

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**Ю.В. Лончаков**

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ:**

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

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

**О.М. Алифанов,**

**Ю.М. Батурин,**

**М.Н. Бурдаев,**

**Л.К. Васильева,**

**Н.В. Волкова,**

**О.С. Гордиенко,**

**П.П. Долгов,**

**В.М. Жуков,**

**С.А. Жуков,**

**С.В. Игнатьев,**

**Р.Р. Каспранский,**

**О.Д. Кононенко,**

**Б.И. Крючков,**

**А.А. Курицын,**

**Г.Д. Орешкин,**

**В.И. Почуев,**

**В.Н. Саев,**

**В.П. Соколов,**

**Ю.Б. Сосюрка,**

**И.Г. Сохин,**

**В.М. Усов,**

**А.С. Харланов,**

**В.И. Ярополов.**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....4

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-50/51 при выполнении программы космического полета. *О.В. Новицкий*.....4

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-50/51 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова*..... 15

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

Создание, реализация и развитие технологии многосегментной подготовки к полету экипажей Международной космической станции. *А.А. Курицын, В.Н. Дмитриев* .....29

Виды интерфейса для дистанционного взаимодействия космонавтов с автономными мобильными роботами при внекорабельной деятельности на лунной поверхности. *М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.М. Усов*.....41

Выбор варианта агрегата посадки и эвакуации космонавтов. *А.А. Курицын, В.И. Ярополов* ..... 54

Совершенствование нормативно-методической базы оценки физической подготовленности космонавтов к полетам на Международную космическую станцию. *В.Г. Назин*.....73

Применение мультиагентных методов и опыта космонавта-оператора в интеллектуальных интерфейсах. *И.В. Прокопьев* ..... 89

Метод синтеза системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны. <i>А.И. Дивеев, И.В. Прокопьев</i> .....	95
ОБЗОРЫ.....	113
Опыт создания и развития систем жизнеобеспечения экипажей пилотируемых космических аппаратов. <i>Б.И. Крючков, В.М. Усов</i> .....	113
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ .....	129
Космонавты – выпускники спецшкол Военно-воздушных сил. <i>М.Н. Бурдаев</i> .....	129
Информация для авторов и читателей .....	134

## CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS .....	4
Main Results of the ISS-50/51 of Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>O.V. Novitzkiy</i> .....	4
Medical Support of the ISS-50/51 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i> .....	15
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS .....	29
Development, Realization, and Evolution of the Technology of Multi-Segment Training of Crews for Missions on the International Space Station. <i>A.A. Kuritsyn, V.N. Dmitriev</i> .....	29
Options of Interfaces for the Remote Interaction of Cosmonauts with Autonomous Mobile Robots during Extravehicular Activity on the Lunar Surface. <i>M.V. Mikhailyuk, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i> .....	41
The Choice of an Option of the Cosmonaut Evacuation Complex. <i>A.A. Kuritsyn, V.I. Yaropolov</i> .....	54
Improvement of the Regulatory and Methodological Basis for Assessing the Physical Fitness of Cosmonauts for Flights to the International Space Station. <i>V.G. Nazin</i> .....	73
Employment of Multi-Agent Methods and Cosmonaut-Operator Experience in Intelligent Interfaces. <i>I.V. Prokopyev</i> .....	89
Method of Synthesis of the Control System of Descending a Cosmic Vehicle to the Moon Surface. <i>A.I. Diveev, I.V. Prokopyev</i> .....	95
OVERVIEWS.....	113
Experience of the Creation and Development of Life Support Systems for Crews of Manned Spacecraft. <i>B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i> .....	113
HISTORY. EVENTS. PEOPLE .....	129
Cosmonauts – Graduates of the Air Force’s Special Schools. <i>M.N. Burdaev</i> .....	129
Information for Authors and Readers .....	134

# ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

## RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-50/51 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА О.В. Новицкий

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ О.В. Новицкий  
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-50/51 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС-03» 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-50/51 of Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. O.V. Novitzkiy**

The paper considers results of the ISS-50/51 expedition's activity aboard the «Soyuz MS-03» 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-50/51 в составе:

Новицкий Олег Викторович	командир ТПК «Союз МС-03» бортинженер МКС-50/51 (Роскосмос, Россия)
Песке Тома	бортинженер ТПК «Союз МС-03» бортинженер МКС-50/51 (ЕКА, Франция)
Уитсон Пегги	Бортинженер-2 ТПК «Союз МС-03» бортинженер МКС-50 командир МКС-51 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 196 суток с 17 ноября 2016 года по 2 июня 2017 года. Позывной экипажа ТПК «Союз МС-03» – «Казбек».

По взаимному соглашению НАСА и Роскосмоса было продлено пребывание на МКС Пегги Уитсон на 94 дня, в связи с чем ее возвращение на Землю было запланировано на ТПК «Союз МС-04» вместе с командиром корабля Ф. Юрчихиным и бортинженером корабля Д. Фишером.



Экипаж экспедиции МКС-50/51

### **Опыт полетов членов экипажа**

Новицкий Олег Викторович – летчик-космонавт РФ, Герой РФ. В отряде космонавтов с февраля 2007 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет с 23 октября 2012 года по 16 марта 2013 года в составе экипажа МКС-33/34 в качестве командира корабля «Союз ТМА-06М» и бортинженера МКС-33/34. Продолжительность полета составила 143 суток.

Песке Тома – астронавт ЕКА с мая 2009 года. До назначения в экипаж опыта космических полетов не имел.

Уитсон Пегги – астронавт НАСА с августа 1996 года. До назначения в экипаж выполнила два космических полета. Первый полет – с 5 июня по 7 декабря 2002 года в качестве бортинженера экипажа МКС-5. Продолжительность полета составила 184 суток. Второй полет – с 10 октября 2007 года по 19 апреля 2008 года в составе экипажа МКС-16 в качестве бортинженера корабля «Союз ТМА-11» и командира МКС-16. Продолжительность полета составила 191 сутки.

### **Основные итоги полета**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз МС-03» был произведен 17 ноября 2016 года с космодрома Байконур.

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 23:20:13$ ;  $T_{КО} = 23:29:01$  ДМВ.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-50/51 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 20 ноября 2016 года ТПК «Союз МС-03» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ( $T_{М.з.} = 00:58:15$  ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по двухсуточной схеме;



Экипаж ТПК «Союз МС-03» перед стартом

– расстыковка американского грузового корабля «Cygnus OA-5» от модуля Node1 AC МКС проведена 21 ноября 2016 года. Время отделения от манипулятора станции SSRMS – 16:22 ДМВ;

– сближение японского грузового корабля HTV-6 «Конотори» с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту Node2 AC МКС выполнены 13 декабря 2016 года ( $T_{\text{затяжки болтов}} = 15:47$  ДМВ);

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

– перемещение грузового корабля HTV-6 «Конотори» от надирного узла Node2 в положение «освобождение», расстыковка от МКС осуществлены 27 января 2017 года (время отделения от манипулятора станции SSRMS – 18:46 ДМВ);

– расстыковка ТПК «Прогресс МС-03» от стыковочного отсека СО1 РС МКС проведена 31 января 2017 года ( $T_{\text{фактической расстыковки}} = 17:25:09$  ДМВ);

– сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-10 «Dragon» с МКС, захват манипулятором SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 AC МКС выполнены 23 февраля 2017 года ( $T_{\text{окончания затяжки болтов}} \sim 17:15$  ДМВ);

– стыковка ТПК «Прогресс МС-05» к СО1 осуществлена 24 февраля 2017 года ( $T_{\text{м.з.}} = 11:29:49$  ДМВ). Этап сближения транспортного грузового корабля проводился по двухсуточной схеме полета;

– расстыковка американского грузового корабля SpaceX-10 «Dragon» от модуля Node2 AC МКС выполнена 19 марта 2017 года. Время отделения от манипулятора станции SSRMS – 12:11 ДМВ;

– расстыковка ТПК «Союз МС-02» от стыковочного узла модуля МИМ2 осуществлена 10 апреля 2017 года ( $T_{\text{физической расстыковки}} = 10:57:27$  ДМВ);

– стыковка ТПК «Союз МС-04» к стыковочному узлу модуля МИМ2 выполнена 20 апреля 2017 года ( $T_{\text{м.з.}} = 16:18:31$  ДМВ). Этап сближения транспортного пилотируемого корабля проводился по четырехвитковой схеме;

- сближение американского грузового корабля «Cygnus OA-7» с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту Node1 АС МКС осуществлены 22 апреля 2017 года (Токончания затяжки болтов = 15:47 ДМВ);
- возвращение экипажа МКС-50/51 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз МС-03» выполнены 2 июня 2017 года. Время расстыковки – 13:47:06 ДМВ, время посадки СА – 17:10:30 ДМВ.



Экипаж МКС-50/51 после посадки

Состав экипажа корабля «Союз МС-03» при выполнении спуска:

- Новицкий Олег Викторович – командир корабля (Роскосмос, Россия);
- Песке Тома – бортинженер (ЕКА, Франция).

### Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету экипажа МКС-50/51 проводилась с 21 мая 2015 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по МКС и ТПК «Союз МС-03» являлись:

- формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз МС-03»;
- 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 МС» на все стыковочные узлы РС МКС;
- отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска (РУС);
- отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-АК;
- отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-ДК;
- построение солнечной ориентации и закрутки ТПК в режимах РО-АК и РО-ДК;
- отработка действий членов экипажа в аварийных ситуациях на МКС: 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;
- отработка навыков выполнения причаливания, стыковки и расстыковки ТГК «Прогресс МС» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- контроль автоматического сближения и стыковки ТГК «Прогресс МС» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-49/50, МКС-51/52;
- выполнение операций по консервации и расконсервации ТПК, операций по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- эксплуатация бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- выполнение технического обслуживания, ремонта и дооснащения систем РС МКС;
- ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладки снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;
- выполнение программы научно-прикладных исследований на российском сегменте МКС, в том числе выполнение медико-биологических исследований и экспериментов;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах;
- подготовка к адаптации к факторам космического полета, отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств.

### **Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз МС-03»**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз МС-03» был произведен 17 ноября 2016 года с космодрома Байконур.

В процессе предстартовой подготовки, выведения и маневров замечаний к работе бортовых систем не выявлено.

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 23:20:13$ ;  $T_{КО} = 23:29:01$  ДМВ.

Сближение ТПК «Союз МС-03» осуществлялось по двухсуточной схеме. Двухимпульсный маневр первого интервала маневрирования дальнего сближения с МКС проводился на 3–4 витках после отделения от РН.

Одноимпульсный маневр второго интервала маневрирования дальнего сближения с МКС проводился на 17-м витке. На 14-м витке по началу динамического режима вне зоны связи сформировались аварии «Нет прохождения теста ОРТ1, ОРТ2, ОРТ3». В зоне связи 15-го витка ЦУП выдал указание выдать ОДР. Закладка уставок и начало динамического режима перенесено на 16-й виток. Импульс отработан штатно на 17-м витке.

В конце вторых–начале третьих суток полета проводилось автономное сближение с МКС. Автономное сближение завершилось на расстоянии 400 м до

станции, после чего выполнялись автоматический облет, причаливание и стыковка к модулю МИМ1.

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 МС-03».

Завершив программу полета на борту МКС, началась подготовка экипажа к возвращению на Землю. При подготовке корабля к спуску была проведена замена индивидуального снаряжения в ТПК «Союз МС-03», ТПК «Союз МС-04»; перенос и установка ложементов из ТПК «Союз МС-03» в ТПК «Союз МС-04, контейнера полезного груза из ТПК «Союз МС-04» в ТПК «Союз МС-03».

На 11-м суточном витке проведена расконсервация корабля. Переход на автономное питание выполнен экипажем на этом же витке по указанию Земли в 10:00:00 ДМВ. После разрешения ЦУПа в 10:35 ДМВ выполнили режим ЗПЛ на 12-м суточном витке. 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 2 июня 2017 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС с последующим двухимпульсным отводом в автоматическом режиме. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 13:45:30 ДМВ, время фактической расстыковки – 13:47:06 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска выполнено на 15-м суточном витке в 15:17:12 ДМВ, посадка – на 1-м суточном витке. По указанию ЦУПа в 16:05:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 16:17:09 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 13:55:22 ДМВ. Фактический вход в атмосферу в 16:44:33 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +4 секунды. Максимальная перегрузка 4,3 единицы (по докладу экипажа). Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе, установили связь с экипажем и визуальный контакт в 16:58 ДМВ. Посадка спускаемого аппарата осуществлена 2 июня 2017 года в 17:10:30 ДМВ в расчетной точке с координатами 47°22,4' с.ш., 69°37,1' в.д. вблизи г. Джезказгана. Двигатели ДМП сработали штатно. Работа по эвакуации экипажа началась ориентировочно в 17:14 ДМВ после взятия СА под охрану. Аппарат после посадки находился на боку.

