести на Земле ( $g = 9,81 \text{ м с}^{-2}$ ). Как следует из рисунка 1, однородность гравитационных полей планет изображается горизонталями с ординатами, равными 1 (Земля); 0,4 (Марс); 0,17 (Луна), а невесомость – осью абсцисс. Что касается ИСТ, то в соответствии с (1), ее изображением является пучок прямых, проходящих через начало координат (ось вращения), наклон которых зависит от  $\omega^2$  (угловой коэффициент).

Отметим четыре обстоятельства, существенных в контексте моделирования ЕСТ планет.

Во-первых, если принять перегрузку  $+G$  за метрику, то адекватность ИСТ и ЕСТ достигается только в точках пересечения наклонных и соответствующих горизонталей (Земля, Марс, Луна), а они единственны в каждом конкретном случае (пациент, моделируемая планета и т.п.).

Во-вторых, по мере смещения от совместной точки как в направлении оси вращения, так и к периферии, расхождение только увеличивается.

В-третьих, параметр  $+G$  недостаточен для решения задач целенаправленного управления ИСТ, прежде всего для вычисления частоты вращения ротора ЦКР, обеспечивающей моделирование ЕСТ (Земля, Марс, Луна).

В-четвертых, отсутствует механизм оценки отличий, которые неизбежны при любой разновидности моделирования, в том числе при физической имитации ЕСТ на ЦКР.

В настоящее время в мировой практике проблема неоднородности решается упрощенно [3, 4, 9]. Перегрузка на периферийном радиусе ( $+G_{max}$ ) принимается за метрику, а эффективность воздействия определяется экспериментально по схеме: « $+G_{max}$ –биологический показатель». Типичным показателем является электрокардиография [9]. Совершенно очевидно, что при таком подходе не представляется возможным решение задач исследований, перечисленных в пунктах 3, 4 вышеприведенного списка, а именно они обладают особой значимостью для пилотируемой космонавтики и, в первую очередь, для подготовки космонавтов. Для разрешения данного противоречия далее применен системный подход, где в качестве системы представлен комплекс «человек–вращающиеся платформы (планеты, ЦКР)».

### **Адаптация теоретических основ гемодинамики и гидромеханики к предметной области**

Как указывалось, частичная весомость (гипогравитация планет) по своему воздействию на организм человека занимает промежуточное положение между нормой (вертикальная поза на Земле) и невесомостью. В связи с тем, что отрицательному воздействию подвергаются, прежде всего, нижние конечности, рассмотрим теоретические основы периферической гемодинамики и влияния на нее величины и направления действия гравитации.

Как показывают исследования, гравитация выполняет функции внешнего источника энергии (бустерного насоса), создающего гидростатическое давление (ГД) [3–5, 7]. Весьма важным обстоятельством является то, что ГД крови на уровне стопы прямоходящего человека составляет порядка 100 мм рт. ст., т.е. соизмеримо с давлением, создаваемым сердцем [10]. Это утверждение подтверждается основными закономерностями гидромеханики, согласно которым ГД столба жидкости ( $\Delta p$ ) вычисляется по формуле

$$\Delta p = \rho g \Delta h. \quad (2)$$

Здесь:  $\Delta h$  – пьезометрическая высота столба жидкости,  $\rho$  – ее плотность.

Запишем (2) применительно к столбу крови высотой  $\Delta h_{кр}$ , заключенному между сердцем и стопой (левая часть (3), индекс ( $кр$ )), и уравнивающему его столбу ртути (правая часть (3), индекс ( $рт$ ))

$$\rho_{кр} g \Delta h_{кр} = \rho_{рт} g \Delta h_{рт}. \quad (3)$$

Как следует из (3), искомое давление крови ( $\Delta h_{рт}$ ) определяется формулой

$$\Delta h_{рт} = \rho_{кр} \Delta h_{кр} / \rho_{рт}.$$

Приняв  $\rho_{кр} = 1030 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{рт} = 13520 \text{ кг/м}^3$ ,  $\Delta h_{кр} = 1,3 \text{ м}$ , что соответствует расстоянию от сердца до стопы для человека среднего роста, и умножив результат на 1000 для перевода размерности в *мм рт. ст.*, получим:  
 $\Delta h_{рт} \approx 100 \text{ мм рт. ст.}$

Из приведенных данных следует ряд важных утверждений.

- ГД, обусловленное земной гравитацией, соизмеримо по величине с артериальным давлением (АД), создаваемым сердцем.

- Полученный результат ( $\Delta h_{рт} \approx 100 \text{ мм рт. ст.}$ ) относится к человеку среднего роста. Фактические величины приращения ГД давления индивидуальны и в зависимости от роста составляют от 90 до 110 *мм рт. ст.*

- При переходе человека из позы «стоя» в позу «лежа» ГД крови снижается до значений, близких к нулю. В этом положении гравитация действует поперек артерии, а ее диаметр (несколько миллиметров) несоизмерим с  $\Delta h_{кр}$ .

- Пребывание человека в невесомости и в позе «лежа» в значительной степени идентичны по воздействию. Исчезновение гравитационного давления является одной из причин неблагоприятного воздействия невесомости: отсутствие давления приводит к нарушению обменного процесса в нижних конечностях. Кровь частично перетекает (депонирует) в верхние отделы тела. Количество поступающего к конечностям кислорода уменьшается, а продукты жизнедеятельности, наоборот, накапливаются.

- Позу «лежа» следует рассматривать как временное состояние, необходимое для отдыха организма и снижения нагрузки на сердце. Энергетические затраты на перемещение крови в горизонтально расположенные сосуды меньше, чем в вертикальные. Кроме того, кровотоки через ненапряженные мышцы минимизируются.

- В условиях планет следует ожидать существенного снижения ГД по отношению к норме. «Земные» 100 *мм рт. ст.* преобразуются в 17 *мм рт. ст.* на Луне, а на Марсе – в 40 *мм рт. ст.* (см. (2) при соответствующем значении  $g$ ).

О важной роли гидростатического давления в обеспечении жизнедеятельности людей свидетельствуют и другие факты, представленные в медицинской литературе. Так, например, возникновение ишемий нижних конечностей сопровождается снижением давления на участках, располагающихся ниже сужения, и появлением болей. Реагируя на них, человек принимает горизонтальную позу. Однако



замечено, что если ноги опустить, т.е. «подключить» гравитацию, то состояние улучшается, боли либо пропадают, либо существенно ослабевают [9].

Обобщая изложенное, заключаем, что выход из неопределенности, обусловленной неоднородностью поля ИСТ (ЦКР), следует искать в воспроизведении гемодинамических параметров человека.

### Разрешение проблемы неоднородности ИСТ

На рисунке 2 представлены два типовых графика, один из которых (наклонная прямая, маркеры (♦)) является примером распределения ГД от сердца (координата  $R_1$ ) до стопы в наземных условиях (см. (2)). Вторым графиком изображено распределение давления, создаваемого центробежным ускорением (далее инерционное давление (ИД)). Расчет выполнен по известной формуле

$$\Delta p = \frac{\rho \omega^2}{2} (z^2 - R_1^2). \quad (4)$$

Здесь  $z$  – текущий радиус ротора ЦКР,  $R_1$  – расстояние от оси вращения до сердца,  $0 \leq R_1 \leq z$ .

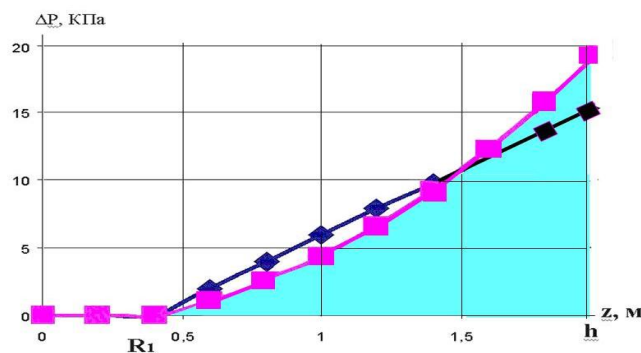


Рис. 2. Типовые распределения гидростатического (♦) и инерционного (■) давлений. График, отмеченный маркерами (♦), условно повернут на  $90^\circ$  против часовой стрелки

Для определенности и единообразия оба расчета выполнены применительно к человеку среднего роста, при  $\omega = 3,6 \text{ с}^{-1}$ , что соответствует режиму моделирования гравитации Земли.

Из представленных данных следует ряд утверждений, представляющих интерес с точки зрения преодоления неоднородности поля ИСТ.

- В отличие от линейного распределения ГД (эталон), распределение ИД нелинейно по отношению к продольной оси человека (парабола (4)).
- Единственному для данного человека распределению ГД соответствует множество распределений ИД, что обусловлено его квадратичной зависимостью от  $\omega$ .
- Среди множества распределений ИД существует единственное, которое в некотором смысле (см. ниже) обладает наименьшими отличиями от ГД (эталонной прямой).

- Выявив кривую, наиболее приближенную к эталонной прямой, представляется возможность вычислить режим вращения ( $\omega$ ), обеспечивающий моделирование гравитации планет, а также установить имеющиеся отличия в распределениях (точка пересечения графиков, области, в которых модельная кривая ниже/выше эталонной прямой).

- Режим вращения следует вычислять в индивидуализированном порядке с учетом роста человека, его смещения на роторе ЦКР относительно оси вращения и, что особенно важно, напряженности гравитационного поля моделируемого объекта (Земля, Луна, Марс и т.п.).

Обобщая изложенное, заключаем: в результате применения системного анализа, основанного на законах гемодинамики и гидромеханики, выработан подход к решению задач по созданию управляемой ИСТ (ЦКР), эквивалентной в энергетическом смысле ЕСТ (Земля, Луна, Марс). С математической точки зрения задача заключается в применении методов нахождения параболы (4), максимально приближенной к эталонной прямой (2). Отметим, что одно из относительно простых решений состоит в применении теоретико-множественного анализа к распределениям ГД и ИД в сочетании с критерием  $\chi^2$ . Подробнее данная проблема рассмотрена в работах [6–8].

### Методология моделирования управляемой гипогравитации

Решение задачи по моделированию гравитации планет в наземных условиях с применением ЦКР потребовало разработки проблемно-ориентированной методологии [5–7]. Ее основу составляют 10 последовательно выполняемых этапов (таблица 1), из которых этапы 1–4, 10 выполняются вне ЦКР, а 5–9 – на ЦКР. Подобное разделение необходимо для сравнительной оценки состояний человека в условиях гипогравитации по отношению к норме.

Таблица 1

Структура и содержание экспериментов по моделированию гипогравитации

№ этапа	Наименование	Примечание
1	Подбор контингента испытуемых	Однородность по состоянию здоровья, вариация роста в широких пределах
2	Планирование экспериментов с применением информационно-аналитической системы (ИАС)	Расчет режимов вращения, исходя из задач (Земля, Луна, Марс) и роста испытуемых
3	Контрольная регистрация состояний испытуемых перед вращением	Вертикальная поза (ортостаз), горизонтальная поза (клиностатика)
4		
5	Вращение с имитацией гравитации Луны и Марса	Частота вращения индивидуализирована в соответствии с ростом испытуемых, их расположением относительно оси вращения и ускорением свободного падения моделируемой планеты
6		
7		
8	Вращение на режиме –20 % от нормы (Земля) и +20 %	
9	Вращение с имитацией гравитации Земли	
10	Повторная регистрация параметров в горизонтальной позе	Контроль и сопоставление с исходным состоянием после вращения

Составной частью методологии исследований является информационно-аналитическое обеспечение, на которое возлагается решение следующих задач:

- Расчет режимов вращения, исходя из индивидуальных данных испытуемых и конкретных задач моделирования.
- Выбор высокоинформативных параметров.
- Построение портативной системы измерения.
- Автоматизированная обработка результатов испытаний.
- Обеспечение параметрической безопасности испытаний.

Режимы вращения рассчитываются на этапе планирования экспериментов (позиция 2 в таблице 1). Для этого разработана информационно-аналитическая система (ИАС), в которой реализован представленный выше системный подход к оценке адекватности ИСТ и ЕСТ. Главный экран ИАС представлен на рисунке 3.

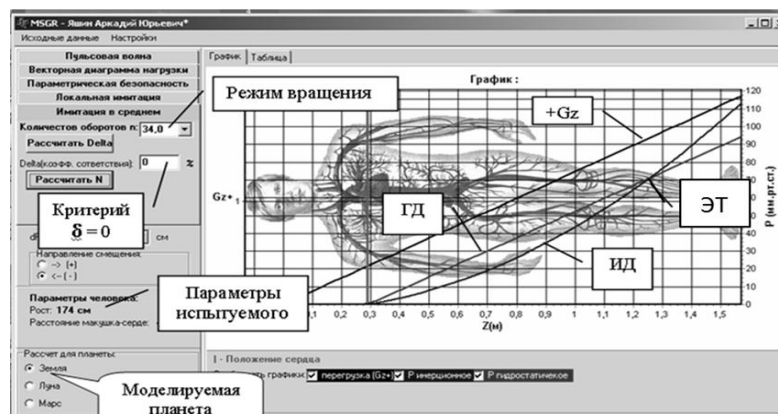


Рис. 3. Главный экран ИАС, применяемой при планировании экспериментов по имитации гравитации планет (Земля, Луна, Марс)

Основная часть экрана отведена под анатомическую схему человека. Она выполнена с применением приемов когнитивной графики, обеспечивающей автоматическое масштабирование в соответствии с введенными исходными данными (область, расположенная слева в центре и нижней части). После ввода исходных данных выполняется расчет требуемой частоты вращения ЦКР (окно «Режим вращения») и строятся три графика распределений: перегрузок по радиусу (+Gz), давлений ГД и ИД. Кроме того, находится эквивалентная точка (ЭТ), в которой ГД равно ИД. Она необходима для установления зон отличий ГД и ИД. ИАС легко перенастраивается под моделирование условий любой из трех планет. Для этого достаточно выбрать соответствующую радиокнопку в области «Моделируемая планета».