## **Полет на борту МКС**

Экипаж МКС-50/51 работал на борту МКС 194 суток с 20 ноября 2016 года по 2 июня 2017 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:

- измерение температур корпуса и разъемов ПТАБ-1М А303, А308 при циклировании соответственно АБ № 3, № 8 в СМ;
- наддув атмосферы МКС кислородом на 10 мм рт. ст. из 2-й секции СрПК ТГК «Прогресс МС-03»;
- демонтаж приборов СНТ-50МП и кабель-вставки СНТ-50МП в МИМ1;
- переключение СУ ОДУ СМ с блока компрессоров БК2 на БК1;
- мониторинг состояния поверхности элементов конструкции корпуса СМ с использованием многофункционального вихревого прибора (МВП-2К);
- перекачка солевого раствора и урины из ЕДВ-У в БВ1 системы «Родник» ТГК «Прогресс МС-05»;
- анализ атмосферы СМ на содержание фреона с использованием ФИТ (анализатор-течеискатель фреона);
- установка и тестирование преобразователя напряжения ПН28-120 на РС МКС для зарядки фотовидеоаппаратуры;
- регламентные работы с СТТС, проверка связи в канале УКВ2д из СМ на резервных каналах приемников и передатчиков;
- замена СК «Орлан-МК» на СК «Орлан-МКС».

Выполнены основные ремонтно-восстановительные работы:

- замена полотна на тренажере БД-2 (бегущая дорожка);
- замена блока разделения и перекачки конденсата (БРПК-2), установленного на 3-й линии СРВ-К2М;
- ресурсная замена комплекта АСУ СМ;
- замена блока колонок очистки (БКО) для системы «Электрон»;
- замена фильтра газожидкостной смеси (ФГС) и фильтра-реактора (Ф-Р) СРВ-К2М;
- замена электронагревателя (ЭН) в системе «Воздух».

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

В соответствии с программой полета 1 декабря 2016 года был осуществлен пуск транспортного грузового корабля «Прогресс МС-04». На 384-й секунде полета с момента пуска (КП – 17:51:52 ДМВ) по телеметрии зафиксировано нерасчетное значение параметров КО1 и КО4 (контакт отделения от РН), что опережает расчетное время контакта отделения примерно на 100 секунд. На время 17:58:15 зафиксировано пропадание ТМИ с РН, на время 18:00:46 – ТМИ с КА. В результате аварии ТГК «Прогресс МС-04» был утерян.

В процессе работ по связям с общественностью проведены видеосъемки ТВ-приветствий участников форума «Инновационные технологии в решении экологических проблем», участников конкурса «Таланты XXI века»; ТВ-сеансы связи с участниками Всероссийской олимпиады школьников «Шаг в будущее», с представителями РКК «Энергия», ЦПК имени Ю.А. Гагарина и ИМБП РАН в честь Дня космонавтики, со Святейшим Патриархом Московским и Всея Руси Кириллом, с руководством МЧС России; видеорепортаж для Первого канала, посвященного 110-летию со дня рождения С.П. Королёва. Проведены видеосъемки жизни на станции экспедиций МКС-50 и МКС-51 на борту РС МКС для

сайта Роскосмоса и социальных сетей. Выполнены работы по программе символической деятельности.

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

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-49/50 и МКС-51/52.

С 20 ноября 2016 года по 10 апреля 2017 года – совместный полет с экипажем МКС-49/50 в составе:

- Рыжиков Сергей Николаевич (бортинженер МКС-49/50, Роскосмос, Россия);
- Борисенко Андрей Иванович (бортинженер МКС-49/50, Роскосмос, Россия);
- Кимброу Роберт Шейн (бортинженер экспедиции МКС-49, командир экспедиции МКС-50, НАСА, США).

С 20 апреля 2017 года по 2 июня 2017 года – совместный полет с экипажем МКС-51/52 в составе:

- Юрчихин Федор Николаевич (бортинженер экспедиции МКС-51, командир экспедиции МКС-52, Роскосмос, Россия);
- Фишер Джек Дэвид (бортинженер МКС-51/52, НАСА, США).

### **Внекорабельная деятельность**

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

В соответствии с программой АС МКС в процессе полета экспедиции было выполнено шесть выходов в открытый космос.

Первый выход в космос ВКД-38 был осуществлен из шлюзового отсека Airlock 6 января 2017 года в скафандрах ЕМУ. Выход совершили операторы Шейн Кимброу (бортинженер экспедиции МКС-49, командир экспедиции МКС-50) и Пегги Уитсон (бортинженер МКС-49/50). Время открытия выходного люка – 12:22 ДМВ, закрытия – 18:51 ДМВ. Продолжительность выхода – 6 ч 29 мин.

Второй выход ВКД-39 осуществлен 13 января 2017 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ. Выход совершили операторы Шейн Кимброу (бортинженер экспедиции МКС-49, командир экспедиции МКС-50) и Тома Песке (бортинженер МКС-49/50). Время открытия выходного люка – 14:21 ДМВ, закрытия – 20:17 ДМВ. Продолжительность выхода – 5 ч 56 мин.

Третий выход ВКД-40 выполнен 24 марта 2017 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ. Выход совершили операторы Шейн Кимброу (бортинженер экспедиции МКС-49, командир экспедиции МКС-50) и Тома Песке (бортинженер МКС-49/50). Время открытия выходного люка – 14:22 ДМВ, закрытия – 20:50 ДМВ. Продолжительность выхода – 6 ч 28 мин.

По докладу американской стороны в 20:33 ДМВ в связи с тенденцией к повышению уровня  $CO_2$  в скафандре ЕМУ у оператора Шейна Кимброу специалистами ЦУПа-Х решено прекратить выполнение ВКД (максимально допустимого значения  $CO_2$  не достигнуто). Все задачи ВКД-40 выполнены полностью.

Четвертый выход ВКД-41 осуществлен 30 марта 2017 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ. Выход выполнили операторы Шейн Кимброу (бортинженер экспедиции МКС-49, командир экспедиции МКС-50) и Пегги Уитсон (бортинженер МКС-49/50). Время открытия выходного люка – 14:25 ДМВ, закрытия – 21:28 ДМВ. Продолжительность выхода – 7 ч 03 мин.

По докладу американской стороны во время установки продольных защитных экранов на модуль Node3 приблизительно в 17:00 ДМВ был утерян 4-й за-

щитный экран. Объект ушел в надир со скоростью  $\sim 20$  см/с. По данным траекторных измерений данный объект не представляет угрозы для МКС. Характеристики объекта: длина  $\sim 1,6$  м; ширина  $\sim 0,3$  м; толщина  $\sim 0,15$  м; масса  $\sim 8$  кг.

Пятый выход ВКД-42 проведен 12 мая 2017 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ. Выход выполнили операторы Пегги Уитсон (командир экспедиции МКС-51) и Джек Фишер (бортинженер МКС-51/52). Время открытия выходного люка – 16:05 ДМВ, закрытия – 20:14 ДМВ. Продолжительность выхода – 4 ч 09 мин.

Шестой выход ВКД-43 осуществлен 23 мая 2017 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ. Выход выполнили операторы Пегги Уитсон (командир экспедиции МКС-51) и Джек Фишер (бортинженер МКС-51/52). Время открытия выходного люка – 14:18 ДМВ, закрытия – 17:02 ДМВ. Продолжительность выхода – 2 ч 44 мин.

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

Научные эксперименты в период полета МКС-50/51 выполнялись в соответствии с «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-50 и МКС-51».

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

- КПТ-21 (ТЕХ-20) «Плазменный кристалл» (этап 1б);
- ТХН-9 «Кристаллизатор»;
- АСР-10 «Зарево».

*Исследование Земли и космоса:*

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

*Человек в космосе:*

- МБИ-13 «Спланх» (этап 1);
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-32 «Профилактика-2»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей» – «Fluid Shifts»;

- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- РБО-3 «Матрешка-Р».

*Космическая биология и биотехнология:*

- БИО-2 «Биориск»;
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- БТХ-48 «Пробиовит»;
- БТХ-49 «Фаген»;
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- АСР-7 «Исследование грызунов».

*Технологии освоения космического пространства:*

- ТЕХ-14 «Вектор-Т»;
- ТЕХ-15 «Изгиб»;
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-34 «Реставрация»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-58 «Выносливость»;
- ТЕХ-62 «Альbedo»;
- ТЕХ-63 «Пеликан»;
- ТЕХ-65 «Контур-2»;
- КПП-2 «Бар».

*Образование и популяризация космических исследований:*

- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- ОБР-10 «Интер-МАИ-75»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл»;
- АСР-2 «EarthКАМ».

Всего 58 экспериментов, из них 7 без участия экипажа.

*Новые эксперименты:*

- ДЗЗ-19 «Сценарий»;
- МБИ-32 «Профилактика-2»;
- БТХ-48 «Пробиовит»;
- ТЕХ-63 «Пеликан».

### **Заключение**

Уровень подготовленности экипажа МКС-50/51 по транспортному кораблю «Союз МС-03» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.

Полет экипажа МКС-50/51 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами.

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

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-50/51  
(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-50/51. Дается краткая характеристика функционирования систем медицинского обеспечения полета и поддержания стабильности среды обитания космонавтов на РС МКС. Подведены итоги выполнения рекомендаций медицинских специалистов, программы медицинского контроля и использования бортовых средств профилактики нарушения состояния здоровья космонавтов в полете.

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

**Medical Support of the ISS-50/51 Crew Members (Express Analysis).****V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-50/51 expedition and gives a brief description of operation of the medical support system and maintaining the stability of human environment aboard the ISS RS. Besides, the paper sums up results of implementing medical recommendations, program of medical monitoring and the use of onboard means designed to prevent the alteration of cosmonauts' health status in spaceflight.

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

**Выполнение программы полета**

Полет экипажа в составе БИ-4 / КК ТПК, БИ-5 / БИ ТПК, БИ-6 МКС-50/ КЭ МКС-51 / БИ-2 ТПК (продолжила полет в составе МКС-52) состоялся с 17.11.16 г. по 02.06.17 г.

*Этапы полета основной экспедиции*

17.11.16 г. – выведение ТПК «Союз МС-03» № 733 – 23:20 ДМВ / 20:20 GMT.

19/20.11.16 г. – стыковка ТПК «Союз МС-03» к МИМ1 – 21.58 GMT / 00.58 ДМВ.

02.06.17 г. – расстыковка ТПК «Союз МС-03» № 733 от МИМ1 – 10:47 GMT / 13:47 ДМВ.

Время посадки – 17:10 ДМВ.

*Основные динамические операции*

21.11.16 г. – расстыковка корабля Orb-5 «Cygnus» от NODE1 – 11:19 GMT / 14:19 ДМВ.

01.12.16 г. – старт ТКГ «Прогресс МС-04» № 434 – 17.51.52 ДМВ, однако выведение ТКГ на орбиту не состоялось в связи с аварией ракеты-носителя.

09.12.16 г. – старт корабля НТВ.

13.12.16 г. – стыковка корабля НТВ. ОПЛ – 19.41 GMT / 22:41 ДМВ.

27.01.17 г. – расстыковка НТВ-6 – 11:46 GMT.

31.01.17 г. – расстыковка ТГК № 433 от СО1 – 14:26 GMT / 17:26 ДМВ.  
19.02.17 г. – старт корабля «Dragon» SpX-10 – 14:39 GMT / 17:39 ДМВ (перенесен с 18.02.17 в связи с проблемой в системе вектора тяги второй ступени).  
22.02.17 г. – выведение ТГК «Прогресс МС-05» № 435 – 08:58:33 ДМВ / 05:58:33 GMT.  
23.02.17 г. – стыковка корабля SpX-10 к Node2 МКС с помощью манипулятора SSRMS.  
24.02.17 г. – стыковка ТГК «Прогресс МС-05» № 435 к СО1 – 08:29:48 GMT / 11:29:48 ДМВ.  
19.03.17 г. – расстыковка корабля SpX-10 «Dragon» от МКС. Приводнение в ожидаемом районе – 14:46 GMT.  
10.04.17 г. – расстыковка ТПК «Союз МС-02» № 732 от МИМ2 – 07:57 GMT / 10:57 ДМВ.  
Время посадки – 14:20 ДМВ / 11:20 GMT.  
18.04.17 г. – выведение корабля ОА-7 «Cygnus» – 15:11 GMT / 18:11 ДМВ.  
20.04.17 г. – выведение ТПК «Союз МС-04» № 735 – 10:13:43 ДМВ / 07:13:43 GMT.  
20.04.17. – стыковка ТПК «Союз МС-04» № 735 к МИМ2 ~ 13:18:34 GMT / 16:18:34 ДМВ.  
22.04.17 г. – стыковка корабля ОА-7 «Cygnus» на надирный порт Node1 МКС с помощью манипулятора SSRMS – 12:50 GMT.

*Внекорабельная деятельность*  
в СК «Орлан-МК»: не планировались.