Важнейшей функцией ИАС является обеспечение параметрической безопасности сеансов вращения, под которой понимается предотвращение недопустимо высокого уровня воздействий со стороны перегрузок. Как следует из формулы (4), ИД пропорционально  $\omega^2$  и  $z^2$ . Как результат, относительно небольшое одностороннее увеличение роста испытуемого и скорости вращения ротора ЦКР сопровождается весьма значительным по величине приращением ИД. Возникает опасность повреждения кровеносных сосудов в периферической области. Такие случаи наблюдались и проявлялись в виде петехий (местных кровоизлияний). ИАС выявляет подобные ситуации, причем, что немаловажно, на этапе подготовки к испытаниям.

Методология экспериментов на ЦКР предусматривает выбор перечня регистрируемых параметров и построение системы измерений. Проблема регистрации параметров в сеансах вращения человека на ЦКР состоит в том, что промышленность не выпускает измерительную аппаратуру, отвечающую в полной мере условиям ее установки и применения во вращающейся среде. Поэтому был разработан специализированный измерительный комплекс. Комплекс обеспечивает регистрацию следующих параметров: артериальное давления (АД) на руке и лодыжке, ЭКГ (три отведения), плетизмография пальцев руки и ноги. В целях сокращения изложения далее рассматривается только канал АД.

Как следует из теоретических основ гемодинамики и гидромеханики, одним из основных факторов, определяющих кровоток, является перепад давления, приложенный к концевым сечениям сосуда. В медицинской литературе он именуется градиентом давления. Для его количественной оценки применен лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ), который определяет динамический перепад давления по схеме «сердце–лодыжка» и вычисляется по формуле

$$ЛПИ = \frac{АД_2}{АД_1}. \quad (5)$$

Здесь  $АД_1$ ,  $АД_2$  – систолическое АД, измеренное на руке и лодыжке, соответственно.

Применение ЛПИ потребовало измерения АД в двух точках доступа, что определило двухканальную схему радиоканала (рисунок 5).

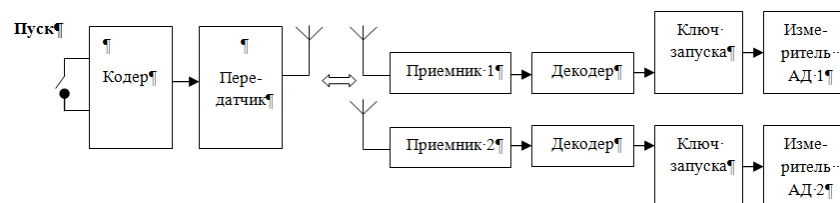


Рис. 5. Увеличенная структурная схема радиоканала

Преимущества разработанной системы: управляется врачом (кнопка «Пуск»); не требует программирования; невысокая стоимость (передатчик и приемник, выпускаемые серийно); открытость (расширение числа каналов); портативность; автономность и длительность непрерывной работы (бортовая аккумуляторная батарея (АКБ) в сочетании с преобразователем напряжения (ПН)).

### Результаты исследований и обсуждение

Моделирование гравитации планет осуществлялось на ЦКР (рис. 6). В исследованиях приняли участие семь здоровых добровольцев обоих полов ростом 158–195 см в возрасте от 21 до 27 лет.

Обобщенные результаты исследований зависимости ЛПИ от интенсивности и направления действия гравитационного воздействия со стороны ЕСТ и ИСТ представлены на рисунке 7. По горизонтали отложена нормированная частота вращения ротора ЦКР, где за единицу принята частота, соответствующая режиму моделирования гравитации Земли в позе «ортостаз». По вертикали отложено значение

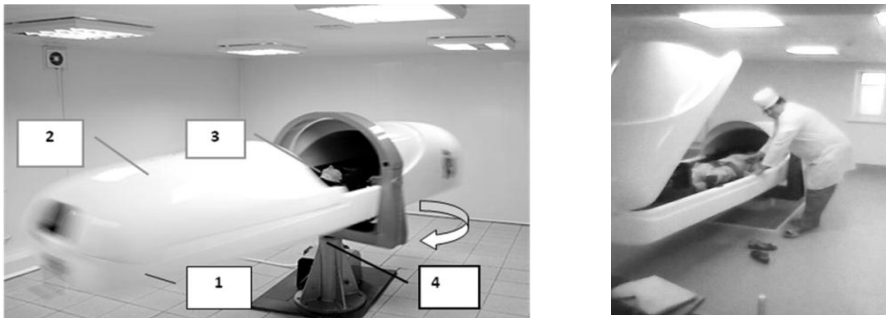


Рис. 6. ЦКР для проведения сеансов гравитационной терапии (СамГМУ).  
 1. Ротор – горизонтальный стол. 2. Кабина пациента. 3. Пациент в позе «лежа».  
 4. Ось вращения. Левое фото – сеанс вращения, правое фото – подготовка к сеансу.  
 Защитный колпак ЦКР открыт

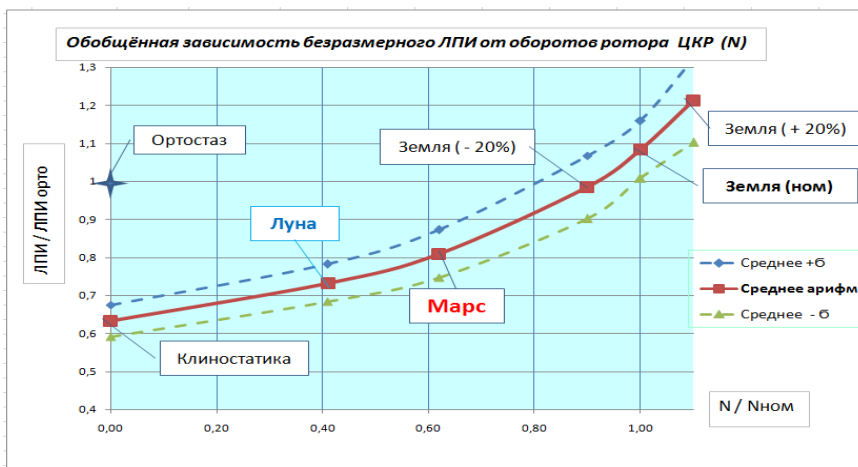


Рис. 7. Обобщенная зависимость безразмерного ЛПИ от нормированной частоты вращения ротора ЦКР (N/Nном)

безразмерного ЛПИ, где за единицу приняты индивидуальные значения ЛПИ, зарегистрированные в позе «ортостаз» (норма).

Как следует из представленных данных, основные тенденции и закономерности отклика ЛПИ на вариацию гравитационной нагрузки состоят в следующем.

1. У всех без исключения испытуемых переход от позы «ортостаз» к позе «клиностастика» сопровождался снижением ЛПИ, которое индивидуально и составляет в среднем 40 %, что является весьма существенным.

2. При моделировании гравитации Луны зарегистрировано относительно небольшое по отношению к клиностафике приращение ЛПИ. При этом значение ЛПИ составляет примерно 0,75 от нормы.

3. При переходе от режима «Луна» к режиму «Мартс» наблюдается увеличение ЛПИ, что объясняется увеличением гравитационной нагрузки. Однако, как и в предыдущем случае, значение ЛПИ существенно (на 20 %) ниже нормы.

4. Как показали контрольные тесты, выполненные непосредственно после сеансов вращения (этап 10 в таблице 1), у всех пациентов ЛПИ возвратился к значениям, близким к исходным и соответствующим позе «клиностастика» (этап 4 в табл. 1).

### Выводы

1. Разработана и апробирована методология сравнительных исследований параметров периферического кровообращения человека, находящегося в условиях земной гравитации и искусственной силы тяжести различной интенсивности, создаваемой короткорadiusной центрифугой.

2. Выполнены исследования скрытых механизмов кровообращения с привлечением методов компьютерного моделирования систем «человек–короткорadiusная центрифуга» в сочетании с натурными экспериментами. В качестве основного показателя системы кровообращения выбран лодыжечно-плечевой индекс.

3. Впервые в России на ЦКР выполнено моделирование гравитации Луны и Марса и получены новые знания о закономерностях системы кровообращения человека в условиях пониженной гравитации. Установлено, что ЛПИ в условиях Луны составляет около 0,75 от нормы, а Марса – 0,8. Столь значительные отличия от нормы требуют многосторонних исследований, а полученные данные следует учитывать при подготовке и реализации перспективных программ пилотируемой космонавтики.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Задачи подготовки космонавтов на центрифугах по перспективным космическим программам / Г.И. Падалка, П.П. Долгов, В.Н. Киришанов // Материалы «Космического форума 2011, посвященного 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина». – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 18–19 октября 2011.
- [2] Основные направления работ на центрифугах и их целевого применения / П.П. Долгов, В.Н. Киришанов, А.П. Чудинов // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 10–12 ноября 2015. – С. 267–268.
- [3] От 108 минут до 438 суток и далее... (к 40-летию полета Ю.А. Гагарина) / О.Г. Газенко, А.И. Григорьев, А.Д. Егоров // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2001. – Т. 35, № 2. – С. 10–11.
- [4] Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью центрифуги короткого radiusа для медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых полетов / А.Р. Котовская, Виль-И.Ф. Вильямс, В.Ю. Лукьянюк // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2003. – Т. 37, № 5. – С. 36–39.
- [5] В.А. Акулов. Мехатронные системы генерации искусственной силы тяжести наземного и космического применения / Под ред. Г.П. Аншакова. – М: Машиностроение, 2011. – 161 с.
- [6] В.А. Акулов. Теоретико-множественный анализ сценариев управления перспективными центрифугами космического назначения. Труды научно-практической конф. «Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий». Инфо 2007. Сочи, 1–10 октября, 2007. – С. 63–68.
- [7] В.А. Акулов. Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести // Дисс. докт. наук. – Самара, 2013. – 252 с.
- [8] Р.А. Галкин, И.В. Макаров. Гравитационная терапия в лечении больных облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей. – Самара, 2006. – 198 с.
- [9] V. Zander, R. Anken. Short Radius Centrifuges – a New Approach for Life Science Experiments Under Hyper-g Conditions for Applications in Space and Beyond // Recent Patents on Space Technology, 2013, 3. – P. 74–81.
- [10] Б. Фолков, Э. Нилс. Кровообращение. – М: Медицина, 1976. – 463 с.

УДК 551.593:629.198.3

## РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТАХ

В.В. Коваленок, А.С. Иванченков, С.В. Авакян

Летчик-космонавт СССР, канд. военных наук, профессор В.В. Коваленок (Федерация космонавтики России)

летчик-космонавт СССР А.С. Иванченков (РКК «Энергия»)

доктор физ.-мат. наук, профессор С.В. Авакян (Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Статья написана по результатам доклада авторов на XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», представленном в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина 11 ноября 2015 года. Рассмотрены возможности увеличения эффективности деятельности космонавтов на Международной космической станции (МКС) путем существенного расширения программы визуально-инструментальных наблюдений (ВИН) в интересах науки и решения практических задач по мониторингу окружающей среды. Предлагается дополнить программу ВИН с российского сегмента (РС) МКС наблюдениями ионосферных свечений, сопровождающих возмущения ионосферы естественного (в периоды солнечных вспышек и геомагнитных бурь) и искусственного происхождения. Это даст возможность иметь новый канал контроля за гелиогеофизическими и важными антропогенными воздействиями на окружающую среду практически в реальном масштабе времени.

**Ключевые слова:** визуально-инструментальные наблюдения, ионосферные свечения, высокочастотный нагрев ионосферы, солнечные вспышки, геомагнитные бури, естественные и искусственные воздействия на нижнюю атмосферу.

### **Effectiveness of Visual-Instrumental Observations in Long-Term Manned Space Flights. V.V. Kovalenok, A.S. Ivanchenkov, S.V. Avakyan**

The paper is the summary of the authors' presentation at the XI International Scientific-Practical Conference "Manned Space Flights", held at Gagarin Cosmonauts Training Center November 11, 2015. Some ways of improving the effectiveness of cosmonauts' activity on the International Space Station (ISS) through essential extending the program of visual-instrumental observations (VIOs) in the interests of science and execution of practical environmental monitoring tasks are considered. It is suggested to supplement the VIOs program for the ISS Russian Segment with the observation of ionosphere radiation which accompanies disturbances of ionosphere of both natural (in periods of solar flares and geomagnetic storms) and artificial origins. This would enable a new channel of monitoring of solar-geophysical and important anthropogenic impacts on the environment practically in real time.

**Keywords:** visual-instrumental observations, ionospheric glows, radio frequency heating of ionosphere, solar flares, natural and artificial impacts on lower atmosphere.

### **Введение**

Одним из основных научных итогов отечественных пилотируемых полетов, в том числе на долговременных орбитальных станциях (ДОС), явилось понимание важности оптических визуально-инструментальных наблюдений (ВИН) окружающей среды. Здесь космонавты выступали не столько наблюдателями, а целенаправленно выполняли научные исследования и сделали несколько открытий неизвестных

науке явлений в области геофизики, геологии, океанологии и околоземного космического пространства.

Ценность такого вида деятельности космонавтов в наше время, в том числе осуществляемой с борта Международной космической станции экипажами российского сегмента, приобретает особое значение в рамках оценки эффективности пилотируемой космонавтики и повышения ее престижа как в получении научно-значимых результатов, так и в обеспечении практических интересов населения, прежде всего стран-участников эксплуатации МКС. Реальный потребитель должен получать от работы экипажей космонавтов в долговременных полетах на МКС существенно больше самой актуальной информации о состоянии окружающей среды, что возможно при расширении программы ВИН. Дело в том, что если дистанционные исследования подстилающей поверхности и нижней атмосферы ведутся достаточно интенсивно и в пилотируемых орбитальных полетах, и с автоматических космических аппаратов, то наблюдения верхнеатмосферных и ионосферных эффектов, положительный опыт которых был накоплен отечественными космонавтами еще в долговременных полетах на орбитальных научных станциях (ОНС) «Салют» и «Мир», на МКС следует кардинально расширить. Этого требуют новые вызовы современного этапа устойчивого развития человечества, угрозы крупномасштабных экологических катастроф и реалии глобального потепления климата.