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

Старт экипажа ТПК «Союз МС-03» № 733 состоялся 17.11.16 г. в 23:20 ДМВ.  
Стыковка планировалась и проводилась по двухсуточной схеме. Время работы экипажа ТПК № 733 в автономном полете планировалось в пределах 7–7,5 часа, а на сон по 9,5 часа во временном интервале с 7 до 17 часов ДМВ.  
20.11.16 г. после выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 733 с МКС в автоматическом режиме в 00:58 ДМВ.  
В сутки стыковки РТО экипажа ТПК № 733, и в частности, у КК был довольно напряженным. Время работы у КК составило 14,5 часа, а зона бодрствования – 16,5 часа.  
После ОПЛ в 03:42 ДМВ экипаж перешел на станцию и приступил к выполнению служебных операций. После окончания работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для сна и отдыха с 09:30 (20.11.16 г.) до 06:00 GMT (21.11.16 г.) продолжительностью 20,5 часа.  
В последующие дни БИ-4 занимался переносом грузов из ТПК № 733, заменой БД и другими работами. Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 21.11.16 г. рабочая зона у прибывшего экипажа сокращена на 1 час с целью выделения времени по 1 часу на адаптацию и ознакомление со станцией.  
01.12.16 г. (3-я неделя полета) планировался старт (выведение) ТГК № 434 с последующей стыковкой с МКС 03.12.16 г. Экипажу предварительно были запланированы два дня отдыха на 02 и 04.12.16 г. Однако, в связи с аварией ракеты-носителя с ТГК при запуске 01.12.16 г., программа работ экипажа была изменена.

Все ранее планируемые работы по стыковке были отменены, этот день стал полностью свободным от работ, т.е. дополнительным днем отдыха для экипажа. Предоставленные экипажу три дня отдыха частично были заняты проведением плановых работ, а также выполнением БИ-4 дополнительных работ по заявкам НС ГОГУ (эксперимент «Контур»). С 05.12.16 г. рабочая нагрузка у БИ-4 была увеличена до нормативных величин – 6,5 часа.

В последующий период полета (4–9-я недели) космонавты продолжили работы на станции в штатном режиме. БИ-4 выполнял научные эксперименты и практически ежедневно выполнял работы (эксперименты) по программе Task List, на которые затрачивал по 1 часу в день.

На 10-й неделе 18.01.17 г. в зоне ночного отдыха на станции произошел отказ СОА «Воздух». В связи с НшС космонавтам пришлось в течение 37 минут (23:19–23:56 GMT) заниматься ее устранением. В результате система была включена в рабочий режим. В связи с устранением НшС (проведением ремонтных работ) зона сна могла сократиться до 6 часов. Несмотря на вечерне-ночные работы, замечаний или жалоб от экипажа не поступило.

30.01.17 г. космонавтам пришлось заниматься восстановлением работоспособности беспроводной бортовой сети. В итоге сеть была включена в рабочий режим.

На 13-й неделе полета (08–14.02.17 г.) после выполнения запланированной БИ-2 работы по установке программного обеспечения тренажера БД-2 тренажер на штатный режим работы не вышел. По рекомендации с Земли космонавты провели РВР тренажера, на которые дополнительно БИ-4 затратил 1 час 40 минут.

24.02.17 г., в связи с проведением стыковки ТКГ № 435, зона сна экипажу планировалась со сдвигом влево на 2 часа (с 19:30 до 04:00 GMT). При этом РТО для российского и американского экипажей планировался отдельным. После стыковки ТКГ и в последующие дни космонавты, в том числе и БИ-4, занимались разгрузкой грузовика. Особенностью следует отметить то, что БИ-4 дополнительно по своей инициативе выполнял работы по переносу грузов из ТКГ № 435, на что затрачивал по 1–1,5 часа. В штатные дни отдыха (04 и 05.03.17 г.) БИ-4 инициативно на разгрузку ТКГ № 435 тратил по 3,5–4,5 часа. При этом замечаний по поводу занятости дней отдыха работами от БИ-4 не поступило.

На 16-й неделе (01–07.03.17 г.) БИ-4 выполнял работы по оснащению модулей для содержания грызунов.

03.03.17 г. при выполнении работ по замене полотна бегущей дорожки БД-2 БИ-4 затратил 7 часов 30 минут, кроме того, в этот день космонавт инициативно занимался разгрузкой ТКГ № 435 в течение 1 часа 10 минут, и фактическое время работы у него составило в этот день 9 часов 20 минут.

В последующий период полета БИ-4 продолжил работы по переносу грузов из ТКГ № 435.

28.03.17 г. (19-я неделя) БИ-4 планировалась 3-часовая работа по замене комплекта АСУ. Однако, из-за трудностей технического характера, он на эту работу дополнительно затратил еще 1,5 часа. 29.03.17 г. БИ-4 продолжил работы по восстановлению работоспособности российского АСУ. По результатам РВР система была включена в рабочий режим. На выполнение этих операций БИ-4 дополнительно к плану в этот день затратил 2 часа 40 минут.

На 21-й неделе в связи с расстыковкой ТПК № 732 РТО был изменен. У БИ-4 было 6 полных рабочих дней и 1 день (8.04.17 г.) был сокращенным рабочим днем (плановая нагрузка составила 2 ч 50 мин). В 9:00 GMT (9.04.17 г.) БИ-2 и БИ-4

был подписан акт о передаче смены по РС МКС. В 14:00 GMT состоялась церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на БИ-2. Затем, с 15:00 до 20:00 GMT всем космонавтам был предоставлен дневной отдых продолжительностью 5 часов.

Расстыковка ТПК проведена 10.04.17 г. в 10:57 ДМВ. После ухода экипажа МКС-50 оставшимся космонавтам предоставлено время для отдыха и сна с 12:00 (10.04) до 6:00 утра GMT продолжительностью 18 часов.

20.04.17 г. (23-я неделя) после выведения и выполнения маневров сближения была проведена по 4-витковой схеме стыковка ТПК № 735 с МКС. Во время автономного полета ТПК БИ-4 осуществлял контроль сближения транспортного корабля. Стыковка корабля проведена днем 20.04.17 г. в автоматическом режиме.

В последующие недели БИ-4, продолжая выполнять плановые задания, активно выполнял и дополнительные работы по укладке грузов в ТК № 435 и эксперименты по программе Task List. Общее время на выполнение дополнительных работ, в частности, за 24-ю неделю у космонавта составило 6 часов, на 25-й неделе – 4 часа 20 минут, на общем состоянии и деятельности космонавта это негативно не сказалось.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 18.05 рабочая зона у БИ-4 была сокращена на 1 час с целью выделения ему времени по 1 часу на завершающем этапе полета на подготовку к возвращению на Землю.

В период 27 и 28-й недель полета БИ-4, в основном, занимался подготовкой и укладкой возвращаемых грузов в ТПК № 733, кроме того, космонавт выполнил запланированный объем ОДНТ-тренировок и другие работы.

Перед расстыковкой ТПК 01.06.17 г. сон планировался с 21:30 до 07:30 GMT (02.06.17 г.) продолжительностью 10 часов. В первой половине дня была проведена передача смены по РС и церемония передачи командования. В 10:33 ДМВ проведено ЗПЛ, расстыковка ТПК проведена в 13:37 ДМВ. Посадка СА осуществлена 02.06.17 г. в 17:10 ДМВ.

В сутки расстыковки и посадки РТО экипажа был напряженным, время работы у БИ-4 составило 9 часов 35 минут на МКС и 5 часов 25 минут на ТПК.

Общее полетное время у БИ-4 – 197 суток, из которых БИ-4 планировалось 137 рабочих и 60 дней отдыха. Фактически у БИ-4 было 31 полный день отдыха, 24 неполных дня отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от 2 до 4 часов, и 5 дней у БИ-4 были рабочими днями, время работы составляло более 4 часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-4 составила 30 часов. Фактически на эти работы в выходные дни БИ-4 затратил 76 часов 35 минут. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-4 планировалось 100 часов 35 минут. Фактически в дни отдыха БИ-4 затратил 45 часов 40 мин. Общее время работы в дни отдыха у БИ-4 составило 120 часов 45 минут.

За весь полет на выполнение дополнительных работ, включая Task List, по инициативе экипажа, по указанию с Земли и сверх плана на рабочие операции космонавт затратил 216 часов 15 минут, что практически равноценно 33 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 часа.

Успешному выполнению программы полета во многом способствовали опыт и профессионализм БИ-4, приобретенные в предыдущем полете, а также взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции.

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

Самочувствие экипажа на всех этапах полета оставалось хорошим.

По докладам КК ТПК «Союз МС-03» № 733 самочувствие экипажа во время выведения и автономного полета было хорошим: «Все выспались, экипаж чувствует себя замечательно», «На борту порядок, экипаж чувствует себя хорошо, все позавтракали, довольно плотно» (18.11.16 г.); «Самочувствие членов экипажа прекрасное, настроение радостное» (19/20.11.16 г., после стыковки).

По данным российского врача экипажа КК/БИ-4 старт, выведение, автономный полет и стыковку ТПК «Союз МС-03» перенес хорошо, сонливости и утомления не было. Перегрузки на выведении соответствовали ожидаемым. После наступления невесомости отметил прилив крови к голове и заложенность носа. Каких-либо других проявлений факторов космического полета на организм не отмечал. Во время автономного полета и на станции выспался. На станции сон составил 6 часов. На момент проведения РМС, самочувствие оценивает как хорошее, работоспособность сохраняется на достаточном уровне. Начальный этап острого периода адаптации к невесомости для БИ-4 протекал благоприятно.

22.11.16 г. БИ-4 самочувствие оценивал как хорошее, жалоб на состояние здоровья не предъявлял, доложил, что процесс адаптации к невесомости проходит без осложнений.

10.01.17 г. БИ-4 предъявил жалобы на боль в мышцах задней поверхности бедра и голени правой ноги во время физических упражнений на БД-2 и ARED. При расспросе выяснилось, что он увеличил нагрузку на ARED и больше стал бегать на дорожке в пассивном режиме. Было рекомендовано: физические упражнения выполнять по самочувствию, прием таблеток «Магний В6».

В предоставленные выходные дни и день отдыха в понедельник основное время использовал по своему усмотрению и выполнял работы по программе Task List.

17.01.17 г. БИ-4 жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие хорошее. Усталость, накопленная в течение дня, снимается ночным сном. В предоставленные выходные дни основное время использовал по своему усмотрению и выполнял работы по программе Task List.

24.01.17 г. БИ-4 сообщил, что болезненные ощущения в мышцах бедра и голени правой ноги больше не беспокоят – «... на ARED я нагрузку на ноги снизил, на дорожке бегаю в активном режиме...».

01.03.17 (~10:00 GMT) во время работ по эксперименту «Исследование грызунов», в момент переноса мыши из модуля Habitat в коробку для переноса грызунов, мышь укусила БИ-4 за безымянный палец правой кисти. При выполнении данной операции космонавт, как требовала инструкция, использовал две пары перчаток.

По рекомендации российского врача экипажа 01.03.17 г. была проведена обработка места укуса в соответствии с процедурой № 50-0831 2.13.501: рана промыта питьевой водой, просушена марлевой салфеткой, наложен бактерицидный пластырь. Назначено соответствующее лечение.

По данным медицинской конференции российского врача экипажа от 07.03.17 г. БИ-4 жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие хорошее. БИ-4 сообщил, что «укус полностью зажил, больше не беспокоит... использовал мази в соответствии с рекомендациями».

БИ-4 передал на почту врача экипажа видеосъемку дефекта зуба с использованием оборудования «БИМС». Видеофайл был передан врачу-специалисту ЦПК по электронной почте.

14.03.17 г. БИ-4 сообщил, что установил временную пломбу на дефект 12-го зуба.

В дальнейшем жалоб на состояние здоровья не поступало.

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

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

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 740–770 мм рт ст.

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

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

Замечания экипажа по температуре воздуха в СМ:

04.03.17 г. БИ-2 МКС-50 сообщил, что по субъективным ощущениям температура воздуха в модуле СМ достаточно комфортная.

02.04.17 г. БИ-2 МКС-50 сообщил: «...по нашим данным температура в СМ показывает 27 °С, можно на пару градусов уменьшить – до 25 °С». По рекомендации специалистов СОТР в дополнение к работающему КОХ-1 в параллельную работу включен КОХ-2.

20.04.17 г. БИ-4 попросил понизить температуру в СМ с 27 °С на 2 °С меньше, в связи с чем РРЖ2 КОХ2 был переведен с 14 °С на 10 °С.

09.05.16 г. БИ-4 сообщил, что «температура очень комфортная, всех устраивает».

Для оптимизации влажностного режима периодически отключалась СКВ в РС.

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента:

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

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

На этапе расстыковки (02.06.17 г.) замечаний на температурно-влажностный дискомфорт от экипажа ТПК не поступало.

#### ***Замечания по работе СОЖ, СОГС и СТР***

Периодически отмечались отказы СОА «Воздух». По рекомендации специалистов экипажем проводился перезапуск системы, после чего СОА «Воздух» включалась в штатную работу.

06.12.16 г. вышел из строя температурный датчик Т 278, был снят с ТМ-контроля до проведения замены 19.12.16 г.

27.12.2016 г. года, после проведения работ по замене датчика преобразователя воды, показания датчиков  $PO_2$  и  $RH_2O$  были некорректные. 23.01.17 г. проведена корректировка показаний ГА.

30.12.16 г. проведена замена пульта управления регенерацией воды из конденсата и кабель-вставки в СРВ-К2М.

09.01.17 г. при включении СКО «Электрон-ВМ», вследствие отказа основного насоса (предположительно из-за попадания в него пузыря воздуха), система включена в рабочий режим на резервном насосе; 10.01.17 г. после проведенного тестирования включена в работу на основном насосе.

26.03.17 г. после замены пожарных датчиков отмечалось срабатывание сигнализации с пожарных датчиков в ФГБ. При осмотре запанельного пространства каких-либо запахов гари, задымления не обнаружено. Проводился анализ воздуха газоанализатором CSA-CP: CO–ноль, HCN–ноль и HCL–ноль. Срабатывание сигнализации расценено специалистами как ложное, на борт выданы команды на маскирование данных датчиков на период сна экипажа.

### ***Питание и водопотребление***

В сеансах радиосвязи замечаний от экипажа по питанию и водопотреблению не поступало.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на всем протяжении полета: у БИ-4 аппетит хороший; замечаний по питанию и водопотреблению нет.

21.11.16 г. БИ-4 сообщал, что во время автономного полета использовал суточный рацион питания «Союза»: «... почти весь рацион съели и выпили все соки».

В связи с потерей воды, доставлявшейся на ТК № 434, с американской стороны достигнута договоренность об использовании воды АС для питья российскими членами экипажа (с 05.12.16 г.).

20.12.16 г. БИ-4 выразил пожелания внести изменения в комплектацию контейнеров ДНП, которые были доставлены на «Прогрессе» № 435: все супы заменить на рыбные консервы (судак, лещ), доложить каши, кисель, дробленую бруснику и 1–2 тубы с приправами (приправа яблочно-клюквенная и соус «Молдова»).

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

Заключение по результатам акустических измерений в период с 05–08.12.16 г.

1. Определение индивидуальной акустической нагрузки у БИ-4 проводилось за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы Noise Pro).

Место сна БИ-4 – левая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка за дневной период превышает предельнодопустимый уровень (ПДУ) на 8,1–12,4 дБА, а шумовая нагрузка за ночной период превышает ПДУ на 4,5 дБА.

2. Статические измерения эквивалентных уровней звука за 15,0–16,0 часов дневного периода времени и за 8 часов ночного периода проведены в Node2 (NOD2S3) и СМ (район расположения тренажера БД2).

Эквивалентный уровень звука за 16,0 часов дневного периода в районе расположения тренажера БД2 (СМ) превышает ПДУ на 8,4 дБА, а за 8,0 часов ночного периода – на 4,1 дБА.

Эквивалентный уровень звука в Node2 (NOD2S3) за 15,0 часов дневного периода превышает ПДУ на 2,2 дБА, а за ночной период соответствуют нормативным значениям.

*Заключение по результатам акустических измерений (SLM) 19.12.16 г.*

Исследование акустической обстановки проводилось в модулях JLP, JPM, Columbus, НТВ-6, US Lab, Node1, ФГБ, МИМ2 и СМ РС МКС.

Акустические замеры проводились по общему уровню ( $L_a$ , дБА) и уровням звукового давления ( $L$ , дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в контрольных точках (КТ) вдоль продольной оси указанных модулей.

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

1. На рабочих местах в СМ РС МКС уровни звука превышали допустимые значения на 1,7–5,3 дБА с максимальным значением в районе расположения СКВ.

По сравнению с предыдущими замерами от 28.09.2016 г. уровни звука на рабочих местах понизились на 0,4–2,6 дБА практически во всех контрольных точках, за исключением района расположения СКВ и центра ПрК, где отмечено повышение уровней звука на 2,4 дБА и 1,3 дБА, соответственно.

2. В каютах СМ уровни звука превышали допустимые значения на 1,1–1,2 дБА.

По сравнению с предыдущими замерами от 28.09.2016 г. уровни звука в каютах понизились на 4,1–4,3 дБА, что связано с закрытием двери каюты.

3. На рабочих местах в ФГБ уровни звука превышали допустимые значения во всех контрольных точках на 1,0–6,6 дБА с максимальным значением в районе люка ФГБ-СМ.

По сравнению с предыдущими замерами от 29.03.2016 г. и 01.07.2016 г. уровни звука в ФГБ повысились на 1,0–8,6 дБА.

4. На рабочих местах в МИМ2 уровни звука превышали допустимые значения во всех контрольных точках на 3,0–5,5 дБА, что согласуется с предыдущими замерами.

5. На рабочих местах в JLP, JPM, «Columbus», НТВ-6, US Lab, Node1 уровни звука не превышали допустимые значения во всех контрольных точках.

*Заключение по результатам акустических измерений 30.01–02.02.17 г.*

Проводилось определение индивидуальной акустической нагрузки у БИ-4 за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров.

Статические измерения эквивалентных уровней звука за 15,0–16,0 часов дневного периода времени и за 8 часов ночного периода проведены в JPM (JPM1F3) и СМ (район Центрального поста – ЦП).

1. Индивидуальная шумовая нагрузка за дневной период превышает предельнодопустимый уровень (ПДУ) на 6,4–8,1 дБА, за ночной период превышает ПДУ на 1,2–7,6 дБА.

Сравнение с предыдущими замерами (05–08.12.16 г. и 19–20.12.16 г.) показало снижение шумовой нагрузки за дневной период времени у БИ-2 и у БИ-4 на 1,7–4,3 дБА; снижение шумовой нагрузки за ночной период времени у БИ-4 на 1,0–3,3 дБА.

2. Эквивалентный уровень звука за 15,3 часа дневного периода в районе ЦП (СМ) превышает ПДУ на 8,7 дБА, а за 8,0 часов ночного периода – на 9,7 дБА.

3. Эквивалентный уровень звука в JPM (JPM1F3) за 16,0 часов дневного периода и 8 часов ночного периода соответствуют нормативным значениям.

*Заключение по результатам акустических измерений 03–06.04.17 г.*

Определение индивидуальной акустической нагрузки проводилось за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров.

Статические измерения эквивалентных уровней звука за 12,5–16,0 часов дневного периода времени и за 8–10 часов ночного периода проведены в Node2 (NOD253) и СМ (район Центрального поста – ЦП).

1. Индивидуальная шумовая нагрузка за дневной период превышает предельнодопустимый уровень (ПДУ) на 5,5–11,1 дБА, за ночной период превышает ПДУ на 1,8–12,8 дБА с максимальным значением у БИ-4 (на 12,8 дБА).

Рекомендации по снижению акустической нагрузки для БИ-4.

1. Использовать средства индивидуальной защиты от шума при работе в местах расположения шумящего оборудования, при открытых панелях и во время занятия на спортивных тренажерах.

2. В период сна плотно закрывать дверь каюты, что способствует снижению шума за ночной период до 10,0 дБА, а при необходимости использовать средства индивидуальной защиты органа слуха.

### ***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.

21.11.16 г. во время приватной медицинской конференции с российским врачом экипажа БИ-4 сообщил, что индивидуальный дозиметр ИДЗ-МКС носит с собой, в кармане полетной одежды.

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

В период 25.01.17 г.–27.02.17 г. проведена взаимная калибровка датчиков дозиметра Пилле (кроме А0306) на панели 327 СМ.

27.02.17 г. в соответствии с рекомендациями СРБ ИМБП, датчики дозиметра Пилле А0309, А0310 и А0314 после считывания данных были установлены для экспонирования в ФГБ.

Замена карты памяти дозиметра «ПИЛЛЕ-МКС» перед посадкой МКС-51 не проводилась.

*Заключения по дозиметрическому контролю радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС» от 24.11.16 г.*

В работе использован комплект дозиметрических датчиков в количестве 11 единиц.

Результаты обработки показаний датчиков в виде среднесуточной мощности поглощенной дозы:

№ датчика	Размещение	Среднесуточная мощность поглощенной дозы, <i>мкГр/сутки</i>
A0301	СМ, панель 406, рядом с прибором ДБ-8 № 1	3,20E+02
A0302	СМ, правая каюта, слева от иллюминатора	4,86E+02
A0304	МИМ1, под панелью 204 в нише	4,58E+02
A0305	СМ, на панели 327	2,99E+02
A0306	Пульт	
A0307	СО-1, полусфера, на пл. III	4,66E+02
A0309	МИМ2, полусфера, у входа	5,04E+02
A0310	СМ, правая каюта пан. 447, рядом с ДБ-8 № 3	4,90E+02
A0311	СМ, левая каюта, слева от иллюминатора	4,87E+02
A0312	NODE2, каюта российского космонавта	2,40E+02
A0313	СМ, панель 435 (в районе рабочего стола)	2,41E+02
A0314	МИМ2, полусфера, по пл. 3	3,87E+02

Пространственное поле распределения дозовых нагрузок в МКС сохраняется.

Наименьшая мощность поглощенной дозы зарегистрирована в каюте модуля NODE2 – 240 *мкГр/сутки* (24,1 *мрад/сутки*) и на панели 435 в районе рабочего стола – 241 *мкГр/сутки* (24,1 *мрад/сутки*). Наибольшая мощность поглощенной дозы – в каютах около иллюминаторов – 486 *мкГр/сутки* (48,6 *мрад/сутки*) и 487 *мкГр/сутки* (48,7 *мрад/сутки*) и 490 *мкГр/сутки* (49,0 *мрад/сутки*).

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



Мониторинг радиационной обстановки на станции

Во время измерения 27.02.17 г. в работе был использован комплект дозиметрических датчиков в количестве 12 единиц.

Целью прошедшей операции по измерению доз космического излучения в отсеках РС МКС являлось получение взаимно калибровочных коэффициентов для перехода от индивидуальных показаний датчиков Пилле к среднетканевой поглощенной дозе в месте расположения датчика.

Результаты обработки показаний датчиков в виде среднесуточной мощности поглощенной дозы дали величину 270 мкГр/сутки.

Для каждого из 12 датчиков Пилле получены индивидуальные значения переходных коэффициентов, которые будут использоваться для оперативной оценки поглощенной дозы на протяжении ближайших 10–12 месяцев вплоть до момента проведения следующей калибровки.

### **Система профилактики в полете**

В первые дни нахождения на станции БИ-4 планировалось по одной ознакомительной тренировке на ВБ-3М (23.11.16 г.) и БД-2 (24.11.16 г.), инструктаж по тренажеру ARED (23.11.16 г.).

С 25.11.16 г. физические тренировки ему планировались по российской программе общей продолжительностью 2,5 часа, в основном 2 раза в день на БД-2 и ВБ-3М/ARED (с чередованием).

С 02.05.17 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов планировались двухразовые тренировки на беговой дорожке БД-2 с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED и ОДНТ-тренировки (с 19.05.17 г.). ОДНТ-тренировки выполнил в полном объеме, переносимость тренировок была хорошей.

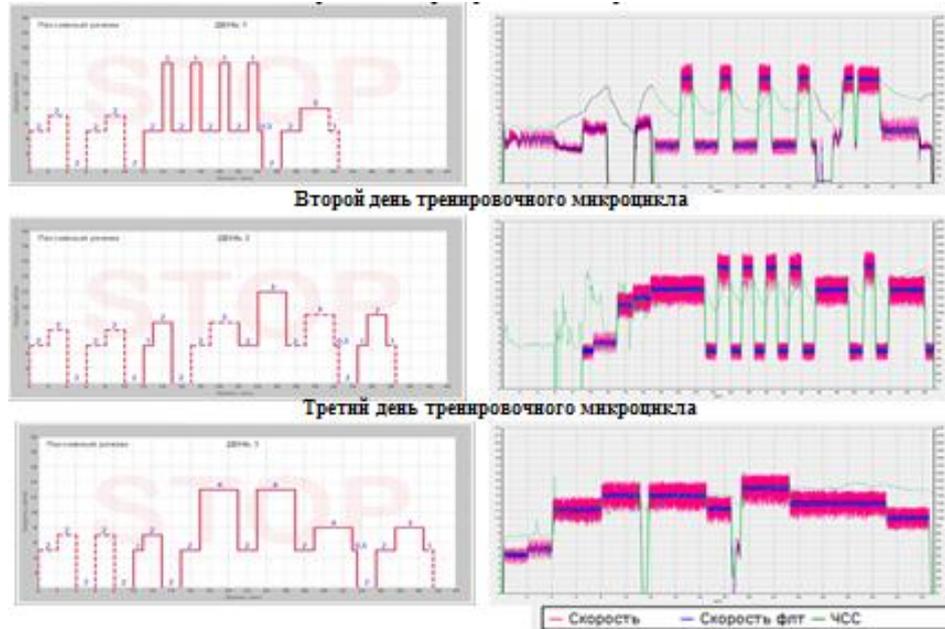
Профилактическое изделие «Браслет» начал использовать в корабле с момента снятия скафандра и до момента перехода на станцию, отметил эффективность работы изделия – при его затягивании уменьшались ощущения перераспределения крови и заложенности носа. На станции изделие «Браслет-М» не использовал.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-4 проведена 22.05.17 г. (187-е сутки полета) без замечаний. По ежедневным докладом ФТ выполнял в полном объеме.