К настоящему времени имеется понимание, что ВИН наземных ландшафтов и акваторий Мирового океана являются одним из важнейших видов работы космонавтов на борту РС МКС [1], в том числе в интересах мониторинга природных и техногенных катастроф. Однако в предлагаемую в [1] программу не включены наблюдения оптических явлений в околоземном космическом пространстве, ионосфере и верхней атмосфере как важнейший канал регистрации геофизических воздействий при усилении активности Солнца. В то же время, именно такие наблюдения с отечественных пилотируемых космических кораблей (ПКК) и ОНС дали наиболее научно-значимые результаты о свойствах окружающей среды, прежде всего, ее реакции на экстремальные события в солнечно-земной физике [2–10]. Здесь проявляются те известные физические закономерности [11], что основные дополнительные энергетические потоки излучения и корпускул в периоды повышенной солнечно-геомагнитной активности целиком и полностью диссипируют именно на ионосферных высотах (от 60 до 500 км), создавая характерные и надежно фиксируемые подготовленными космонавтами-наблюдателями оптические эффекты. Более того, в последнее десятилетие во Всероссийском научном центре «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» предложен новый агент солнечно-земных связей – микроволновое (СВЧ) эмиссионное радиоизлучение ионосферы, возникающее в электронных спонтанных переходах при возбуждении ударом энергичных электронов (фотоэлектронов, электронов Оже, высыпавшихся первичных и вторичных электронов) ридберговских (высоковозбужденных) состояний. Это позволило [12] впервые разработать модельные механизмы описания количественных эффектов воздействия гелиогеофизических факторов на процессы в нижней атмосфере (начинающихся с образования оптически тонкой облачности), показать возможности искусственного управления параметрами окружающей нас среды через возмущения ионосферы [13]. Подобные возмущения антропогенной природы давно известны, в том числе с использованием стенов высокочастотного нагрева различных ионосферных слоев. Следует подчеркнуть, что на отечественном стенде Сура уже зарегистрировано впервые микроволновое излучение из зоны нагрева F-области [14], причем научная интерпретация эффекта проведена на основе [12].



Отметим главное преимущество ВИН с борта орбитальных станций – уникальная возможность одновременной фиксации эффектов воздействия на яркость свечения ионосферы и на характеристики и эволюцию облачного покрова в различном пространственном масштабе. Никакими другими схемами регистрации взаимосвязи этих столь разнесенных по высоте объектов наблюдения, кроме как ВИН космонавта, подобные исследования, важные как для метеорологии, так и для практики предупреждения и мониторинга катастрофических явлений, реально выполнять невозможно.

В то же время новая парадигма модели солнечно-атмосферных, а точнее, солнечно-магнитосферных–погодно-климатических связей, развиваемая в ВНИЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, позволила раскрыть картину реальных соотношений вклада естественного векового цикла активности Солнца и антропогенного влияния как выбросов парниковых углеродсодержащих газов, так и лесосведения и абиотизации суши в последние 40 лет. Вопреки расхожему мнению, именно совокупный максимум квазистолетного и квазидвухсотлетнего циклов солнечной электромагнитной (1985 г.) и корпускулярной (1987 г.) активностей, а затем (2003 г.) и геомагнитной активности, обеспечил энергетику (дополнительным энергетическим вкладом, оцененным в  $\sim 7 \text{ Вт/м}^2$  [15, 16]) современного глобального потепления приземного воздуха. Из антропогенных факторов лесосведение и абиотизация суши дали в эти же годы вклад, в сумме оцениваемый географами в  $\sim 6,3 \text{ Вт/м}^2$ . Оба эти механизма в несколько раз превосходят вклад парникового эффекта на углеродсодержащих газах ( $2,63 \text{ Вт/м}^2$ ) [15, 16]. Приведенные результаты резонируют с историей об озоновых дырах: в 1970–80-е годы причина появления дыры в слое стратосферного озона над Антарктикой связывалась с выбросами фреона. На самом деле соотношение вклада фреонового и естественного каналов уничтожения озона до конца так и не определено просто потому, что монреальские соглашения по ограничению производства и использованию фреонов стали выполняться мировым сообществом еще до проведения первых прямых измерений концентраций хлорных соединений в стратосфере на высотах озонового максимума. В то же время в [6] представлены данные о визуальной регистрации космонавтами появления высоких стратосферных облаков как раз в районе Антарктики в 1978 году. Гетерогенные реакции (на поверхности ледяных частиц этих облаков) ведут к ускорению реакций с гибелью озона на несколько порядков. Увеличение же полярной стратосферной облачности в конце 1970-х–первой половине 1980-х годов вполне согласуется с возрастанием глобального облачного покрова в последнем вековом цикле активности Солнца. Кстати, самая большая за период наблюдений «озоновая дыра» наблюдалась сравнительно недавно – в 2009 году в Арктике, когда фреоны уже не использовались.

*Целью статьи* является констатация важности и актуальности возобновления интенсивного использования визуально-инструментальных совокупных наблюдений космонавтами окружающей космической (ионосферной) среды, подстилающей поверхности и ряда явлений в околоземном космическом пространстве в интересах науки и решения практических задач для безопасного развития человечества и сохранения экологического равновесия в природной среде. В *задаче статьи* входит представление опыта и результатов ВИН в отечественных пилотируемых космических полетах на ПКК и долговременных орбитальных научных станциях «Салют» и «Мир»; обсуждение перспектив использования ВИН с борта МКС и в перспективе – отечественной космической ДОС, для решения практических задач прогноза и борьбы с катастрофическими атмосферно-

погодными явлениями; конструктивные предложения по облику перспективной ДОС с учетом расширения функций ВИН.

### **Опыт ВИН в регистрации ионосферных свечений в периоды повышения солнечно-геомагнитной активности**

Наиболее плодотворные визуальные наблюдения проведены в верхней ионосфере Земли (ее F-области), там, где проходят орбиты всех пилотируемых космических полетов. Именно здесь получены самые важные, хотя и неожиданные результаты, неизвестные до этого, несмотря на многочисленные измерения, проведенные специальной оптико-электронной аппаратурой с автоматических спутников и с наземных радиофизических и оптических обсерваторий. При этом проявились известные преимущества оптических исследований верхней атмосферы с борта орбитальных станций: отсутствие оптических помех от плотных слоев нижней атмосферы и возможности визирования вдоль излучающих областей в направлении наибольших оптических толщин и контрастов.

Знание морфологии и физики процессов F-области ионосферы важны как для решения многих практических задач (прежде всего радиосвязи), так и для научного моделирования всего комплекса солнечно-земных связей. Свечение этой области – точный индикатор не только состояния ее самой, но также степени солнечной и геомагнитной активности [14]. Это последнее остается до сих пор достаточно актуальным из-за отсутствия и в наше время патрульной регистрации приращения в околоземном космосе основных энергетических потоков во время солнечных вспышек (коротковолнового излучения Солнца) и магнитных бурь (электронов, высыпающихся из радиационных поясов).

Реально особенно результативными оказались долговременные пилотируемые полеты на орбитальных научных станциях «Салют» и «Мир». Такие планомерные исследования проводились благодаря синтезу инициативных ВИН экипажей космонавтов и возможностей консультаций через ЦУП с наиболее квалифицированными специалистами страны. Инициатором и основным разработчиком научной программы ВИН в стране явился профессор А.И. Лазарев, ГОИ им. С.И. Вавилова [2]. Авторы [2], стр. 9, отчетливо осознавали свою миссию по развитию нового направления космонавтики: «Будущее человечества тесно связано с широким развитием космической оптики, и наши потомки не забудут, что история оптических исследований в космосе начиналась в нашей стране».

В обосновании Программы ВИН профессором А.И. Лазаревым были положены работы академика С.И. Вавилова по эффективности зрительной системы человека, ключевыми положениями которых являются следующие [18]:

1. Глаз – совершенный оптический прибор и «близок по своим свойствам к идеальному прибору в смысле чувствительности».

2. Глаз чрезвычайно приспособлен природой для наблюдения окружающей среды, потому что «глаз развился вследствие существования Солнца, в известном смысле для Солнца и под действием Солнца...»

В [2–10] обобщены результаты ВИН вновь обнаруженных оптических явлений в верхней атмосфере Земли. Это: явления волновой природы – горизонтальная неоднородность эмиссионного излучения верхней ионосферы [7, 9, 19, 20] и локальные быстропротекающие эффекты в свечении полярных сияний [10], явление реакции оптических и ионосферных параметров ночной F-области земной ионосферы на солнечные вспышки [5, 6] и магнитные бури («явление молочного

тумана» [8]). Следует подчеркнуть, что в недавнем ретроспективном анализе многолетних результатов ВИН [21] представлена особая значимость этого типа исследований в развитии новой науки – «космической географии, позволяющей обратить особое внимание на роль человека в преобразовании Земли, на выявлении связей в системе Земля–Человек–Общество».

### **Наблюдения оптических явлений волновой природы**

Первым явлением, открытым отечественными космонавтами, была горизонтальная неоднородность верхней атмосферы Земли в сумеречной зоне, названная «вертикально-лучевой структурой» [7, 9]. Однако это термин скорее отличительный, чем описательный, он не отражает сути наблюдаемой картины. Несколько позднее [22, 23] стало очевидным, что наиболее правильным объяснением причин горизонтальной оптической неоднородности является наличие внутренних акустико-гравитационных волн (АГВ), модулирующих все основные верхнеатмосферные и ионосферные параметры. Первые наблюдения этого явления проведены в 1968–70 гг. в полетах пилотируемых космических кораблей «Союз-3, 4, 9» [2, 19, 20].

В [9–11] впервые после отбора случаев наблюдений вне зон полярных сияний (и с учетом опыта космонавтов по выделению картин таких сияний) дано объяснение горизонтальной оптической неоднородности с учетом наличия АГВ, особенно сильных в сумеречной зоне, где их генерации способствует сверхзвуковое движение терминатора [23]. Повышенные до 10–20 %, а иногда и до 50 % от средней плотности верхнеатмосферной среды значения амплитуд АГВ с ИСЗ «Эксплорер-32» (на высотах 286–500 км) наиболее часто регистрировались именно в поздние вечерние и ранние утренние часы. Длина волны составляет 130–500 км, а фазовые плоскости волн располагаются вдоль параллелей, а значит, вдоль направления лучей восходно-заходного Солнца. Вот почему лучше всего горизонтальная оптическая неоднородность в эмиссионном излучении верхней атмосферы проявляется в сумеречной зоне. И условия ее визуальной регистрации с борта пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций в этой зоне наилучшие. Космонавт находится в тени Земли, его зрение хорошо адаптировано, а горизонтальный контраст яркости наблюдается от освещенной УФ-солнечным излучением верхней атмосферы, где действуют все самые сильные механизмы возбуждения – фотоэлектронами и при фотодиссоциации.

После опубликования результатов наблюдений космонавтов [7, 9] подробные исследования волновых вариаций верхнеатмосферных оптических эмиссий проводились неоднократно, причем не только визуально [2, 7, 9, 22], но и с автоматических космических аппаратов [24–26]. При этом не только подтвердилась возможность приборной регистрации факта присутствия АГВ во всем диапазоне высот от мезосферы до верхней ионосферы как оптическими, так и радиофизическими методами, но и хорошая пространственная корреляция в вариациях интенсивности отдельных эмиссионных линий основного излучающего газа – атомарного кислорода [24–26]. Эти экспериментальные данные и специально разработанная теоретическая модель эмиссионных излучений верхней атмосферы в условиях прохождения АГВ [23] подтвердили, что оба ключевых для возможности визуальной регистрации с космической орбиты параметра: уровень яркости поля излучения и оптические контрасты в провале и пучности АГВ существенно перекрывают пороговую и контрастную чувствительность человеческого глаза [27]. Од-

нако в самой схеме наблюдения важная роль остается за ракурсом – линия визирования должна находиться вдоль плоскости равной фазы, соответствующей АГВ [9].

Наблюдения волновой структуры в виде крупномасштабных пульсаций яркости полярного сияния также были впервые выполнены в пилотируемом космическом полете на орбитальном комплексе «Мир». Эти пульсации 15 января 1988 года зарегистрировал космонавт В.Г. Титов [10] над большой площадью США и Канады у береговой черты Атлантического океана. В сиянии II балла были видны пульсации яркости с периодом около 0,1 с типа «бегущей волны», перемещающейся от Флориды в северном направлении на длине порядка 1000 км. Наблюдалась картина, в которой «максимум яркости бежит как световая волна, как будто под пеленой перемещается широкий прожекторный луч». В этот период наблюдалась сильная мировая магнитная буря, так что было типичное пульсирующее сияние, для которых по наземным наблюдениям известна частота наибольшей амплитуды как раз около 10 Гц. Однако столь быстрые и масштабные пульсации наземными наблюдателями обычно не регистрируются, и лишь после наблюдений В.Г. Титова были опубликованы первые результаты регистрации сверхбыстрых волн в полярных сияниях над Антарктикой [10].

### **Обнаружение реакций ночной F-области ионосферы на солнечные вспышки**

Наиболее интересные и важные для физики солнечно-земных связей результаты были получены при исследовании причин спорадических возрастаний интенсивности визуального свечения ночной F-области ионосферы [5]. Обычно ночная F-область ионосферы визуально, в виде второго эмиссионного слоя, хорошо регистрируется с борта низкоорбитального космического корабля (при визировании вдоль излучающего слоя) только на экваториальных широтах [23]. Кроме того, в периоды мировых магнитных бурь происходит резкое расширение зон полярных сияний к низким широтам, иногда до 30° геомагнитной широты. Тогда полярное сияние наблюдается на средних и даже низких широтах. Если в спектре высыпающихся в верхнюю атмосферу частиц содержатся электроны или протоны сравнительно малых энергий, то и в этом случае возможно интенсивное излучение F-области. Однако космонавты уверенно различают картину полярного сияния. Кроме того, среднеширотные сияния возможны только при сильной геомагнитной возмущенности. Основной экипаж второй экспедиции на орбитальной научной станции «Салют-6» в составе космонавтов В.В. Коваленка и А.С. Иванченкова в июне–октябре 1978 года впервые обнаружил возрастание яркости этого свечения на ночной стороне в периоды солнечных вспышек при исследовании временных вариаций видимого свечения верхней атмосферы на средних широтах на высотах F-области (второго эмиссионного слоя) от 250 до 350 км. Явление заключается в следующем. Неоднократно в этом и следующем полете В.В. Коваленка и В.П. Савиных (в мае 1981 года) наблюдались свечения ночной F-области ионосферы на всех широтах, т.е. в планетарном масштабе. Обычно такое свечение возникало на период в несколько минут, но 7 и 9 июля, а также 16–17 сентября 1978 года оно зафиксировано почти на каждой ночной стороне витка. Космонавты также отметили, что такое планетарное свечение F-области ионосферы предшествовало мировым магнитным бурям, так как через сутки, иногда через несколько суток, каждый раз наблюдались сильные полярные сияния, в том числе на средних широтах [3, 5, 7].

Всего зафиксировано 5 случаев отдельных (кратковременных) наблюдений планетарного свечения F-области и 4 случая многоцветных (суточных) наблюдений (таблицы 1 и 2 в [5]). В этих таблицах приведены также основные данные по гелиогеофизическим событиям в периоды наблюдения явления. Ограничение во времени наблюдения каждого из пяти случаев из таблицы 1 по сравнению с длительностью солнечной вспышки связано, как показывает специальное рассмотрение, лишь с условиями визуальной регистрации слабых свечений с борта орбитальной станции (из-за выхода ее из ночного в зоревый сегмент). Данные обеих таблиц использованы для выявления характерной гелиогеофизической ситуации, сопутствующей обнаруженному явлению:

- в период свечения геомагнитная активность ниже средней (планетарный индекс геомагнитной активности  $K_p \leq 3$ );
- за сутки и более всегда наблюдалась сильная мировая магнитная буря;
- в предыдущие сутки всегда дважды происходила смена сектора межпланетного магнитного поля (ММП) (порядок последней смены знаков приведен в таблицах 1 и 2);
- через сутки и более всегда отмечалась новая мировая магнитная буря, а космонавты фиксировали появление среднеширотных полярных сияний.

Оказалось также, что тип начала предшествующей и последующей магнитных бурь был всегда одинаков, при этом для постепенного начала между окончанием предыдущей и возникновением новой бури проходило 3–4 дня, а в случае внезапного начала вдвое больше – 7–8 дней. Это обстоятельство и приводит к некоторой неопределенности указанных выше промежутков (1 сутки и более) между временем наблюдения свечения и предшествующей и последующей магнитными бурями.

Каждый раз планетарное свечение ионосферы наблюдалось в периоды вспышек на Солнце, которые также характеризуются рядом особенностей:

- по данным наземных обсерваторий, наблюдающих вспышки в линии  $H_\alpha$  ( $\lambda = 656,3$  нм), она классифицируется обычно как слабая (субвспышка);
- возникающие при этих вспышках внезапные ионосферные возмущения – ВИВ (на дневной стороне) имеют низкий балл ( $1^- \dots 1^0$ ), но регистрируются большим числом ионосферных станций (с достоверностью, близкой к максимальной);
- при патрульных наблюдениях за рентгеновским излучением Солнца в большинстве таких вспышек увеличенного потока рентгеновского излучения (в области спектра 0,05–0,8 нм) не зафиксировано.

Остановимся подробно на выявленной гелиогеофизической ситуации. Невысокий уровень геомагнитной активности (индекс планетарной активности  $K_p \leq 3$ ) подтверждает отсутствие среднеширотных высыпаний электронных и протонных потоков [11] и, следовательно, объяснить наблюдаемое свечение ночной ионосферы полярными сияниями невозможно. Наличие во всех случаях предшествующей магнитной бури свидетельствует о заполнении ближней магнитосферы ионами ионосферного происхождения, в первую очередь двухзарядными ионами кислорода  $O^{++}$  [28–29].

Характер смены знаков ММП подтверждает окончание активного периода после предшествующей магнитной бури, т.е. об определенной стабилизации геофизической погоды перед обнаруженным явлением. Наконец, обязательная последующая сильная мировая буря (буря 20–21 сентября 1978 года продолжилась сильнейшей бурей 24–25 сентября с  $K_{\text{макс}} = 7+9$ ) является указанием на то, что рассматриваемые эффекты сопутствуют вспышкам особо повышенной геоэффек-

тивности. Действительно, несмотря на то, что в оптическом и рентгеновском диапазонах вспышка на Солнце является очень слабой, она вызывает хорошо фиксируемые, хотя и низкого балла, дневные внезапные ионосферные возмущения. На их величине, по-видимому, сказывается то обстоятельство, что основное возмущение вызывается непатрулируемым ультрафиолетовым излучением солнечной вспышки. Это излучение приводит, главным образом, к возмущениям в F-области ионосферы, не регистрируемым обычно, как ВИВы, наземными ионозондами.

Однако в периоды, указанные в табл. 1 (см. эту таблицу в [5]), возмущения F-области ионосферы наблюдались мировой сетью ионосферных станций. Это обнаружено в [5] по результатам специальной обработки ночных ионограмм. Регистрировались хорошо выраженные увеличения критической частоты слоя F2 на величину до 10 %, что соответствует росту плотности тепловых электронов ионосферы на 20 %. Это происходило именно в указанные космонавтами периоды наблюдений свечения второго эмиссионного слоя в планетарном масштабе, которым всегда соответствовали солнечные вспышки. Такое проявление воздействия солнечных вспышек на ночную верхнюю ионосферу Земли обнаружено впервые.

Визуальные наблюдения космонавтами повышенного свечения ночной F-области ионосферы были количественно подтверждены и приборными наблюдениями за интенсивностью излучения ночной верхней атмосферы Земли, проведенными 6–10 июля 1978 года (в Абастумани, Грузия) [30]. Эти наблюдения включали регистрацию радиометрами излучения атомарного кислорода верхней атмосферы в красных (630,0/636,4 нм) и зеленой (557,7 нм) линиях. Как известно, на средних широтах красные линии излучаются с высоты 250–350 км, а зеленая – с высоты 90–95 км. Оказалось, что именно интенсивность красных линий возрастает после каждой солнечной вспышки в периоды, указанные космонавтами. Ранее такой эффект в свечении ночного неба не был известен. Эти возрастания достигают 20–25 %, а ночью с 8 на 9 июля 1978 года общий рост в серии вспышек превысил 100 %. Существование этого эффекта и его связь с F2-слоем сомнений не вызывают, так как одновременные ионозондовые измерения вариации критической частоты F2-слоя на станции Тбилиси, расположенной менее чем в 200 км от Абастумани, подтверждают ее возрастание в моменты усиления интенсивности эмиссии в спектральных линиях  $\lambda$  630/634 нм.

Такие результаты приборных измерений количественных характеристик реакции ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки радиофизическими и оптическими методами позволили впервые построить теоретическую модель данного явления [5, 31]. Она основана на предположении, что основным фактором, ответственным за добавочное ионообразование и оптическое возбуждение ночной F-области ионосферы во время вспышек на Солнце, является увеличение интенсивности рассеянного в геокороне (геокорона – это область вокруг Земли на высотах от ~500–1000 км, где еще имеется сильно разряженный газ верхней атмосферы) ультрафиолетового излучения этой вспышки. Такое рассеянное на ионах и атомах излучение, проникая в ночную ионосферу, способно производить фотоионизацию всей среднеширотной F-области. Однако теоретический расчет в рамках такой модельной картины [5, 31] потребовал существенного уточнения типовых распределений интенсивности рассеянного излучения геокороны, его угловой анизотропии и временных вариаций интенсивности. Все эти уточнения [5] были основаны на тщательно проведенном анализе совокупности экспериментальных данных как по ультрафиолетовой радиации геокороны, так и по возрастанию интенсивности отдельных резонансных линий солнечного спектра в периоды вспы-

шек. Было обнаружено, что в предшествующих расчетах ночной фотоионизации верхней атмосферы не учитывалось наличие сильной анизотропии излучения из геокороны и прежде всего по зенитному углу. Важно, что все более ранние теоретические модели резонансно рассеянной солнечной радиации в геокороне дают очень низкие абсолютные интенсивности, если в качестве значений плотности ионов  $\text{He}^+$  и атомов  $\text{He}$  используются данные спутниковых экспериментов. Наиболее интенсивное излучение приходит сверху в F-область ночной ионосферы из заревого сегмента геокороны при зенитных углах, близких к  $90^\circ$ . Эта особенность принципиальна при рассмотрении добавочного ионообразования в верхней ионосфере, поскольку ионизирующее излучение с длинами волн  $\sim 30\text{--}91$  нм при зенитных углах  $70^\circ\text{--}90^\circ$  целиком поглощается на высоте F-области. Частичное поглощение в F-области происходит и при меньших углах, так что полная интенсивность дошедшего до нижележащей E-области ионосферы ультрафиолетового излучения геокороны уменьшается в несколько раз. Главное, в моделях [5, 30, 31] для рассеянного жесткого ультрафиолетового излучения геокороны впервые учтена роль гелиогеофизических условий, прежде всего увеличение самого потока солнечной радиации в резонансных для атомов и ионов геокороны линиях во время солнечной вспышки. Кроме того, принято во внимание существование в первые десятки часов после сильной магнитной бури потока ионов  $\text{O}^{++}$  тепловых энергий из области F вверх в плазмосферу [5, 28, 31]. Это приводит к значительному росту плотности ионов  $\text{O}^{++}$  в геокороне – до сотен раз на высотах более чем 1600 км. Слой  $\text{O}^{++}$  ионов образуется в ионизационно-рекомбинационном цикле с участием ионосферных ионов  $\text{O}^+$ , образующихся в верхней ионосфере в основном через двукратную фотоионизацию нейтрального атома кислорода. Этот процесс в ионосфере впервые рассмотрен в [32] и позднее – в [33]. Возрастания плотности иона  $\text{O}^+$  также происходят после магнитной бури, но существенно меньше [28].

В [34] рассмотрена возможность переизлучения солнечной радиации в линии 30,4 нм на ночную сторону геокорональными ионами  $\text{O}^{++}$ . Действительно, линия  $\text{O}^{++}$  в переходе  $2s^2 2p^3 P_2 \rightarrow 2s^2 3d^3 P_2^0$  имеет длину волны, равную 30,3799 нм, а  $L_\alpha \text{He}^+$  – 30,3783 нм, т.е. всего на  $1,7 \cdot 10^{-3}$  нм меньше. Очевидно, что солнечные линии 50,7, 70,3 и 83,4 нм, излучаемые ионами  $\text{O}^{++}$  плазмы солнечной атмосферы, также могут рассеиваться на ионах  $\text{O}^{++}$  геокороны.

В [5] сделаны оценки возрастания УФ-излучения геокороны за счет рассеяния на ионах  $\text{O}^{++}$ .

В целом минимальный вклад всех линий  $\text{O}^{++}$  в излучение внутри плазмосферной области геокороны достигает 30 % от рассеяния линии 30,4 нм непосредственно на ионах  $\text{He}^+$ . На широтах, больших  $\sim 55^\circ$  (т.е. вне плазмосферы), роль  $\text{O}^{++}$  возрастает втрое в спокойных условиях. Если же рассматривать периоды после геомагнитной бури, когда концентрация  $\text{O}^{++}$  может повышаться на порядки величины, то основной вклад в УФ-излучение геокороны дает рассеяние солнечного излучения именно на ионах  $\text{O}^{++}$  и прежде всего в линии  $\text{O}^{++} \lambda = 30,4$  нм. Это следует из того экспериментального факта, что плотность ионов  $\text{He}^+$  в геокороне после геомагнитных бурь изменяется очень незначительно.

Результаты расчетов полностью описывают количественные экспериментальные данные, полученные наземными обсерваториями радиофизическими (по величине плотности тепловых электронов в максимуме F2-слоя) и оптическими (по интенсивности красных линий 630/634 нм в зенитном направлении) методами.

Так, приращение ионосферной электронной плотности ночью во время вспышек экспериментально – до 20 %, по модельным расчетам – 17 % [35], увеличение интенсивности красной эмиссии ночного неба экспериментально зафиксировано от 211 релей до 252 релей за время вспышки, модельный расчет дает соответственно 210 и 249 релей [5]. В модели также проявляется временной ход интенсивности эмиссии, связанный с различным временем включения основных механизмов возбуждения: мгновенно – через удар фотоэлектронами, постепенно – за счет диссоциативной рекомбинации молекулярного иона кислорода. Последний, оставаясь основным, сказывается с задержкой во времени примерно на 13 мин и это проявляется в экспериментальных данных.

Для физики солнечно-биосферных связей важно, что обнаруженные периоды реакции ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки сопровождались достаточно уникальным геофизическим явлением – практически полным отсутствием геомагнитных пульсаций различных видов как раз во время наблюдений космонавтов. В [36] отмечено, что нарушения ритмов этих пульсаций может оказывать влияние на организм человека, если они по частотам близки к собственным биологическим ритмам человеческого организма. Этот вопрос рассмотрен в [36] в связи с пилотируемыми полетами к Марсу. Как известно, у Марса нет собственного магнитного поля, кроме того, сам межпланетный перелет будет проходить наибольшую часть времени вне земной магнитосферы. Следовательно, космонавты окажутся практически все время экспедиции вне действия привычного ритма геомагнитных пульсаций. Но, согласно [36], в периоды отсутствия геомагнитных пульсаций в длительном полете на орбитальной станции фиксировались повышенная нервная возбудимость членов экипажа космонавтов и конфликтность взаимоотношений его членов, выражавшаяся и в конфликтах при радиопереговорах с ЦУПом. Тогда очевидно, что этот эффект воздействия одного из физических факторов космического пространства на космонавтов должен обязательно быть принят во внимание при подготовке межпланетных экспедиций и при этом разработаны предупредительные меры для сохранения работоспособности и здоровья экипажа.