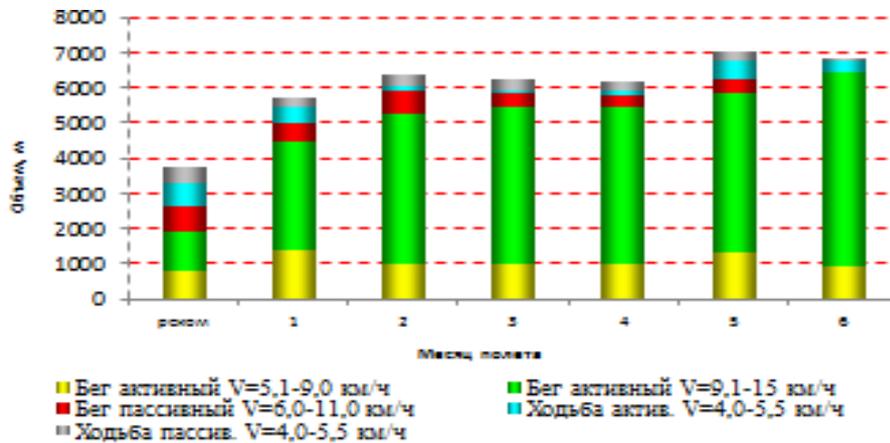
По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа: на протяжении всего полета физические тренировки выполнял в соответствии с формой 24 и рекомендациям специалистов.

25.11.16 г. БИ-4 доложил, что на беговой дорожке БД-2 обнаружено поперечное расхождение полотна, «как будто оно по шву начало расходиться». Экипаж сделал фотографии и переслал их на Землю. Фотографии полотна беговой дорожки БД-2 были переданы разработчикам. Экипажу рекомендовано контролировать состояние полотна во время выполнения ФУ.

По заключениям о выполнении БИ-4 ФТ на БД-2 уровень физической тренировки БИ-4 оценивался как хороший. Давались рекомендации приблизить протоколы тренировок к рекомендованным бортовой документацией. По возможности увеличить долю тренировок, выполняемую в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки до 30 % от общего локомоторного объема.



Схемы тренировок БИ-4



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку БИ-4

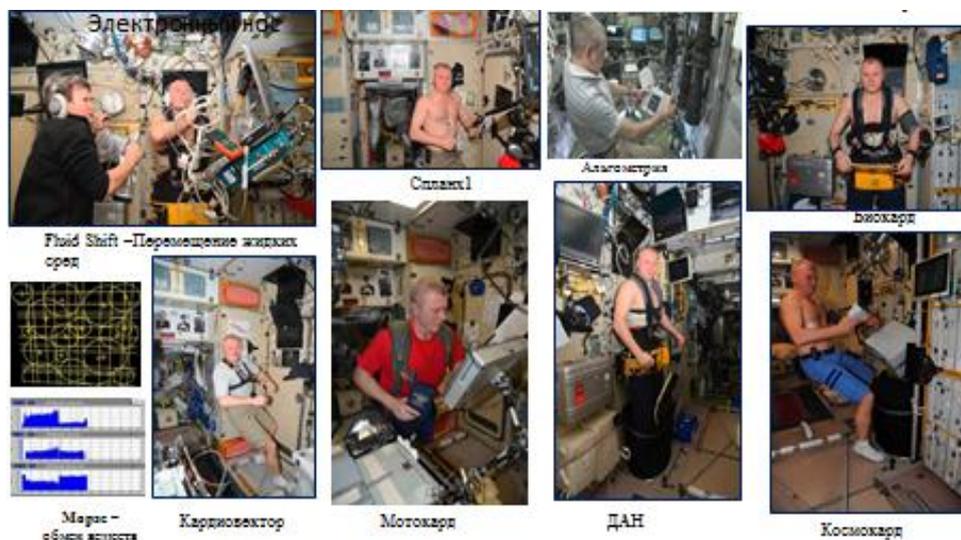
Заключение о выполнении БИ-4 МКС-50 локомоторной пробы МО-3 показывали, что, согласно скорости бега, физиологической стоимости нагрузки, объему выполненной работы и этапу полета, уровень физической работоспособности БИ-4 оценивался как хороший.

## Медико-биологические эксперименты

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

– российские эксперименты: БИО-2 «Биориск», БИО-18 «Регенерация-1», РБО-3 «Матрешка-Р», МБИ-13 «Спланх», МБИ-26 «Мотокард», МБИ-27 «УДОД», МБИ-30 «МОРЗЭ», МБИ-31 «Кардиовектор», МБИ-32 «Профилактика-2», МБИ-33 «Биокард», МБИ-34 «Космокард», МБИ-35 «Альгометрия», МБИ-36 «Контент», МБИ-37 «Пилот-Т», МБИ-38 «Взаимодействие-2», МБИ-39 «ДАН», МБИ-40 «Перемещение жидкостей» / Fluid Shifts (с ОДНТ), МБИ-41 «Нейроиммунитет», МБИ-42 «Коррекция»;

– с использованием американского оборудования: «Fluid Shift», «Rodent Research».



Медико-биологические эксперименты

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

## Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-50/51 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-50/51 свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях и достаточных функциональных резервах организма как в ходе полета, так и на завершающем его этапе.

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

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

Психологический климат в экипаже на протяжении всего полета позитивный.

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

Уровень предполетной подготовки экипажа был достаточным и адекватный задачам полета.

#### ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

NODE2 – модуль станции

TVIS – американская беговая дорожка (тредмил виброизолирующая система)

АСУ – ассенизационно-санитарное устройство

ВБ-3М – велоэргометр бортовой

ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера

ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела

СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности

СОГС – средства обеспечения газовой среды

СТР – система теплорегуляции

ФГБ – функциональный грузовой блок

СОА – средства очистки атмосферы

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

## THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.072.8

### СОЗДАНИЕ, РЕАЛИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСЕГМЕНТНОЙ ПОДГОТОВКИ К ПОЛЕТУ ЭКИПАЖЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

А.А. Курицын, В.Н. Дмитриев

Докт. техн. наук, доцент А.А. Курицын; канд. воен. наук, ст.н.с. В.Н. Дмитриев  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются вопросы создания, реализации и развития технологии многоsegmentной подготовки к полету экипажей МКС на базе Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина.

**Ключевые слова:** Международная космическая станция, космонавт, экипаж, подготовка, многоsegmentная подготовка к полету, технология, комплексные и специализированные тренажеры.

#### **Development, Realization, and Evolution of the Technology of Multi-Segment Training of Crews for Missions on the International Space Station. A.A. Kuritsyn, V.N. Dmitriev**

The paper considers the development, realization, and evolution of the technology of multi-segment training of crews for missions on the ISS at the Gagarin Cosmonaut Training Center.

**Keywords:** International Space Station, cosmonaut, crew, training, multi-segment training for flight, technology, integrated and dedicated simulators.

Международная космическая станция (МКС) – крупнейший научно-технический проект современности. В нем участвуют 14 стран: Россия, США, Япония, Канада, Италия, Бельгия, Нидерланды, Дания, Норвегия, Франция, Испания, Германия, Швеция, Швейцария. Каждая из них вносит свой весомый вклад в его реализацию, а широкая кооперация обеспечивает сокращение сроков и затрат.

В рамках этого проекта Россия осуществила к настоящему времени запуск пяти модулей: ФГБ «Заря», СМ «Звезда», СО1 «Пирс», МИМ2 «Поиск» и МИМ1 «Рассвет», которые составляют российский сегмент (РС) МКС.

В феврале 2010 года США завершили дооснащение американского сегмента станции, доставив на МКС модуль «Транквилити» и стеклянную полусферу «Купола». Европа и Япония также уже достроили свои сегменты МКС.

На 2013 год в состав МКС входило 14 основных модулей: российские – «Заря», «Звезда», «Пирс», «Поиск», «Рассвет»; американские – «Юнити», «Дестини», «Квест», «Транквилити», «Купола», «Леонардо», «Гармония»; европейский – «Колумбус» и японский – «Кибо».

Партнеры по проекту МКС (космические агентства России, США, Европы, Канады и Японии) активно участвуют в реализации намеченных планов развития и целевого использования станции.

С 2011 года доставка международных экипажей на МКС осуществляется на модернизированных российских ТПК «Союз» (после прекращения в 2011 году в США полетов многоразовых кораблей по программе «Спейс-Шаттл»).

Доставка грузов на МКС осуществляется российскими ТГК «Прогресс», американскими кораблями SpaceX «Dragon», «Sygnus», «Orion», европейскими грузовыми кораблями ATV, японскими грузовыми кораблями HTV и др.

За прошедшие 17 лет с начала работы в 2000 году первой международной экспедиции на МКС на борту станции успешно выполнили программы работ 52 экипажа основных экспедиций и 18 экспедиций посещения. С 2009 года по 2017 год на борту МКС постоянно работали международные экипажи в составе 6 человек, в том числе на РС МКС – 2–3 российских космонавта.

Российскими членами экипажей МКС за этот период выполнены значительные работы по эксплуатации и поддержанию высокой работоспособности служебных систем и научной аппаратуры модулей российского сегмента станции, многократно проведены операции по приему очередных экипажей экспедиций и их возвращению на Землю, работы по внекорабельной деятельности, разгрузке грузовых кораблей, выполнена обширная программа научно-прикладных исследований и экспериментов и др.

С весны 2017 года по решению Роскосмоса численность российского экипажа станции сокращена с трех до двух человек до пристыковки к станции многофункционального лабораторного модуля «Наука» (до осени 2018 года). В то же время количество зарубежных астронавтов, доставляемых на ТПК «Союз», вырастет с трех до четырех человек [1].

Российской стороной в соответствии с Федеральной космической программой России на 2016–2025 гг. предусматривается дальнейшая совместная с партнерами эксплуатация МКС до 2024 года, включая выполнение программы совместных космических экспериментов. В ближайшем будущем проектными документами РКК «Энергия» планируется дооснащение РС МКС научно-энергетическим модулем (НЭМ), узловым модулем (УМ), многофункциональным лабораторным модулем (МЛМ) и др. При этом значительно расширятся возможности РС МКС по выполнению программ научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ), отработке технологий применения робототехники в интересах повышения эффективности работы космонавтов [2].

Многосегментность построения станции предусматривает работу членов международных экипажей экспедиций как на своих сегментах, так и деятельность по выполнению совместных и многосегментных полетных операций.

Программы подготовки экипажей МКС как в ЦПК, так и на базах международных партнеров должны учитывать современное состояние и перспективы развития пилотируемой космонавтики на период до 2018–2025 гг. в целом и РС МКС в частности. В том числе:

- планы дооснащения МКС и РС МКС новыми модулями;
- увеличение (изменение) численности экипажа МКС до шести человек, в составе которых на РС МКС работают три российских космонавта;
- увеличение грузопотока на станцию, роль и место космонавтов в обеспечении этого процесса;
- динамику увеличения ресурсов МКС и РС МКС для реализации запланированной программы научно-прикладных исследований и экспериментов.

Для обеспечения эффективной деятельности экипажей на борту транспортных кораблей и модулях станции в условиях постоянного усложнения МКС и мо-

дификации транспортных кораблей «Союз», в Центре подготовки космонавтов впервые была создана и внедрена в практику технология многосегментной подготовки к полету экипажей МКС.

Многосегментная подготовка включает выполнение связанных между собой или параллельных задач на элементах более чем одного партнера. Данная технология базируется на созданном в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) уникальном комплексе технических средств подготовки космонавтов (ТСПК), системе организационно-методической и учебной документации и высококвалифицированном персонале, участвующем в подготовке космонавтов и астронавтов по программе МКС.

Ниже будут рассмотрены отдельные аспекты создания, развития и реализации технологии многосегментной подготовки экипажей МКС.

Процесс подготовки международных экипажей по программе МКС строится на основе соглашений и решений, принимаемых между правительствами Российской Федерации, Соединенных Штатов Америки и других партнеров-участников программы МКС, между Роскосмосом, НАСА и агентствами других партнеров (например, «Меморандум о взаимопонимании между РКА и НАСА» и др.).