Итак, в данной части статьи описаны основные экспериментальные и теоретические результаты по исследованию нового геофизического явления – реакции ночной верхней атмосферы (на высоте F-области ионосферы) на некоторые солнечные вспышки в периоды после изолированных геомагнитных бурь. Этот эффект был сперва обнаружен в наблюдениях космонавтов [3–5], затем подтвержден фотометрическими патрульными измерениями Абастуманской астрофизической обсерватории, обнаружен также в степени ионизации верхней атмосферы по сети ионосферных станций вертикального радиозондирования и получил полное количественное физическое объяснение в рамках специально разработанной гелиогеофизической теоретической модели явления [22, 28, 36].

Визуально обнаруженное космонавтами явление реакции ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки дало понимание канала влияния вспышечной активности Солнца на ту часть биосферы (и населения Земли), которая в момент вспышки находится в земной тени. Это позволяет трактовать наличие солнечно-биосферных связей круглые сутки. В высоких широтах (в полярную ночь) подобная возможность была доказана нами в [10].



### **Перспективы использования ВИН с борта МКС для решения практических задач прогноза погодных явлений**

Наиболее актуальной проблемой физики солнечно-земных связей много лет является раскрытие механизма влияния вспышек на Солнце и мировых магнитных бурь на процессы в нижней атмосфере Земли, т.е. на явления в метеорологии и климатологии. Действительно, вспышки и магнитные бури – наиболее сильные проявления повышения солнечно-геомагнитной активности, имеющей циклический характер. Наиболее известным и изученным является 11-летний цикл, далее значимым для климатических изменений признана квазистолетняя цикличность солнечно-геомагнитной активности, во всяком случае, именно недавним прохождением на рубеже XX–XXI веков максимума векового цикла (сформированного наложением квазистолетнего и квазидвухсотлетнего циклов) удается объяснить [15, 16] современное глобальное потепление приземного воздуха. В парадигме [17] удалось впервые предложить физический механизм воздействия энергетики вспышечной и геомагнитной буревой активности на процессы формирования облачного покрова через учет процесса генерации микроволнового излучения ионосферы, возмущенной в эти периоды, приход потоков которого на тропосферные уровни стимулирует образование конденсационно-кластерной дымки, а далее оптически тонкой, разогревающей облачности. Это меняет радиационные условия в системе Земля–атмосфера–космос, существенно задерживая уход потока теплового излучения от подстилающей поверхности и создавая парниковый эффект облачности. Полное подтверждение эффективности предложенного в [15–17] механизма является обнаруженное по данным международного спутникового эксперимента ISCCP регулирование уровнем солнечно-геомагнитной активности глобальной распространенности облаков различного яруса и, главное, присутствие в периодичностях основных метеохарактеристик – температуры приземного воздуха и осадков квазипериодов в 2–5,5 лет [37–39]. Но именно такой диапазон периодов присущ появлению сильных солнечных вспышек и мировых магнитных бурь внутри 11-летнего цикла [11, 39]. Главное, к настоящему времени проведено полное квантово-механическое рассмотрение количественных характеристик предложенного в [17] механизма воздействия вспышек и бурь на процесс кластеризации водяных паров с образованием оптически тонкой облачности в тропосфере [40].

Приведенные выше новые результаты по физике солнечно-погодноклиматическим связям позволяют предложить программу ВИН по регистрации эффектов вспышек на Солнце и магнитных бурь в зарождении и увеличении распространенности облачного покрова в регионах с антициклонической ситуацией. Собственно, опыт таких наблюдений уже представлялся в [41]. Было зафиксировано над океаном в районе Бермудского треугольника после полного отсутствия облачности во всем наблюдаемом регионе (с границей на удалении 1800–2000 км) появление через несколько часов сплошного поля облаков. Это – признак внешнего воздействия эффектов повышения солнечно-геомагнитной активности как раз в рамках обсуждаемого механизма контроля за зарождением облачности в глобальном масштабе. Систематические наблюдения подобных ситуаций, их привязка к явлениям активности Солнца, проведение ряда сопутствующих измерений (лидарных, микроволновых) в сочетании (для магнитных бурь на ночной стороне) с ВИН эмиссионного излучения верхней ионосферы позволит определить наличие и степень контроля распространенности облачности во время высших проявлений солнечно-геомагнитной активности в виде вспышек и бурь. Подобные, но локаль-

ные вариации облачности в периоды работы стендов высокочастотного нагрева различных ионосферных слоев также следует ожидать, поскольку над отечественным нагревным стендом Сура уже обнаружено впервые падение содержания паров воды [14], причем научная интерпретация эффекта проведена с привлечением конденсационно-кластерного механизма образования оптически тонкой облачности.

### **Предложения по облику перспективной ДОС с учетом расширения функций ВИН**

Опыт, полученный при отечественных пилотируемых космических исследованиях, позволяет кратко обсудить требования к техническому оснащению проведения современных ВИН на перспективу: это – использование панорамного отсека как минимум с четырьмя иллюминаторами большого диаметра (с защитными крышками от загрязнений и микрометеоритной эрозии вне периодов наблюдений) и поворотной бленды. Так, согласно оценкам [2], светозащитные поворотные бленды должны обеспечивать:

- снижение яркости фонового излучения иллюминатора до  $\sim 10^{-5}$  кд/м<sup>2</sup> для полной реализации адаптированной пороговой яркостной чувствительности космонавта (около  $10^{-5}$  кд/м<sup>2</sup>);
- наблюдение яркости ионосферного пятна ночью в диапазоне ниже  $1,2 \times 10^{-4}$  кд/м<sup>2</sup>;
- при защите от дневного излучения подстилающей поверхности и нижней атмосферы бленда должна иметь отношение (длина/диаметр), равное 50/1, или менее.

Для выполнения полноценных научных исследований и мониторинга связи ионосферно-нижеатмосферных явлений, включая естественные и антропогенные воздействия на погодно-климатические характеристики, необходима организация сопутствующих лидарных и СВЧ-томографических измерений в тропосферно-ионосферной среде. Здесь уже имеется отечественный опыт целенаправленной регистрации картин микроволновых излучений ионосферы в периоды магнитных бурь и солнечных вспышек, в том числе со спутника, на частоте 400 МГц [42]. Такой комплексный подход позволит экспериментально обнаруживать новые закономерности в физике окружающей среды, в том числе для целей их дальнейшего учета в прогностических моделях и утилитарных прогнозах погоды и экологических катастроф.

### **Заключение**

С борта отечественных пилотируемых космических кораблей и орбитальных научных станций и комплексов впервые зарегистрирован ряд новых оптико-геофизических явлений. Это: явления волновой природы – горизонтальная неоднородность эмиссионного излучения верхней ионосферы и локальные быстропротекающие эффекты в свечении полярных сияний, явление реакции оптических и ионосферных параметров ночной F-области земной ионосферы на солнечные вспышки. Такое явление спорадического возрастания интенсивности эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли прямо связано с периодами солнечных вспышек. В рамках предложенной для объяснения новых явлений физической модели удалось получить количественные результаты, подтверждающиеся экспериментальными данными приборных измерений ионосферных станций и астрофизической обсерватории. Результаты всей совокупности представленных иссле-

дований – визуально-инструментальные наблюдения космонавтов, специальная обработка патрульных оптических и радиофизических данных наземных обсерваторий, анализ показаний оптико-электронного и масс-спектрометрического мониторинга в спутниковых измерениях и теоретические расчеты в рамках специально разработанных гелиогеофизических моделей – наглядно показывают исключительные возможности пилотируемых космических полетов для обнаружения новых явлений в физике солнечно-земных связей.

Опыт, полученный при таких исследованиях с использованием ВИН, позволяет кратко обсудить требования к техническому оснащению перспективных ДОС: это – использование панорамного отсека как минимум с четырьмя иллюминаторами большого диаметра и поворотной бленды.

Для выполнения полноценных научных исследований и мониторинга связи ионосферно-нижеатмосферных явлений, включая естественные и антропогенные воздействия на погодно-климатические характеристики, необходима организация сопутствующих лидарных и СВЧ-томографических измерений в тропосферно-ионосферной среде с учетом отечественного опыта [42]. Такой комплексный подход позволит существенно продвинуться в понимании закономерностей в физике солнечно-земных связей, в практическом использовании патрульных ВИН при решении метеоклиматических и экологических задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Визуально-инструментальные наблюдения с борта Международной космической станции экипажами российского сегмента и основные принципы подготовки к их выполнению / Васильев В.И., Сохин И.Г., Бронников С.В., Васильева Н.И., Гордиенко О.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 2(7). – С. 23–29.
- [2] Оптические исследования в космосе / Лазарев А.И., Николаев А.Г., Хрунов Е.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 256 с.
- [3] Атмосфера Земли с «Салюта-6» / Лазарев А.И., Коваленок В.В., Иванченков А.С., Авакян С.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 207 с.
- [4] Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6» / Лазарев А.И., Коваленок В.В., Савиных В.П. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 136 с.
- [5] Ночная F-область ионосферы в периоды вспышек на Солнце / Авакян С.В., Коваленок В.В., Солоницина Н.Ф. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 150 с.
- [6] Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей / Лазарев А.И., Коваленок В.В., Авакян С.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 400 с.
- [7] Горизонтальная оптическая неоднородность верхней атмосферы на средних и экваториальных широтах по наблюдениям с борта орбитальной научной станции «Салют-4» / Авакян С.В., Климук П.И., Кокшаров И.И., Лазарев А.И., Севастьянов В.И. // Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта ОС «Салют-4». – Тарту: АН ЭССР, 1977. – С. 88.
- [8] Внеатмосферные визуальные наблюдения ночного свечения ионосферы Земли / Гречко Г.М., Романенко Ю.В., Савченко С.А. // Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальной научной станции «Салют». – Тарту: АН ЭССР, 1981. – С. 147.
- [9] Наблюдения горизонтальной неоднородности ночного свечения F-слоя в районе Бразильской аномалии / Авакян С.В., Коваленок В.В., Лазарев А.И., Серова А.Е. // Геомагн. и аэронавигация. – 1982. – Т. 22. – № 6. – С. 1018.
- [10] Наблюдения полярных сияний из космоса / Авакян С.В., Евлашин Л.С., Коваленок В.В., Лазарев А.И., Титов В.Г. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 229 с.
- [11] Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве / Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф. – Л.: Гидрометеиздат, 1994. – 501 с.
- [12] Роль ридберговских атомов и молекул в верхней атмосфере / Авакян С.В., Серова А.Е., Воронин Н.А. // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1997. – Т. 37. – № 3. – С. 99–106.

- [13] Управление погодой и проблемы безопасности России / Авакян С.В., Воронин Н.А., Троицкий А.В., Черноус С.А. // Сборник пленарных докладов 17-й Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», Санкт-Петербург, 2–3 апреля 2014. – С. 116–121. Доклад на 40-й Генассамблее КОСПАР, Москва, август 2014.
- [14] Grach S.M., Fridman V.M., Lifshits L.M., Podstrigach T.S., Sergeev E.N., Snegirev S.D. UHF Electromagnetic Emission Stimulated by HF Pumping of the Ionosphere // *Annales Geophysicae*. – 2002. – V. 20. – № 10. – P. 1687–1691.
- [15] Авакян С.В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // *Вестник Российской Академии наук*. – 2013. – Т. 83. – № 5. – С. 425–436.
- [16] Авакян С.В. Проблемы климата как задача оптики // *Оптический журнал*. – 2013. – Т. 80. – № 11. – С. 98–105.
- [17] Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // *Геомagnetизм и аэрономия*. – 2008. – Т. 48. – № 4. – С. 1–8.
- [18] Вавилов С.И. Глаз и Солнце. О свете, Солнце и зрении. – 1950.
- [19] Оптические явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей / Береговой Г.Т., Бузников А.А., Кондратьев К.Я. и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 47 с.
- [20] Вертикально-лучевая структура (горизонтальная неоднородность) излучения верхней атмосферы Земли по наблюдениям с космического корабля «Салют-3» / Береговой Г.Т., Бузников А.А., Кондратьев К.Я. и др. // *ДАН СССР*. – 1972. – Т. 206. – № 3. – С. 601.
- [21] Лебедев В.В. О чем задумываешься, глядя на Землю из космоса // *Вестник Российской Академии наук*. – 2015. – Т. 85. – № 1. – С. 62.
- [22] Лазарев А.И. Авакян С.В. Вертикально-лучевая структура эмиссионного излучения верхней атмосферы и акустико-гравитационные волны // *Тезисы докл. на 1 Всес. симпозиуме «Оптические исследования верхней атмосферы»*, Тбилиси, Мецнебера, 1975. – С. 52.
- [23] Волны и излучение верхней атмосферы / Авакян С.В., Дробжев В.И., Краснов В.М., Николаев А.Г., Севастьянов В.И., Яковец А.Ф. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 181 с.
- [24] Dyson P.L., Hoppod P.A. The Interpretation of 6300 Å Airglow Observations of Ionospheric Irregularities // *Planet. Space Sci.* – 1974. – V. 22. – № 3. – P. 495.
- [25] Mullaney H., Paragiannis M.D., Noxon J.F. Parallel study of 6300 Å Airglow Emission and Ionospheric Scintillation // *Planet. Space Sci.* – 1972. – V. 20. – № 1. – P. 41.
- [26] Armstrong E.B. The Influence of a Gravity Wave on the Airglow Hydroxyl Rotational Temperature at Night // *J. Atm. Terr. Phys.* – 1975. – V. 17. – № 12. – P. 1585.
- [27] Авакян С.В. Достижения отечественной космонавтики в исследовании пространственных неоднородностей в эмиссионном излучении верхней атмосферы Земли // *Оптический журн.* – 1997. – Т. 64. – № 4. – С. 34.
- [28] Авакян С.В., Деминов М.Г. Диффузия двухзарядных ионов атомарного кислорода в плазмосферу в восстановительную фазу ионосферной бури // *Космические исследования*. – 1983. – Т. 21. – № 5. – С. 806–810.
- [29] Geiss J. et al. Dynamics of Magnetosphere Ion Composition as Observed by the GEOS Mass Spectrometer // *Space. Sci. Rev.* – 1978. – V. 22. – № 5. – P. 537–566.
- [30] Об усилении эмиссии OI 630 нм свечения ночного неба во время солнечных вспышек / Авакян С.В., Кудряшев Г.С., Фишкова Л.М. // *Геомagn. и аэрономия*. – 1985. – Т. 25. – № 3. – С. 415–419.
- [31] Обнаружение явления реакции ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки с орбитальной станции «Салют-6» / Коваленок В.В., Лазарев А.И., Кудряшев Г.С., Авакян С.В. // *Исследования атмосферы и земной поверхности из космоса*. – Тарту, 1988. – С. 10–21.
- [32] Авакян С. В. Образование двухзарядных ионов атомарного кислорода в верхней атмосфере // *Космические исследования*. – 1979. – Т. 17. – № 6. – С. 942–945.
- [33] Victor G.A., Constantinides E.R. Double Photoionization and Double Charged Ions in the Thermosphere // *Geophys. Res. Lett.* – 1979. – V. 6. – № 6. – P. 519.
- [34] Carlson R.W. Possibility of O III 304 E Emissions in the Extreme Ultraviolet Airglow // *J. Geophys. Res.* – 1972. – V. 77. – № 31. – P. 6282–6283.

- [35] О механизме влияния солнечной вспышки на параметры ночной F2-области ионосферы / Авакян С.В., Кудряшев Г.С., Островский Г.И. // Геомагн. и аэрономия. – 1986. – Т. 26. – № 5. – С. 836–837.
- [36] Космический солнечный патруль и некоторые проблемы пилотируемого полета к Марсу / Коваленок В.В., Авакян С.В., Боровкова О.К., Воронин Н.А. // Оптический журн. – 2005. – Т. 72. – № 8. – С. 49.
- [37] Колесникова В.Н., Монин А.С. О спектрах микрометеорологических, синоптических и климатических колебаний метеорологических полей // Метеорологические исследования. – № 16. – М.: Наука, 1968. – С. 30–56.
- [38] Benestad R.E. Solar Activity and Earth's Climate. – L.: Springer, 2002. – 288 p.
- [39] Авакян С.В. Исследования проявлений «солнечного сигнала» в климатологии и метеорологии в XVII–XXI веках // Оптический журнал. – 2015. – Т. 82. – № 1. – С. 74–81.
- [40] Авакян С.В., Девдариани А.З. Роль ридберговских состояний и микроволнового излучения в тропосферной кластеризации паров воды // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 5. – С. 76–78.
- [41] Коваленок В.В. Родина крылья дала. – Минск. Юнацтва, 1989. – 239 с.
- [42] Куницин В., Терещенко У., Андреева Е., Нестеров И., Радохин А., Воронцов А. Satellite Radiotomography of Ionospheric Responses to Extra-Terrestrial Forcing/ Доклад на 40-й Генассамблее КОСПАР, Москва, август 2014.

## ДИСКУССИИ

### DISCUSSIONS

УДК 629.78.007:796:338.48

#### НАПРАВЛЕННОСТЬ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМИЧЕСКИХ ТУРИСТОВ В РАМКАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОММЕРЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

С.А. Гониянц, А.А. Ковинский

Канд. педагогических наук, профессор С.А. Гониянц (ФГБОУВО «РГУФКСМиТ (ГЦОЛИФК)»); аспирант А.А. Ковинский (ФГБОУВО «РГУФКСМиТ (ГЦОЛИФК)»), ФГБУ «НИИЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена новому перспективному направлению развития пилотируемой космонавтики, связанному с полетами в космос непрофессиональных космонавтов, – космическому туризму. Рассмотрены организационно-методические аспекты физической подготовки космических туристов на предполетном этапе в рамках перспективных космических программ. Определена степень важности качеств, способностей космических туристов, необходимых в процессе космического полета.

**Ключевые слова:** физическая подготовка, космический туризм, космические туристы, подготовка космонавтов, Международная космическая станция, Центр подготовки космонавтов.

#### **Aspects of Physical Training of Space Tourists for Future Commercial Space Programs. S.A. Goniants, A.A. Kovinsky**

The paper deals with the new promising development trend of manned space exploration, associated with space missions of non-professional persons, i.e. with space tourism. The paper considers organizational and methodical aspects of physical training of space tourists at the pre-flight stage under future space programs and defines the importance degree of personal qualities and abilities of a space tourist that are necessary in spaceflight.

**Keywords:** physical training, space tourism, space tourists, cosmonaut training, International Space Training, Cosmonaut Training Center.

Пилотируемая космонавтика прошла 55-летний путь от первого полета Ю.А. Гагарина до современной многомодульной Международной космической станции (МКС). Современный этап развития пилотируемой космонавтики характеризуется началом коммерциализации данного направления ракетно-космической отрасли. Коммерческая деятельность может приносить и уже приносит финансовую прибыль «космическим» странам [2, 6, 13, 17–19, 21].

Принципиально новые возможности в области полета человека в космос, скорее всего, будут связаны в ближайшем будущем с межпланетными экспедициями, обслуживанием искусственных спутников Земли и, несомненно, космическим туризмом [4, 6, 13, 17]. Сегодня космические технологии из сферы экспериментальных и научных исследований постепенно переходят в область практического использования, и наступает время, когда практически любой человек может не только воспользоваться услугами спутниковой связи, но и осуществить реальный полет в космос, не являясь профессиональным космонавтом.

МКС открыла новое направление космонавтики – космический туризм, осуществляемый на коммерческой основе. За 12 лет десятью непрофессиональными

космонавтами выполнено одиннадцать полетов на МКС на российских пилотируемых космических аппаратах (ПКА). Хотя не всех из этих участников космических полетов в возрасте от 23 до 60 лет можно в полной мере назвать космическими туристами (КТ), т.к. за некоторых из них полет оплачивали космические агентства [1, 5, 12, 16, 17].

В настоящее время человек, соответствующий определенным требованиям к здоровью, физической подготовленности и типовым антропометрическим данным, заплатив определенную сумму денег, может осуществить космический полет.

Согласно некоторым исследованиям, доходы от космического туризма преобладают \$ 1,5 млрд к середине следующего десятилетия. Как минимум семь проектов по космическому туризму в мире находятся сейчас в разработке, включая те, что предполагают полеты на МКС, строительство частного отеля на орбите и, возможно, на Луне [2, 13, 18, 19].

В США уже полным ходом строятся частные орбитальные и суборбитальные космические корабли, в России создается 4-местный корабль нового поколения (ПТК НП), что указывает большие перспективы для полетов космических туристов.

Кроме того, в России в настоящее время ряд частных компаний работают в отрасли космического туризма и по другим направлениям, кроме МКС. Существует проект создания российской коммерческой космической станции (ККС) [1, 2, 8, 14, 17].

Решение правительства США допустить частные компании реализовывать самостоятельно проекты пилотируемых полетов вызвало настоящий бум космического туризма в США [18, 19]. Компания Bigelow Aerospace заявила о намерении построить первую частную космическую гостиницу, тестовые запуски прототипов надувных модулей уже были осуществлены. Станция будет состоять из надувных элементов «Sundancer» и «BA 330», стыковочного узла, солнечных батарей и пристыкованных пилотируемых капсул. НАСА и компания Bigelow Aerospace в 2016 году уже отправили к МКС для тестов первый надувной жилой модуль BEAM (Bigelow Expandable Activity Module).

Ближе всех к цели проведения туристических суборбитальных полетов подошла компания Virgin Galactic с кораблем SpaceShipTwo и самолетом-носителем WhiteKnightTwo.

Если рассмотреть перспективы космического туризма в мире, представленные в работах [2, 6–8, 13, 14, 17], то можно определить 4 возможных направления космического туризма в будущем (рис. 1) [2]. С первых шагов пилотируемой космонавтики предполагалось, что условия полета в космос предъявят высокие требования к функциональным возможностям организма человека. В связи с этим была предложена жесткая система отбора космонавтов по медико-психологическим показателям. Однако уже тогда было ясно, что даже человеку, обладающему «абсолютным» здоровьем, необходима специальная подготовка организма для преодоления неблагоприятных воздействий факторов космического полета. Из всех известных средств повышения функциональных возможностей и обеспечения устойчивости организма к воздействию указанных факторов предпочтение было отдано физической подготовке (ФП), как наиболее физиологичному и эффективному средству формирования адаптационных механизмов организма [5, 16]. Исследования по изучению влияния физических упражнений на высшую нервную деятельность, функции кровообращения, дыхания, костно-мышечный аппарат человека показали, что двигательная активность оказывает нормализующее влияние на протекание всех жизненных процессов [9].



Предполагаемые направления развития космического туризма в мире

Важно отметить, что опыт подготовки космических туристов к полету есть только в России в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина. При этом их физическая подготовка к кратковременным полетам (7–10 суток) проводится по методикам, основанным на методиках ФП профессиональных космонавтов. Если физическая подготовка профессионального космонавта носит плановый характер и продолжается в процессе всего срока нахождения в отряде космонавтов, то физическая подготовка к короткому полету КТ обычно продолжается в Центре подготовки космонавтов менее года [1]. При этом подготовка туристов может прерываться для решения ими своих личных или профессиональных задач. Поскольку накопленный в ЦПК опыт ФП КТ ограничен полетами на МКС, то задача разработки методических основ физической подготовки туристов в рамках других перспективных направлений космического туризма является весьма актуальной. При решении этой задачи должна учитываться возможность их самостоятельной подготовки, а также возможное отсутствие специализированных средств физической подготовки. Создание новых многоместных пилотируемых транспортных кораблей, в том числе и частными компаниями, развитие массового космического туризма потребуют разработки иной концепции физической подготовки КТ с использованием форм самостоятельной ФП.

Если же учесть, что требования к физической подготовленности космических туристов для разных перспективных проектов коммерческих полетов не определены, то актуальность научного обоснования процесса психофизической подготовки успешному и, естественно, безопасному полету приобретает особую остроту.

Опыт полетов космических туристов на борту российских ПКА показывает, что к основным функциям космического туриста во время космического полета относятся [12, 20, 21]:

- выполнение действий по бортовой инструкции в соответствии с программой полета при выполнении основных полетных операций (старт, стыковка, переход в станцию, расстыковка и пр.);
- обеспечение своей жизнедеятельности в полете и после посадки;
- ведение связи с экипажем и Землей;



- перенос грузов;
- выполнение предусмотренной программы научных экспериментов, символической деятельности и других задач программы его полета;
- выполнение действий в аварийных ситуациях в соответствии с бортовой инструкцией и указаниями командира экипажа;
- выполнение действий после посадки транспортного корабля.

В соответствии с задачами космического туриста на борту ПКА можно сформулировать основные требования к физической работоспособности космических туристов для выполнения космического полета с учетом воздействия неблагоприятных факторов космического полета:

- их физическая работоспособность во время нахождения на борту пилотируемого космического аппарата не повлияет на выполнение программы полета;
- они способны безопасно выполнить аварийное покидание ПКА и космической станции;
- они не имеют физических дефектов, которые помешали бы штатному использованию спасательных скафандров;
- их физическая работоспособность позволяет участвовать в любых необходимых тренировках или работах в полете, предусмотренных их программой работ или которые могут потребоваться при возникновении аварийных ситуаций.

Неблагоприятное влияние на космического туриста может оказывать нервно-эмоциональное напряжение, связанное с его ответственной и напряженной деятельностью, в частности, в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций. Однако наиболее существенное воздействие на организм человека в условиях космического полета будут оказывать перегрузки при взлете и возвращении на Землю и невесомость, вызывающая развитие широкого спектра негативных изменений в различных системах организма: сердечно-сосудистой, двигательной, сенсорной, скелетно-мышечной и других. Такой фактор космического полета как невесомость сам по себе является условно патогенным и будет оказывать наиболее сильное влияние на самочувствие космического туриста. Пребывание в невесомости, отсутствие привычной площади опоры, деятельность в безопорном пространстве требуют от него изменения сложившегося в наземных условиях стереотипа движений [11].

В условиях невесомости утрачивается привычное представление о положении предметов (вверх–низ). Все это может вызвать у космического туриста различные психические переживания – от эйфории до иллюзий пространственного положения. Более того, пребывание в условиях невесомости снимает привычные физические нагрузки, что приводит, в свою очередь, к детренированности мышечной системы, изменению обменных процессов [11].

Специалисты авиакосмической медицины и психологии (Р.Б. Богдашевский, О.Г. Газенко, А.И. Григорьев, А.Д. Егоров, И.Б. Козловская, К.К. Платонов, И.Б. Соловьева и другие) [3, 9, 11, 12, 20, 21] выделяют определенные индивидуальные психофизические качества для профессиональных космонавтов. Исходя из SWOT анализа материалов перечисленных выше авторов, интервью профессиональных космонавтов ( $n = 8$ ) и участия в различных конференциях и форумах, позволило нам в декабре 2015 года определить расширенный список психофизических качеств с учетом требований к КТ. В экспертной оценке приняли участие четыре группы экспертов и специалистов: преподаватели-инструкторы по физической подготовке космонавтов, специалисты (ученые) по общей научно-технической подготовке космонавтов, специалисты медико-биологической отрас-

ли и профессиональные космонавты, работающие в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

Опрос проходил с декабря 2015 года по февраль 2016 года. В опросе принимало участие 22 эксперта, все они сотрудники НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина. Средний возраст всех экспертов составил 64 года, все, кроме одного, эксперты мужского пола, средний стаж работы в космической отрасли 35 лет, что показывает довольно долгий опыт работы в космонавтике. Ученые степени экспертов: 5 докторов наук, 9 кандидатов наук. Звания: 4 профессора, 3 доцента. Результаты опроса представлены в таблице 1.