Технология организации менеджмента при создании МКС, подготовке экипажей и управлении полетом станции построена по определенным партнерами принципам с учетом их долевого участия в ее создании и охватывает все процессы и этапы подготовки. В процессе эксплуатации МКС международными партнерами по проекту формируются по представлению космических агентств-партнеров совместные экипажи из российских космонавтов и иностранных астронавтов.

В связи с тем, что МКС включает сегменты нескольких партнеров, то и управление подготовкой к полетам международных экипажей представляет собой сложную структуру, которая призвана обеспечивать:

1. Многостороннее руководство подготовкой.
2. Руководство подготовкой внутри каждого космического агентства.

Основным согласующим и управляющим звеном по организации работ на МКС является Международный координационный комитет (МКК), который предназначен для решения всех спорных вопросов партнеров.

В соответствии с принятыми международными партнерами правилами:

1. Каждый партнер несет ответственность за руководство программами подготовки и за их проведение в соответствии с общими указаниями Совета по обучению и тренировкам экипажей для международных полетов (ИТСВ).

2. Партнеры несут ответственность за руководство своей частью подготовки по МКС и проведение этой подготовки таким образом, чтобы вклад каждого партнера в многостороннюю программу подготовки был сделан с наибольшей эффективностью и согласно общим указаниям и др.

Руководство подготовкой экипажей по российскому сегменту МКС проводится в РФ в соответствии с внутренними российскими документами и с учетом положений международных документов.

Головной организацией по проведению подготовки космонавтов в РФ является Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, который совместно с куратором (разработчиком КТ) – «РКК «Энергия», определяют обязательные для всех участников требования к организационному, учебно-методическому и техническому обеспечению по всем видам подготовки экипажей МКС в России, в

том числе к выполнению программы научно-прикладных исследований и экспериментов.

Экипажи МКС подготавливаются к эксплуатации и обслуживанию всех модулей МКС, находящихся на орбите, а также пилотируемых и грузовых кораблей. Учитывая, что в состав МКС входят модули, системы и полезные нагрузки различных стран-участников проекта МКС, подготовка по ним организуется методом проведения учебных (тренировочных) сессий поочередно на двух основных учебных базах: в России в ЦПК и в американском Центре космических исследований имени Джонсона, а также на базах других космических агентств (европейского, канадского и японского).

В настоящее время принята базовая длительность подготовки одного экипажа МКС – 24 месяца. Длительность одной учебной сессии на базе партнера обычно не превышает четырех недель.

Каждый из космических агентств-партнеров обеспечивает проведение той части подготовки интегрированного экипажа, которая связана с подготовкой по их модулям, системам, полезным нагрузкам, транспортным и грузовым кораблям и другим элементам МКС:

- Роскосмос проводит подготовку по российскому сегменту МКС, включая подготовку по российской научной программе, транспортным пилотируемым кораблям «Союз», грузовым кораблям «Прогресс», а также часть многосегментной подготовки интегрированного экипажа;

- НАСА проводит подготовку по американскому сегменту, а также часть многосегментной подготовки интегрированного экипажа;

- другие иностранные партнеры обеспечивают подготовку по собственным элементам, системам и полезной нагрузке.

В соответствии с этим, каждая сторона проводит сертификацию космонавтов/астронавтов к выполнению определенного вида работ по необходимому уровню.

В ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проводится подготовка экипажей по российскому сегменту МКС, пилотируемому транспортному кораблю «Союз» и грузовому кораблю «Прогресс».

В Центре имени Джонсона (НАСА, Хьюстон) по кораблю «Союз» могут проводиться лишь ознакомительные занятия с астронавтами.

В связи с тем, что работа систем различных модулей МКС, а также грузовых и пилотируемых кораблей взаимосвязана, необходимо проведение подготовки по различным системам МКС на базах международных партнеров в определенной последовательности. Так, перед изучением систем европейского модуля «Колумбус» и японского модуля «Кибо» необходимо проведение подготовки по системам американского сегмента, перед проведением подготовки по системам обеспечения жизнедеятельности американского сегмента необходимо проведение подготовки по комплексу средств обеспечения жизнедеятельности российского сегмента и др.

Предстартовая подготовка экипажей проводится стороной, осуществляющей запуск ТПК. С 2010 года за предстартовую подготовку экипажей ТПК «Союз» отвечает российская сторона.

В целях обеспечения взаимодействия с партнерами в ЦПК и в НАСА разрабатываются программы и планы-графики тренировочных сессий, которые служат для текущей координации работ с подразделениями космических центров партнеров, организующими и проводящими подготовку по программе МКС.

На текущем этапе полета МКС возрастает автономность сегментов партнеров, основанная на сегментном планировании работы членов международных

экипажей по их эксплуатации и выполнению самостоятельных национальных научных программ.

Для подготовки экипажей в составе шести человек международными партнерами принята технология или схема организации подготовки экипажей – схема единого потока подготовки (single-flow-to-launch), сформированная еще в ходе полета станции «Мир».

При подготовке интегрированного потока экипажей программные, методические, информационные, технические, людские и другие ресурсы стран-участниц проекта должны удовлетворять установленным партнерами требованиям и, прежде всего, быть сертифицированными.

К основным факторам, определяющим параметры технологии подготовки потока экипажей МКС, можно отнести:

- количество космических полетов в год (на установленный период времени);
- количество экипажей (космонавтов), которые должны быть подготовлены (основных и дублирующих);
- уровень квалификации членов экипажей;
- содержание программ полета, задачи полета, состав полетных процедур и работ с полезными нагрузками, деятельность экипажа, представительство в экипаже и др., определяющие требования к подготовке космонавтов (астронавтов);
- состав участников подготовки (учебные базы, на которых в ходе учебных сессий может осуществляться подготовка космонавтов (астронавтов));
- содержание и объемы подготовки на учебных базах по разделам согласованной партнерами программы подготовки;
- возможности (методические, технические и др.) учебных баз подготовки, а также качественный уровень специалистов по подготовке экипажей и др.

Технология подготовки потока экипажей предусматривает разработку и реализацию согласованных партнерами интегрированных программ и планов-графиков подготовки экипажей, распределенных по дисциплинам, объемам и базам ее проведения, и обеспечивает выполнение программы полетов экипажей на ТПК и МКС. Этот процесс следует рассматривать как в рамках всего проекта, так и применительно к ЦПК как головной организации, ответственной за подготовку космонавтов в Российской Федерации.

В интересах взаимодействия с международными партнерами разрабатываются программы (планы-графики) тренировочных сессий, которые служат для текущей координации работ с организациями партнеров, проводящими подготовку экипажей.

В ходе космического полета члены международного экипажа, в том числе российские космонавты, взаимодействуют с российским, американским, европейским и японским Центрами управления полетами (ЦУП). Программа подготовки космонавтов на этапе в составе утвержденных экипажей должна предусматривать теоретические и практические занятия по изучению особенностей взаимодействия с каждым ЦУПом.

- Космонавты должны знать:
- общий порядок работы с каждым ЦУПом;
  - состав задач и операций, обрабатываемых с каждым из ЦУПов в ходе полета МКС;
  - порядок взаимодействия с ЦУПами в ходе выполнения штатных операций и операций при возникновении нештатных ситуаций.

При организации многосегментной подготовки учитываются требования к подготовке экипажей МКС применительно к уровням их квалификации.

Документы, определяющие уровень подготовки экипажа к конкретному космическому полету на МКС, разрабатываются в каждом космическом агентстве, проводящем подготовку по своему сегменту. Эти документы разрабатываются на основании интегрированной программы полета МКС с учетом тех задач, которые предстоит выполнить экипажу в ходе космического полета. Они отражают: сроки выполнения полета, запланированные работы по научной программе, внекорабельной деятельности, ремонту, эксплуатации и дооснащению модулей, работы, связанные с грузовыми и пилотируемыми кораблями, минимальные уровни квалификации космонавтов и астронавтов.

Экипаж ТПК «Союз» состоит из двух или трех человек: командир корабля (КК), бортинженер (БИ), бортинженер 1 (БИ1) или бортинженер 2 (БИ2). На должности КК, БИ, БИ1, БИ2 назначаются профессиональные космонавты/астронавты.

Независимо от принадлежности к различным космическим агентствам и задач, возлагаемых на каждого члена экипажа, при выполнении программы полета весь экипаж выполняет работы на орбите как единый интегрированный международный экипаж с одним командиром экспедиции МКС.

Для каждого интегрированного сегмента МКС из членов экипажа назначается ответственный за сегмент. Он отвечает за состояние и работоспособность всех систем на своем сегменте в целом. За российский сегмент несет ответственность российский член экипажа, за американский, как правило, американский член экипажа МКС, а остальные члены экипажа являются бортинженерами.

Документы, определяющие уровень подготовки экипажа к конкретному космическому полету на МКС, разрабатываются в каждом космическом агентстве, проводящем подготовку по своему сегменту. Эти документы разрабатываются на основании интегрированной программы полета МКС с учетом тех задач, которые предстоит выполнить экипажу в ходе космического полета.

Члены экипажа экспедиции МКС могут иметь следующие квалификации: пользователь (U), оператор (O), специалист (S), испытуемый (для работ с полезной нагрузкой (ПН) (Sub)), которые определяют набор задач, которые должен уметь выполнять член экипажа при работе с системой (операцией, полезной нагрузкой). Каждый член экипажа может иметь различные квалификации по различным системам.

При организации подготовки также учитываются распределение квалификаций и ответственностей среди членов экипажа, а также должностные функциональные обязанности в экипаже.

Основной целью подготовки космонавтов в составе международного экипажа является обеспечение их подготовленности к выполнению программы конкретного космического полета на МКС. Она осуществляется в соответствии с конкретным перечнем учебных дисциплин. Общий объем подготовки составляет около 2500 часов. Распределение времени по видам подготовки на полную подготовку в России неопытного экипажа МКС в течение двух лет осуществляется в соответствии с Multilateral Advanced / Increment-Specific Training Plan (МА/ИТР) версия 8.2.

Технологией многосегментной подготовки экипажей МКС предусматривается, что на каждую экспедицию назначаются два экипажа: основной и дубли-

рующий. При реализации программы МКС используются 2 варианта подготовки экипажей (рис. 1 и 2).

1-й вариант (базовый) – в соответствии с которым на каждый полет экипажа МКС назначается два экипажа: основной и дублирующий (рис. 1).

2-й вариант (вариант единого потока подготовки) – при котором после дублирования экипаж в полном составе переходит в основной экипаж (рис. 2). Длительность подготовки в основном экипаже составляет 6 месяцев после окончания дублирования.

С учетом этого, процесс подготовки на этапе в составе экипажа МКС можно представить в виде двухмодульной структуры. Каждый из модулей обучения: *МД* (подготовка в дублирующем экипаже) и *МО* (подготовка в основном экипаже) имеет свои цели и задачи и характеризуется определенной завершенностью.

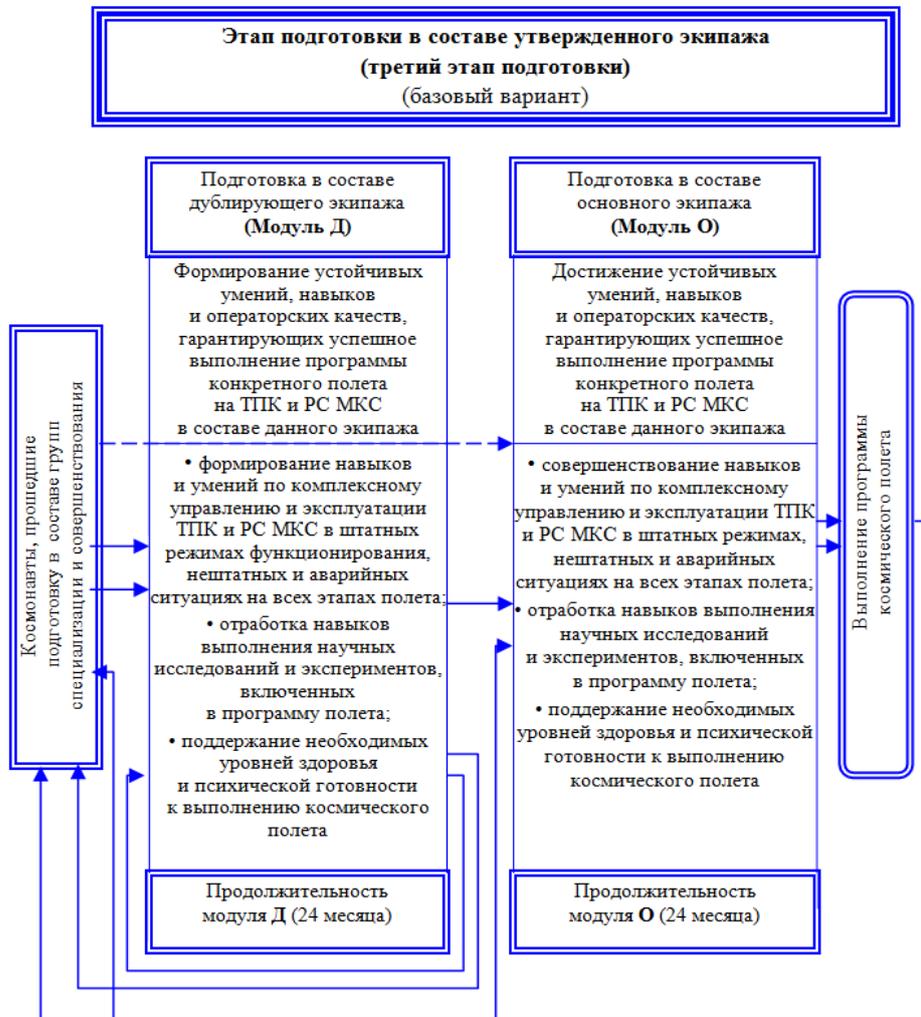


Рис. 1. Структура этапа подготовки в составе экипажа МКС (базовый вариант)