Использовалась следующая шкала оценки уровня важности качеств КТ в соответствии с требованиями к их действиям в космическом полете: 0–1 – очень низкий; 2–3 – низкий; 4–6 – средний; 7–8 – высокий; 9–10 – очень высокий.

Таблица 1

Ранжирование уровня важности качеств, способностей космических туристов, необходимых в процессе космического полета

Качества, способности		X	S	V %		
Характерологические	1	Интерес к космическому полету	8,7	1,0	12 %	
	2	Осознание социальной значимости полета	6,5	1,2	23 %	
	3	Способность к правильной самооценке	6,8	0,9	13 %	
	4	Активность поведения, ответственность за свою подготовленность (исполнительность)	8,3	0,9	11 %	
	5	Самостоятельность в мышлении и поведении	7,2	1,1	18 %	
	6	Уверенность в себе	8,1	0,9	10 %	
	7	Познавательная и творческая активность	8,3	1,2	16 %	
	8	Устойчивость личности к неблагоприятным эмоциональным, социально-психологическим воздействиям	8,0	0,9	10 %	
	9	Черты характера	Целеустремленность	8,3	1,1	15 %
	10		Воля, волевая устойчивость	7,2	1,1	15 %
	11		Находчивость, способность к неожиданному решению задач	6,7	1,4	28 %
	12		Смелость, решительность	7,1	1,2	19 %
	13		Настойчивость	7,7	1,2	19 %
	14	Нравственные качества	Чувство долга	5,7	1,3	29 %
	15		Честность	7,9	1,2	17 %
	16		Порядочность	8,0	1,4	24 %
	17	Социальные качества	Товарищество	7,5	1,4	28 %
	18		Коммуникабельность	8,1	1,1	14 %
	19		Правильные ценностные ориентации	6,7	1,1	19 %
Интеллектуальные	20	Развитость ощущений и восприятий	6,9	0,9	13 %	
	21	Интеллект (умственные способности)	8,1	0,9	10 %	
	22	Устойчивость мыслительной деятельности в экстремальных условиях	8,1	0,9	10 %	
	23	Словесные-логические способности, правильно излагать мысли	6,3	0,6	7 %	
	24	Стрессоустойчивость	7,9	0,9	10 %	
	25	Быстрота, точность и прочность памяти	6,8	0,9	12 %	
	26	Продуктивность и оперативное мышление	6,7	0,9	13 %	
	27	Вычислительные способности	6,2	0,9	14 %	

Окончание таблицы 1

Качества, способности			X	S	V %	
Физические	28	Сила	статическая	6,5	0,7	7 %
	29		динамическая	6,8	0,6	6 %
	30	Скоростные способности, быстрота		6,7	0,9	13 %
	31	Скоростно-силовые способности (взрывные)		6,5	0,7	8 %
	32	Общая (аэробная) выносливость		8,2	0,7	6 %
	33	Анаэробная (в условиях O <sub>2</sub> долга) выносливость		7,3	0,9	11 %
	34	Статическая выносливость		7,5	0,7	7 %
	35	Двигательно-координационные способности, ловкость	Сохранить статическое и динамическое равновесие	7,7	0,7	7 %
	36		Вестибулярная статокINETическая устойчивость	7,5	1,1	15 %
	37		Способность выполнять точные движения, в т.ч. дифференцировать усилия	7,9	1,0	14 %
	38		Умение «перестраивать свои действия в изменившейся ситуации», находчивость в решении двигательной задачи	7,6	1,1	16 %
39	Умение расслабляться, экономично выполнять движения, преодолевать мышечную напряженность		7,8	1,1	14 %	
40	Гибкость, в т.ч. подвижность основных суставов		6,1	1,4	31 %	
41	Осанка, сохранение правильной позы при различных положениях тела		6,5	0,8	10 %	
Психофизиологические	42	Способность оценивать расстояние и скорость		5,8	0,7	8 %
	43	Острота зрения, способность глаза воспринимать отдельно две точки		6,5	0,7	7 %
	44	Сенсомоторная реакция	Простая двигательная реакция (слуховая/зрительная)	6,5	0,9	13 %
	45		Сложная двигательная реакция (слуховая/зрительная)	7,1	0,7	7 %
	46	Устойчивость функциональных систем	Сердечно-сосудистая	7,6	1,0	13 %
	47		Нервная (подвижность, пластичность)	7,3	1,0	13 %
	48		Дыхательная	7,6	0,8	9 %
	49	Устойчивость к переохлаждению		6,4	0,8	11 %
	50	Устойчивость к перегреванию		7,1	0,9	11 %
	51	Устойчивость к гипоксии		7,3	0,6	5 %
52	Помехоустойчивость (к шумам, вибрации и т.д.)		7,0	1,0	15 %	
Психологические	53	Память	кратковременная	6,7	0,9	12 %
	54		долговременная	6,6	0,8	11 %
	55	Внимание	Концентрация	6,8	1,3	23 %
	56		Переключение	6,7	1,4	27 %
	57		Помехоустойчивость	6,5	1,3	27 %
	58		Распределение	6,6	1,1	20 %

Рассчитаны (по В.Д. Бешелеву и Ф.Г. Гурвичу): среднее арифметическое значение –  $X$ , стандартное отклонение –  $S$ , коэффициент вариации –  $V$  %, коэффициент конкордации –  $W$  и оценка достоверности коэффициента конкордации –  $\chi^2$  по каждой группе экспертов и общий.

Группы экспертов, принимавших участие в опросе:

- преподаватели-инструкторы по физической подготовке (2 специалиста ответили только выборочно на анкету) – 5 человек;
- специалисты (ученые) по общей подготовке космонавтов – 6 человек;
- специалисты по медико-биологической и психологической подготовке космонавтов – 5 человек;
- профессиональные космонавты – 6 человек.

Как известно, колеблемость  $V\%$  результатов измерений в зависимости от величины коэффициента вариации можно считать небольшой (0–30 %), средней (30–50 %) и большой ( $V > 50\%$ ) [15]. Для данных результатов опроса коэффициент вариации средней и большой колеблемости не отмечается.

Коэффициенты конкордации и оценка достоверности коэффициента конкордации по каждой из групп экспертов важности качеств, способностей КТ представлены в табл. 2. Видно, что коэффициент конкордации средний и высокий, что подтверждает согласованность результатов по группам специалистов и в целом. Так как  $\chi^2$  расчетный в таблице 2 во всех случаях больше табличного значения (по В.Д. Бешелеву и Ф.Г. Гурвичу), то  $W$  – величины по группам экспертов не случайны, а потому полученные результаты имеют смысл.

Таблица 2

Коэффициенты конкордации и оценки достоверности коэффициента конкордации, групп специалистов о важности психофизических качеств космических туристов

Качества, способности	Специалисты по ФП		Специалисты по научно-технической подготовке космонавтов		Медицинские специалисты		Профессиональные космонавты		$W_{\text{ср}}$	$\chi^2$
	$W$	$\chi^2$	$W$	$\chi^2$	$W$	$\chi^2$	$W$	$\chi^2$		
Хар.	0,6	54,16	0,77	82,65	0,72	65,05	0,6	64,26	0,70	277,20
Инт.	0,67	23,37	0,81	33,98	0,69	24,28	0,62	26,0	0,70	107,8
Физ.	0,7	45,5	0,54	42,36	0,66	42,92	0,62	48,36	0,66	188,76
Психо-физ.	0,53	26,61	0,79	47,46	0,73	36,5	0,51	30,6	0,64	140,8
Психол.	0,5	12,56	0,54	16,2	0,52	13,0	0,51	15,3	0,52	57,2

Примечание: Характерологические – Хар. Интеллектуальные – Инт. Физические – Физ. Психофизические – Психофиз. Психологические – Психол.

В результате анализа приведенных в таблицах 1 и 2 данных можно отметить следующее:

- у КТ в первую очередь должна быть долговременная мотивация (заинтересованность  $X = 8,7$ ) в выполнении космического полета, познавательная и творческая активность  $X = 8,3$ , целеустремленность  $X = 8,3$ ;
- так как космический туризм относится к экстремальным видам туризма и предусматривает групповую деятельность в малом замкнутом пространстве, то КТ должен обладать (развивать в процессе подготовки к полету), в том числе,

достаточно высокими качествами, такими как: активность поведения  $X = 8,3$  (ответственность), уверенность в себе  $X = 8,1$ , настойчивость  $X = 7,7$ , коммуникабельность  $X = 8,1$ , интеллект  $X = 8,1$ , познавательная и творческая активность  $X = 8,3$ , самостоятельность  $X = 7,2$ ;

– наиболее важным из физических качеств для КТ является выносливость (включая общую  $X = 8,2$ , анаэробную  $X = 7,3$  и статическую  $X = 7,5$ );

– результаты опроса показывают, что КТ не требуется обладать очень сильно развитыми физическими качествами, такими как: быстрота, сила, ловкость и гибкость, однако опыт полетов показывает, что ФП на предполетном этапе необходима для адаптации организма к космическим перегрузкам, невесомости, ограниченному пространству и другим негативным факторам космического полета;

– отмечается важность общей устойчивости функциональных систем организма (сердечно-сосудистой  $X = 7,6$ , нервной  $X = 7,3$ , дыхательной  $X = 7,6$ ), а также устойчивости организма к воздействию: гипоксии  $X = 7,3$ , перегревания  $X = 7,1$ , шума, вибрации и т.п.  $X = 7,0$ .



Физическая подготовка к космическому полету  
представителя Малайзии Шейха Музафара

Исходя из требований к физической работоспособности КТ и анализа процесса подготовки космонавтов [5, 10, 16–17] можно сформулировать основные задачи ФП КТ к полету:

- укрепление физической работоспособности и закаливание организма;
- совершенствование физических качеств с преимущественной направленностью на развитие выносливости, включая общую, анаэробную и статическую;
- повышение устойчивости функциональных систем организма, в том числе и к воздействию негативных факторов космического полета;
- повышение психологической устойчивости и активности, физической работоспособности, уверенности в физической возможности выполнить программу полета в штатных и аварийных условиях;
- приобретение навыков работы с бортовыми средствами физической подготовки (при необходимости, для длительных полетов).

Анализ подготовки космонавтов показывает, что физическая подготовка КТ должна включать в себя [5, 16]:

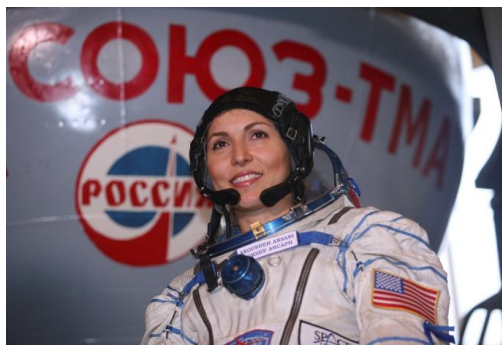
- общую физическую подготовку;
- специальную физическую подготовку;
- бортовую физическую тренировку.

Общая физическая подготовка (ОФП) – процесс физической подготовки, направленный на формирование и совершенствование основных физических (двигательных) качеств, а именно: выносливости, силы, быстроты, ловкости, гибкости.

Специальная физическая подготовка (СФП) – процесс физической подготовки, направленный на развитие двигательной устойчивости в условиях воздействия неблагоприятных факторов космического полета (перегрузок, гипоксии, вестибулярных раздражителей и т.п.);

Бортовая физическая тренировка (БФТ) – предназначена для овладения навыками эффективного использования имеющихся на борту ПКА тренажеров для профилактики комплексного неблагоприятного воздействия на организм факторов длительного пребывания в невесомости. БФТ проводится в случае необходимости проведения физической подготовки КТ на борту ПКА.

Соотношение ОФП, СФП и БФТ в процессе ФП КТ зависит от длительности подготовки и длительности планируемого космического полета и изменяется на различных этапах подготовки к полету.



Четвертый космический турист Анюша Ансари

Таким образом, особенностями ФП космических туристов к полету в рамках перспективных коммерческих космических программ являются:

- разнообразие вариантов перспективных коммерческих космических программ предполагает различные варианты программ ФП КТ к космическому полету, которые будут основываться на сочетании ОФП, СФП и БФТ, что предполагает индивидуальный подход к ФП КТ;
- исходные уровни их физической подготовленности, как правило, ниже, чем у профессиональных космонавтов;
- ФП КТ должна учитывать большой возрастной диапазон и различный начальный уровень физической тренированности;
- этапы подготовки КТ к полету (соответственно и этапы ФП) в рамках перспективных программ будут отличаться от последовательности и состава этапов подготовки космонавтов по существующим программам;
- ввиду невозможности КТ постоянно находиться на подготовке на базе космического Центра, необходимо использование формы самостоятельных занятий по индивидуальным программам с учетом разработанных типовых методик и программ ФП и оценки уровня физической подготовленности;
- использование форм самостоятельной подготовки КТ вводит ограничение на применение для ФП КТ уникальных специализированных тренажеров;

- наиболее важным из физических качеств для КТ является выносливость (включая общую, анаэробную и статическую);
- ФП КТ на предполетном этапе необходима для адаптации организма КТ к космическим перегрузкам, невесомости, ограниченному пространству и другим негативным факторам космического полета и предполагает как развитие общих физических качеств, так и проведение СФП;
- индивидуальные программы ФП в первую очередь должны быть направлены на развитие проблемных физических качеств КТ;
- программы ФП КТ должны предусматривать повышение их психологической устойчивости и активности.



Встреча участников космической смены в Артеке с космонавтами

Разрабатываемые методические основы ФП космических туристов могут использоваться не только для подготовки к космическому полету туристов, а также, в будущем, – других участников космического полета: ученых, исследователей и пр. Типовые программы ФП КТ могут применяться при реализации молодежных космических образовательных программ, для работы аэрокосмических центров и космоцентров, проведения наземного космического туризма, в рамках популяризации пилотируемой космонавтики и профориентации молодежи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Актуализация физической подготовки космических туристов на предполетном этапе к выполнению космического полета / Ковинский А.А., Назин В.Г., Гониянц С.А. // Материалы международной научно-практической конференции 18–19 ноября 2015 г «Спорт – дорога к миру между народами». – М.: РГУФКСМиТ, 2016. – С. 31–36.
- [2] Анализ направлений коммерциализации пилотируемой космонавтики / Сиволап В.А., Ковинский А.А., Курицын А.А. // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(18). – 2016.
- [3] Вопросы развития личности космонавта-профессионала / Богдашевский Р.Б., Соловьева И.Б. // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(18). – 2016.
- [4] Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2594-р), <http://www.federalspace.ru/115>.
- [5] Назин В.Г. Изменение физических возможностей космонавтов с возрастом // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(19). – 2016.

- [6] Концепции, направления и перспективы развития мировой пилотируемой космонавтики / Крючков Б.И., Курицын А.А., Ярополов В.И. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013.
- [7] Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года / Под ред. академика РАН Б.Е. Чертока. – М.: Изд-во «РТСофт», 2010. – 846 с.
- [8] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы. – М.: РКК «Энергия», 2011. – 584 с.
- [9] Медико-биологическое обеспечение экспедиций / Григорьев А.И., Козловская И.Б., Егоров А.Д. и др. // Пилотируемая экспедиция на Марс. / Гл. ред. А.С. Коротеев. – М.: Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского, 2006. – 320 с.
- [10] Курицын А.А., Сохин И.Г. Опыт создания орбитальных пилотируемых комплексов в мире и анализ перспектив их развития // Вопросы истории естествознания и техники. – 2011. – Вып. 3.
- [11] Основы космической биологии и медицины / Под общей ред. О.Г. Газенко, М. Кальвина. – Т. 1. – М.: Наука, 1975. – 426 с.
- [12] Особенности подготовки непрофессиональных космонавтов к полетам на МКС / Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(15). – 2015.
- [13] Пилотируемые проекты исследования Луны и окололунного пространства / Ковинский А.А., Курицын А.А. // Материалы XLIX Научных чтений памяти К.Э. Циолковского «К.Э. Циолковский и инновационное развитие космонавтики». – Калуга: Изд-во «Эйдос», 2014. – С. 80–81.
- [14] Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва в первом десятилетии XXI века (2001–2010). – М.: РКК «Энергия», 2011. – 832 с.
- [15] Спортивная метрология / Под ред. Зациорского В.М. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 256 с.
- [16] Назин В.Г. Уровни физической подготовленности космонавтов различных категорий на различных этапах подготовки к полету // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(3). – 2012.
- [17] Лончаков Ю.В. Центр подготовки космонавтов на пути инновационного развития (к 55-летию НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина) // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(14). – 2015.
- [18] Commercial Resupply Launch.  
URL:[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/living/launch/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/living/launch/index.html).
- [19] Dragon Readies for Operational Delivery. URL:[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/living/launch/crs1missionpreview.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/living/launch/crs1missionpreview.html).
- [20] Organization of the ISS Crew Training and Further Development of Cosmonaut Training System / S.K. Krikalyov, I.G. Sokhin, A.A. Kuritsyn // 62<sup>nd</sup> International Astronautical Congress. – 2011, Cape Town, South Africa, IAC Paper, IAC-11.B3.5.7.
- [21] Training Space Tourists to Fly the ISS / Boris Kryuchkov, Andrei Kuritsyn, Alexander Kovinsky // Room. The Space Journal № 2 (4) 2015. – London, Great Britain.



# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.78:621.38

### МАЛОИЗВЕСТНЫЙ ЮБИЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

А.А. Умбиталиев, А.К. Цыцулин, В.В. Зеленова

Докт. техн. наук, профессор А.А. Умбиталиев; докт. техн. наук, профессор А.К. Цыцулин; В.В. Зеленова (АО «НИИ телевидения»)

60 лет назад, еще до запуска первого в мире искусственного спутника Земли, С.П. Королёв подписал первое техническое задание (ТЗ) на разработку космического телевидения, заложив два направления его развития: для беспилотной и для пилотируемой космонавтики.

**Ключевые слова:** космическое телевидение, Всесоюзный НИИ телевидения.

#### **The Little-Known Anniversary of Space Television. A.A. Umbitaliev, A.K. Tsystulin, V.V. Zelenova**

60 years ago, even before the launch of the first artificial Earth satellite, Sergey Korolev signed the first Requirements Specification for establishing space television with an allowance for two lines of its development: in the interests of unmanned and manned space exploration.

**Keywords:** space television, All-Union Research Institute for Television.

Космическое телевидение – уникальное явление цивилизации, имеющее огромное значение и для техники, обслуживающей потребности глобальной информатизации, и для самосознания человечества. История космического телевидения – неотъемлемая часть истории нашей страны и человеческой цивилизации в целом. Смысл запуска большинства космических аппаратов состоит именно в получении *видеоинформации*, что следует хотя бы из того, что число оригинальных изображений Земли и других космических объектов исчисляется многими миллионами и продолжает расти. Отец космонавтики С.П. Королёв утверждал, что *спутник, запущенный в космос без радиотелевизионной аппаратуры, похож на камень, брошенный из средневековой пращи*.

Такое мощное научно-техническое направление имеет много памятных дат, включая общеизвестные события рождения космического телевидения в 1959 году при передаче из космоса обратной стороны Луны и передачу из космоса изображения Ю. Гагарина. Вместе с тем космическое телевидение имеет и очень важные, но малоизвестные исторические вехи. К ним относится начало полновесных работ по космическому телевидению по техническому заданию С.П. Королёва.

Понятия «космос» и «телевидение» первым объединил создатель электронного телевидения В.К. Зворыкин. В 1954 году (за три года до запуска Королёвым первого искусственного спутника Земли) он заканчивает второе издание книги «Телевидение» словами: *«Наконец, предположим, что главные трудности проблемы межпланетных путешествий уже решены и специальный корабль, который сможет благополучно достичь поверхности Луны, уже сконструирован»*.

*Несомненно, что такой корабль будет послан в первый полет без человека-наблюдателя на борту. Также несомненно, что в числе многих приборов, установленных на нем, для того, чтобы передавать информацию о ходе этого путешествия, важнейшую роль будут играть телевизионные камеры. Увидеть впервые Луну и другие планеты с близкого расстояния мы, несомненно, сможем глазами телевидения, которое откроет нам виды новых миров».*

Более того, мысли о космосе были среди побудительных мотивов Зворыкина с самого начала его работ по телевидению. О работе в Петербургском технологическом институте в 1910-х гг. впоследствии он вспоминал: «*Особого интереса электронное телевидение в институте не вызывало. Мне говорили, что я пытаюсь заменить человеческий глаз. Я же спросил, в свою очередь: а вы можете увидеть своими глазами обратную сторону Луны?*». Представляется весьма символичным, что В.К. Зворыкин изобрел передающую электроннолучевую трубку – иконоскоп (первенец электронного телевидения, впервые реализовавший минимально необходимую для вещания четкость в 300 строк) и продемонстрировал первую полностью электронную систему телевидения в том же 1933 году, когда С.П. Королёв запустил свою первую ракету в ГИРДе. Именно с этой даты ведется отсчет практических работ по телевидению и ракетной технике, которые впоследствии объединились, породив космическое телевидение.

В том же 1933 году советский фантаст Александр Беляев написал роман «Прыжок в ничто», посвященный К.Э. Циолковскому и пропаганде пилотируемой космонавтики. В романе выдвигается *идея телевизионной связи Земля–космический аппарат* (хотя и не упоминается телевизионная связь в обратном направлении). Прогнозы и мечты В.К. Зворыкина и Александра Беляева о телевизионном взгляде на иные миры и телевизионной связи космических аппаратов с Землей были воплощены в реальность усилиями наших соотечественников, ведомых С. П. Королёвым. Ракету делала огромная кооперация, но собственно телевизионную аппаратуру сделали во Всесоюзном НИИ телевидения в Ленинграде (ныне АО «НИИ телевидения» в Санкт-Петербурге) по ТЗ С.П. Королёва. Подчеркнем *единство места рождения идеи космического телевидения и ее воплощения*: и В.К. Зворыкин начинал работы над электронным телевидением в Петербурге, и Александр Беляев жил в г. Пушкине под Ленинградом, и ВНИИТ – ленинградское предприятие. В довоенном ВНИИТе значение телевидения для обороны и космоса прекрасно понимали – не случайно впоследствии сотрудник ВНИИТа А.А. Расплетин возглавил работы по ракетной технике для противовоздушной обороны (ПВО) и, в частности, выдал родному ВНИИТу ТЗ на разработку системы (И-400, 1952) отображения информации для комплекса ПВО Москвы.

После Великой Отечественной войны работы по ракетной технике и телевидению были широко развернуты. В ряду работ, где пересекалась ракетная техника и телевидение, – разработка по ТЗ С.П. Королёва телевизионного стенда для испытания ракетных двигателей (1952 г.).

Но ключевым моментом в рождении космического телевидения было ТЗ (рис. 1), подписанное от КБ-1 С.П. Королёвым, от ВНИИТа главным инженером Иваном Петровичем Захаровыми (1911–1965 гг.), который работал во ВНИИТе с 1936 года (вместе с А.А. Расплетиним).

Единственный экземпляр первого ТЗ на космическое телевидение сохранился только в НИИТе (в ходе его рассекречивания в 2006 году оказалось, что в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва оно давно уничтожено). В первом ТЗ на комплексы космического телевидения необходимо обратить внимание на два момента, пока-

зывают смелость и широту фантазии С.П. Королёва. Во-первых, *ТЗ подписано более чем за год до запуска первого искусственного спутника Земли*. Дата подписания С.П. Королёвым ТЗ – 22 августа 1956 года – интересна тем, что первый спутник был неориентированным, и о телевидении на нем не могло идти речи. Это значит, что С.П. Королёв заранее готовился к будущим стартам ракет с ориентированными космическими аппаратами.

Во-вторых, ТЗ содержит инициативу С.П. Королёва по закладке фундамента *двух направлений космонавтики* (и, соответственно, космического телевидения) – *пилотируемой и беспилотной*. Образ будущих космических аппаратов, вооруженных телевидением, был у Королёва уже в 1956 году. Он уже тогда знал, что пилотируемые корабли будут иметь конкретные (достаточно скромные) размеры кабины космонавта, телекамера будет смотреть на космонавта «в упор». В ТЗ написано, что «телевизионная камера должна обозревать объем  $0,5 \times 0,5 \times 0,3$  м (или  $0,7 \times 0,7 \times 0,4$  м) с расстояния  $0,4 \dots 0,5$  м», и что телевизионная камера должна обозревать из космоса «поверхность Земли с высоты  $200 \dots 500$  км».

<p>УТВЕРЖДАЮ ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР НИИ-88 МОП <i>Королёв</i> (КОРОЛЁВ) "22" <u>авг</u> 1956г.</p>	<p>УТВЕРЖДАЮ ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ВНИИ-ЭЭО МЭТИ <i>Захаров</i> (ЗАХАРОВ) "4" <u>июль</u> 1956г.</p>
<p>СОГЛАСОВАНО ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СПЕЦКОМИССИИ ПРИ ПРЕСДИУМЕ АН СССР по объекту "ОД" академик _____ (КЕЛДЫШ) " " _____ 1956г.</p>	
<p><b>ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ</b> на проведение научно-исследовательской работы по исследованию возможности создания и разработки телевизионного оборудования для объекта "ОД".</p> <p>Настоящее ТЗ составлено на первый этап работ, оканчивающихся в I-м квартале 1957 года.</p>	
<p><b>I. Цель работы</b></p> <p>Настоящая работа имеет целью определение возможности создания телевизионного оборудования для объекта "ОД" и в случае положительного решения, изготовление макета телевизионной аппаратуры и проведение с ним экспериментальных испытаний в условиях близких к реальным.</p>	
<p><b>II. Содержание работы</b></p> <p>В процессе выполнения работ по теме на первом этапе должны быть исследованы следующие вопросы:</p> <p>I. Возможность создания телевизионной аппаратуры, отвечающей требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) малогабаритности,</li> <li>б) экономичности,</li> </ul>	
<p><b>2. Телевизионная камера должна обозревать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) объем <math>0,5 \times 0,5 \times 0,3</math> м (или <math>0,7 \times 0,7 \times 0,4</math> м) с расстояния <math>0,4 \pm 0,5</math> м;</li> <li>б) поверхность земли с высоты <math>200 \pm 500</math> км.</li> </ul>	

Рис. 1. Титульный лист и фрагмент второго листа первого ТЗ на космическое телевидение

Первая идея этого ТЗ – взгляд на планету с орбиты – была реализована сотрудниками ВНИИТа при запуске космического аппарата «Луна-3», телевизионная аппаратура которого «Енисей» 7 октября 1959 года передала изображения обратной стороны Луны. Это достижение *советской космической техники, опередившей американскую*, имеет важное историческое значение для всей человеческой цивилизации. В память о нем на фасаде здания НИИ телевидения установлена мемориальная доска (рис. 2). Вторая идея – наблюдение за космонавтами в полете – была реализована тем же коллективом при первом полете Человека в Космос и передавала изображения Ю.А. Гагарина из космоса 12 апреля 1961 года на протяжении всего полета.

Итак, космическое телевидение, имеющее славную шестидесятилетнюю историю, включающую разработку, запуск и эксплуатацию на орбите множества научных, оборонных и землепользовательских телевизионных систем, «быть пошло» от первого королёвского ТЗ 1956 года.

Не останавливаясь на перспективах его развития, подчеркнем, что космическое телевидение – это и мощный инструмент познания, и предмет нашей законной национальной гордости, это – слава России.



Рис. 2. Мемориальная доска на здании НИИ телевидения

## 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 – подрисуючную 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>

**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 30.11.16.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 11,90. Тираж 120 экз. Зак. 380-16.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»