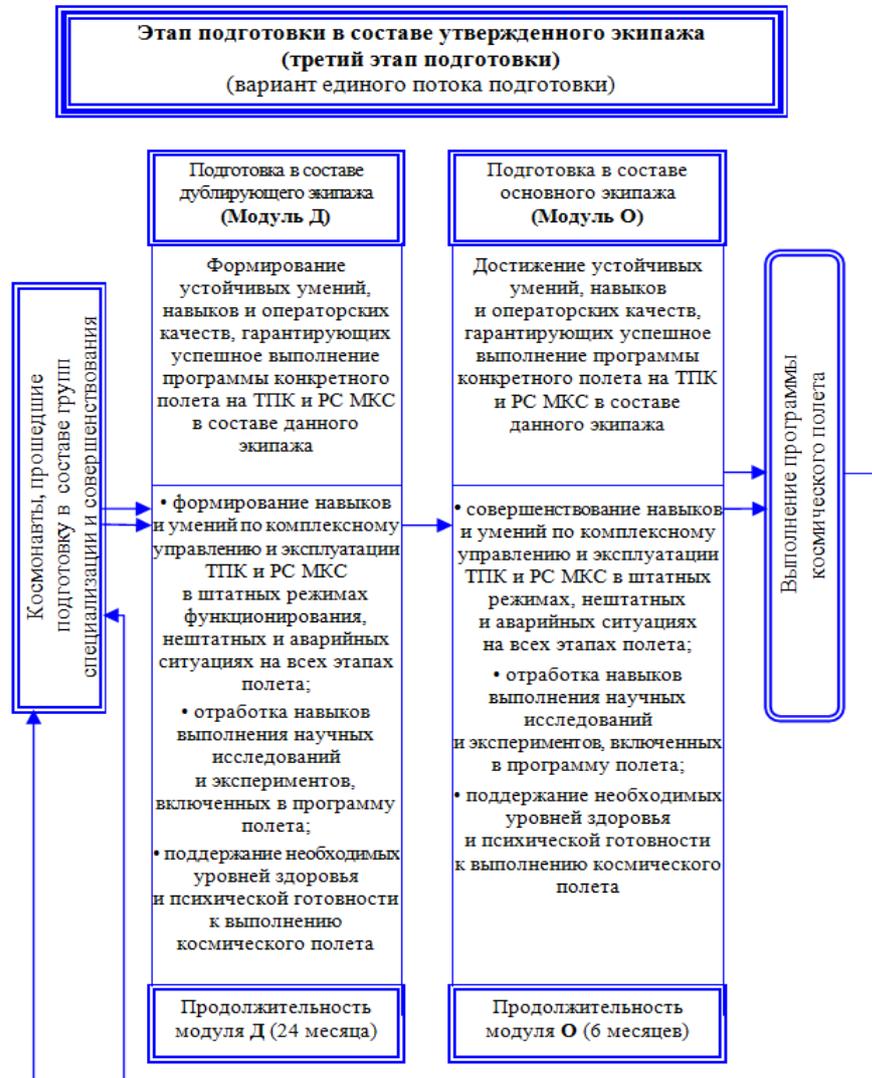


Рис. 2. Структура этапа подготовки в составе экипажа МКС (вариант единого потока подготовки)

**Для базового варианта**

*Модуль Д (МД) – модуль подготовки дублирующего экипажа МКС.* Подготовка начинается после назначения дублирующего экипажа. Основные задачи космонавтов при его реализации: совершенствование навыков и формирование умений по комплексному управлению и эксплуатации ПКА в штатных режимах функционирования, нештатных и аварийных ситуациях на всех этапах полета ПКА, отработка навыков выполнения научных исследований и экспериментов, включенных в программу полета. Продолжительность подготовки экипажа в рамках модуля Д составляет 24 месяца.

– *Модуль О (МО) – модуль подготовки основного экипажа МКС.* Подготовка начинается после назначения основного экипажа. Основные задачи космонавтов при его реализации: совершенствование навыков и формирование умений по комплексному управлению и эксплуатации ПККА в штатных режимах функционирования, нештатных и аварийных ситуациях на всех этапах полета ПККА, отработка навыков выполнения научных исследований и экспериментов, включенных в программу полета. Продолжительность подготовки космонавтов в рамках модуля О составляет 24 месяца.

После прохождения модуля Д космонавт может назначаться в состав основного экипажа (модуль О), либо назначаться повторно в состав дублирующего экипажа (модуль Д), либо возвращаться в состав групп специализации и совершенствования.

Космонавты, имеющие опыт полетов, могут назначаться в состав основного экипажа (модуль О) без прохождения дублирования.

***Для варианта единого потока подготовки***

*Модуль Д (МД) – модуль подготовки дублирующего экипажа МКС.* Подготовка начинается непосредственно после назначения дублирующего экипажа. Основные задачи космонавтов при его реализации: совершенствование навыков и формирование умений по комплексному управлению и эксплуатации ПККА в штатных режимах функционирования, нештатных и аварийных ситуациях на всех этапах полета ПККА. Подготовка по научной программе и специфическим задачам полета проводится для своей экспедиции. Продолжительность подготовки космонавтов в рамках модуля Д составляет 24 месяца.

*Модуль О (МО) – модуль подготовки основного экипажа МКС.* Подготовка начинается сразу после модуля Д (МД →МО). Основные задачи космонавтов при его реализации: поддержание навыков и умений по комплексному управлению и эксплуатации ПККА в штатных режимах функционирования, нештатных и аварийных ситуациях на всех этапах полета ПККА, отработка навыков выполнения научных исследований и экспериментов, включенных в программу полета. Продолжительность подготовки космонавтов в рамках модуля О составляет 6 месяцев.

После прохождения модуля Д, космонавт, как правило, назначается в состав основного экипажа (модуль О), стартующего через 6 месяцев.

Общей задачей подготовки космонавтов для всех модулей (МД, МО) во всех вариантах подготовки является поддержание необходимых уровней здоровья, физической подготовленности и психической готовности к выполнению космического полета.

Основной формой подготовки экипажей МКС являются тренировки на комплексных и специализированных тренажерах ТПК «Союз» и РС МКС.

Задействованные по программе МКС ТСПК включают: комплексные и специализированные тренажеры транспортного корабля «Союз» (6 тренажеров), существующих и перспективных модулей РС МКС (12 тренажеров), американского сегмента, грузового корабля «Прогресс», средства подготовки к факторам космического полета (центрифуги, гидролаборатория), самолеты-лаборатории для полетов на невесомость и на визуально-инструментальные (приборные) наблюдения, средства подготовки к действиям после посадки в различных климатогеографических зонах, средства медико-биологической подготовки и др. (рис. 3).

В настоящее время в состав комплекса ТСПК РС МКС входят 82 технических средства подготовки (рис. 4). Из них 52 компонента комплекса созданы специально под задачи МКС. Это комплексные и специализированные тренажеры

транспортного корабля «Союз», комплексные и специализированные тренажеры тренажерного комплекса орбитальных модулей российского сегмента МКС, а также ФМС и обучающие стенды по наиболее важным бортовым системам МКС. 30 компонентов комплекса ТСПК заимствованы из предыдущих космических программ. Они доработаны и адаптированы под задачи МКС [3].



Рис. 3. Комплекс технических средств подготовки космонавтов по РС МКС

Тренажеры в составе тренажерного комплекса РС МКС	Автономные тренажеры	ФМС, обучающие стенды и имитаторы космического полета
«СМ» «ФГБ» «МБВС» «СО1» «МЛМ» «ИУС» Имитатор «АСТ» «МИМ1» «МИМ2» ТПК «Прогресс»	«ТДК-7СТ3» «ТДК-7СТ4» «ТДК-7СТ5» «Дон-Союз» «Дон-Союз» № 2 Компьютерные тренажеры ТК «Союз» «Выход-2» «Телеоператор» «СТ ГПУ» «Дон-ЕРА»	Комплекс стендов на базе технологий виртуальной реальности Гидролаборатория Центрифуга ЦФ-18 Сурдокамеры Самолеты-лаборатории ФМС и стенды по бортовым системам РС МКС и ТК «Союз» Средства для подготовки по действиям после посадки в различных климато-географических зонах (КГЗ) Стенды медико-биологической подготовки (МБП)

Рис. 4. Структурная схема комплекса ТСПК по программе РС МКС

В настоящее время мы имеем устойчивую тенденцию возрастания количества полетных операций на борту МКС, увеличения количества одновременно проходящих подготовку экипажей, усложнение программы полета, что соответственно приводит к количественному увеличению ТСПК.

В завершающей стадии подготовки в составе международного экипажа на базе ЦПК проводятся экзаменационные тренировки по отдельным элементам программы космического полета и экзаменационная комплексная тренировка (не позднее, чем за 20 дней до даты старта с российского космодрома) на комплексных тренажерах ТПК и РС МКС, включающая основные элементы программы полета экипажа на ТПК «Союз» и РС МКС.

В подготовке экипажей и разработке ТСПК принимают участие также специалисты ряда других российских организаций, являющихся головными по своим тематическим направлениям: РКК «Энергия» (головная за разработку космической техники и курирующая эксплуатацию научной аппаратуры), предоставляющая для подготовки космонавтов имеющуюся испытательную и стендовую базы, НПП «Звезда», ИМБП, организации-постановщики космических экспериментов и разработчики научной аппаратуры по направлениям программы НПИ и др.

Организации-разработчики научной аппаратуры и постановщики космических экспериментов (РКК «Энергия», ЦНИИмаш, институты РАН и другие) участвуют в формировании требований к подготовке космонавтов по соответствующим направлениям программы НПИ и оценке подготовленности экипажей на основе контрактов (договоров), заключаемых ЦПК с вышеуказанными организациями. Взаимодействие ЦПК с зарубежными участниками подготовки строится в рамках соответствующих международных соглашений.

В рамках технологии многосегментной подготовки экипажей МКС специалистами ЦПК в период 2010–2017 гг. разработаны:

- новые типы организационно-методических документов «Организационно-методические основы подготовки космонавтов...» для всех трех этапов наземной подготовки космонавтов;
- учебная документация по ТПК «Союз» и РС МКС (219 наименований);
- документы, регламентирующие медико-биологическую, психологическую и физическую подготовки, медицинское освидетельствование космонавтов, медицинское обеспечение и сопровождение подготовки космонавтов, послеполетную медицинскую реабилитацию космонавтов (35 наименований) и др. (всего более 320 наименований) [4].

Эти документы для каждого из этапов определяют общий порядок отбора, планирования, организации и проведения подготовки космонавтов (экипажей) на базе России и базах международных партнеров.

## **Заключение**

Разработка, создание и развитие технологии многосегментной подготовки российских и иностранных членов экипажей МКС является одним из важнейших результатов международного сотрудничества Российской Федерации по проекту МКС и проблемы повышения эффективности использования российского сегмента МКС на период до 2025 года.

Результаты внедрения данной технологии в практику космических полетов обеспечили успешную подготовку в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина» и на базах космических агентств-партнеров по проекту МКС, а также деятельность

в космических полетах более 53 международных экипажей основных экспедиций и 18 экспедиций посещения, а также позволили обеспечить 17 лет безопасной пилотируемой эксплуатации МКС с участием всех международных партнеров.

По результатам деятельности экипажей МКС, подготовленных с применением технологии многосегментной подготовки, получены ценные результаты в интересах науки, техники и различных областей экономики. Данная технология подготовки экипажей космических комплексов с использованием комплексных и специализированных тренажеров и способов автоматизации процесса планирования и формирования программ тренировок экипажей МКС позволяет повысить безопасность полетов и качество подготовки экипажей существующих и перспективных космических комплексов.

Проблема формирования и развития технологии многосегментной подготовки актуальна для всех международных партнеров и неоднократно обсуждалась в рамках рабочей группы по подготовке экипажей по основным системам (CSCTWG) и Международного совета по управлению подготовкой (ITCB).

За создание и внедрение технологии многосегментной подготовки к полету экипажей МКС группе космонавтов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в составе: Ю.В. Лончакова, В.Г. Корзуна, Ю.И. Маленченко, Ю.И. Онуфриенко, а также Ю.П. Гидзенко (ПАО «РКК «Энергия» имени С.П. Королёва») присуждена премия Правительства Российской Федерации имени Ю.А. Гагарина в области космической деятельности в 2016 году.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] ТАСС: <http://tass.ru/kosmos/4196373>.
- [2] Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы.
- [3] Наумов Б.А. Космические тренажеры. – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013. – 214 с.
- [4] Маленченко Ю.И., Дмитриев В.Н. Совершенствование организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – № 3. – 2017. – С. 39–45.

УДК 004.522; 004.896:681.3.06; 629.787.007:523.43

## **ВИДЫ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОСМОНАВТОВ С АВТОНОМНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ ПРИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

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

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

Статья посвящена вопросам построения многомодального интерфейса для взаимодействия космонавтов с группой автономных мобильных роботов (АМР) применительно к внекорабельной деятельности (ВнеКД) на лунной поверхности. Необходимость учета тенденций развития современных интерфейсов для построения взаимодействия в системе «космонавты–АМР» вытекает из жестких требований к безопасности применения беспилотных мобильных средств в сложно структурированной экстремальной среде, в частности, для предотвращения их коллизий, приводящих к нештатным ситуациям (НшС). Рассмотрены некоторые ограничения, связанные с человеческим фактором при ВнеКД на Луне.

**Ключевые слова:** пилотируемые полеты к Луне, космонавт, автономный мобильный робот, многомодальный интерфейс «космонавт–автономный мобильный робот», внекорабельная / напланетная деятельность, ситуационная осведомленность, моделирование и визуализация виртуального окружения.

### **Options of Interfaces for the Remote Interaction of Cosmonauts with Autonomous Mobile Robots during Extravehicular Activity on the Lunar Surface. M.V. Mikhailyuk, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov**

The paper deals with the issues of making a multimodal interface for the interaction of cosmonauts with a group of autonomous mobile robots (AMR) during extravehicular activity on the lunar surface. The need of taking into account the trends in the development of interfaces purposed to ensure the interaction within the “cosmonauts–AMRs” system is reasoned by the strict requirements for the safe use of unmanned mobile devices in sophisticated extreme surroundings to prevent, in particular, collisions between them, leading to off-nominal situations. A number of limitations related to the human factor when performing EVA of the lunar surface is discussed.

**Keywords:** manned lunar missions, cosmonauts, autonomous mobile robots, multimodal interface “cosmonaut–autonomous mobile robot”, extravehicular/on-planet activity, situational awareness, simulation and visualization of virtual environment.

## **Введение**

В настоящее время вопросы построения взаимодействия человека и робота приобрели особую актуальность в аспектах все более широкого применения автоматических (беспилотных) мобильных роботов, функционирование которых должно сопровождаться мониторингом и контролем со стороны человека-оператора (ЧО) их возможных коллизий, поскольку в наиболее сложных ситуациях автоматические режимы не позволяют обеспечить необходимый уровень безопасности. Вопросам проектирования интерфейса «человек–робот» посвящены многие исследования, включая работы эргономической направленности, посвященные различ-

ным аспектам взаимодействия в системе «космонавт–робот» в пилотируемых полетах [8,13, 20, 22, 28].

Использование роботов является одним из перспективных направлений в новых проектах пилотируемых полетов, включая освоение Луны. Одной из новых является проблема дистанционного управления группой АМР при «напланетном применении», включая ВнеКД на лунной поверхности в варианте одновременного пребывания на ней космонавтов и группы роботов. Для рационального построения взаимодействия в системе «космонавт–группа роботов» необходимо решать сложные задачи построения человеко-машинного интерфейса по следующим направлениям:

- 1) обеспечение коммуникации между всеми участниками ВнеКД;
- 2) получение управляющей информации от ЧО, ответственного за принятие решения;
- 2) повышение ситуационной осведомленности ЧО о состоянии среды и активности в ней роботов.

Решение этих задач особенно актуально применительно к мониторингу перемещений АМР по лунной поверхности при ВнеКД, в том числе при следовании АМР за космонавтом в режиме “Follow Me” («Следуй за мной»). Режим «Следуй за мной» позволяет использовать АМР как робота-помощника для переноски грузов и контроля ближайшего окружения при передвижении «в паре». Изучение этого режима взаимодействия составляет важную часть проекта MOONWALK [33], выполняемого ESA в натуральных условиях на местности, подобной по рельефу лунному ландшафту и по характеру почвы лунным грунтам. Аналогичные режимы взаимодействия исследовались ранее в НАСА при моделировании напланетной деятельности в натуральных условиях на Земле.

Качество интерфейса «человек–робот» (*англ.*: Human Robot Interface – HRI) и трудности дистанционного взаимодействия определяются многими факторами, в том числе такими, как взаимное положение в пространстве ЧО и перемещающихся автономных роботов (имеются в виду трудности ведения пространственной ориентировки и навигации), задержки и ошибки при обмене информацией коммуникантов (включая варианты нарушения взаимодействия в группе автономных роботов и взаимодействия в команде операторов) и др. Наибольшие трудности при подготовке решений о возможных коллизиях в ходе совместного функционирования космонавтов и АМР при ВнеКД на лунной поверхности будет испытывать космонавт – руководитель ВнеКД, работающий в лунном модуле, так как только он может располагать всей полнотой информации о ситуации, собираемой со всех АМР, и именно он должен своевременно оповещать космонавта из «команды выхода» о потенциальных источниках опасностей. Недостатки в индикации текущей обстановки при несвоевременном поступлении данных бортовых измерений о позиционировании АМР могут приводить к задержкам передачи командной информации на линии связи между космонавтами. При этом речевой канал, скорее всего, останется основным в ходе оперативного обмена данными всех участников ВнеКД.

Трудности восприятия и переработки информации человеком могут быть связаны как с информационной перегрузкой (из-за недостаточной пропускной способности каналов обмена информацией), так и с плохой «ситуационной осведомленностью» при недостатке данных о динамически меняющейся внешней среде из-за отсутствия или запаздывания передачи со стороны АМР результатов измерений о позиционировании самих АМР и данных об их передвижении[16].

Исходя из этих посылок, в данной работе акцент исследования переносится на описание интерфейса, отвечающего задачам ВнеКД на лунной поверхности, и отдается приоритет информационным потребностям космонавта – руководителя ВнеКД (координатора функционирования группы) в плане возможностей вести мониторинг активности АМР с учетом требований безопасности ВнеКД.

### **Ситуационная осведомленность и пути ее улучшения применительно к дистанционному взаимодействию в системе «космонавт–группа АМР»**

Понятие «ситуационной осведомленности» используется в разных предметных областях, в том числе в эргономике при разработке интерфейсов для предупреждения инцидентов и нештатных ситуаций, которые могут быть связаны с человеческим фактором. Термин «улучшение ситуационной осведомленности», как правило, используется в сложных и динамичных ситуациях при информационной подготовке принятия решений. В общем случае, с точки зрения когнитивных наук, в таких ситуациях выделяется признак наличия или отсутствия должных условий для полноценного восприятия обстановки и оперативного формирования мысленных представлений человека, что, в свою очередь, важно для осуществления качественного прогноза развития ситуации в тактических аспектах подготовки и реализации решений. В частности, М. Эндсли (M. Endsley) следующим образом определил три уровня ситуационной осведомленности [18, 19]:

- восприятие данных и элементов окружающей среды;
- понимание текущей ситуации;
- прогнозирование будущих событий.

Применительно к робототехнике имеются исследования, раскрывающие разные стороны ситуационной осведомленности, в частности, о том, что касается взаимодействия между людьми, между роботами, между ЧО и роботом и между участниками смешанных команд [10, 15, 30].

При построении интерфейсов в системе «человек–роботы» при их дистанционном взаимодействии в малоизученных условиях экстремальной среды необходимо, в первую очередь, уделять внимание вопросам недопущения ситуации, когда недопонимание человеком последствий активности роботов в автоматическом режиме приводит к снижению безопасности.

Для того чтобы ЧО мог построить достаточно полную когнитивную модель внешнего мира, включая окружение АМР и его положение в пространстве, оценить его техническое состояние и спрогнозировать риски при взаимном перемещении в пространстве с другими АМР, необходима достоверная информация о текущей обстановке. Как пример, в реальном масштабе времени необходимо производить обновление электронных карт с указанием местоположения всех объектов на лунной поверхности по данным телеметрии, дальномерных измерений и трекинга подвижных объектов от системы технического зрения АМР, и в итоге представлять совокупную информацию в обобщенной форме за счет комплексирования информации от различных датчиков бортовых систем, предобработки информации, а также применения технологий дополненной реальности для моделирования и визуального воспроизведения развития ситуации [24, 27].

В настоящее время подход к построению человеко-машинного интерфейса во многом опирается на психологические принципы, сформированные в рамках когнитивных наук – осведомленность, эффективность, использование знакомых

понятий и быстрота реагирования человека при построении когнитивных схем мыслительных образов.

В большинстве ожидаемых практических ситуаций реализованная в АМР «модель внешнего мира», а также оснащение современных АМР сенсорами и интеллектуальной системой распознавания объектов, позволяют АМР вести ориентировку в среде и избегать коллизий, то есть адаптироваться в сложной экстремальной среде. Однако нельзя полностью исключить возникновения и таких условий, когда адаптивных возможностей АМР может оказаться недостаточно, а, следовательно, потребуется вмешательство ЧО в управление конкретным АМР. Тем самым, допускаются два режима: «адаптивный режим управления», при котором робот самостоятельно корректирует свои действия под изменением внешних условий на основе имеющегося у него оборудования: камер, ультразвуковых датчиков расстояния, датчиков касания, системы распознавания цвета/размера/образа, и «интерактивный режим управления», который характеризуется тем, что мобильный робот основную часть времени функционирует в автоматическом режиме, но при необходимости может быть переключен на управление ЧО. При этом ЧО рассматривается как высшее звено в иерархии принятия решений по выходу из нестандартной ситуации, для которой заранее не предусмотрены сценарии действий АМР в сложной тактической обстановке. В частности, в супервизорном режиме управления человек занимается интеллектуальной стороной работы, а робот вычислением и исполнением заранее запланированных действий. Такое решение отвечает антропоцентрическому подходу к разделению функций между ЧО и АМР в рассматриваемой эргатической системе [3].

Необходимо особо подчеркнуть, что имеются значимые отличия между непосредственным наблюдением зрительной сцены ЧО и восприятием визуальной информации опосредованно, с использованием приемных видеокамер, передачей информации по каналам связи и индикацией ее на мониторах системы отображения информации (СОИ). Прежде всего, меняется метрика воспринимаемой сцены, а также вступают в действие ограничения видеодисплеев – поля зрения, разрешающей способности и характеристик видеокамер формирования входного видеопотока. Для того чтобы ЧО мог компенсировать такие ограничения для поддержания уровня ситуационной осведомленности, используется развитый интерфейс на базе представления трехмерной модели виртуального окружения (рис. 1).



Рис. 1. Модель лунного модуля на поверхности виртуальной модели участка Луны (Дизайн НИИСИ РАН)

Когда АМР перемещается в сложной или быстро изменяющейся обстановке, человеку достаточно сложно воспринимать удаленную среду и принимать своевременные решения по управлению. Для преодоления этих ограничений используются мультимодальные и мультисенсорные интерфейсы, предоставляющие ЧО разнообразную информацию об окружающей среде, и эффективные инструменты формирования команд управления. В частности, в качестве перспективных методов построения человеко-машинного интерфейса рассматриваются 3D-модели визуализации виртуального окружения и бесконтактные способы формирования управляющих сигналов с помощью технологий распознавания и идентификации движений ЧО на основе 3D-трекинга и систем захвата движения рук и других подвижных частей тела человека, в том числе трекеров движений его головы и движений глаз [6, 32]. Сегодня для этого применяются шлемы виртуальной реальности со встроенными ай-трекерами.

Для преодоления избыточности при предъявлении информации ЧО на современных СОИ необходимо применять методы предобработки потока данных. Из литературы известны подходы с использованием понятия «интеллектуальный адаптивный интерфейс», который подразумевает динамическое изменение отображения и выводимых на СОИ характеристик управления, обеспечивая адаптивное реагирование на внешние события в режиме реального времени [12].

В настоящее время рассматривается использование интеллектуальных агентов в рамках теории многоагентных систем, которые управляют отображаемыми объектами с учетом информационных потребностей операторов путем своевременного представления наиболее актуальной в данный момент времени информации. Такие агенты предлагают выполнить последовательность действий или же способны самостоятельно своевременно выполнять определенные действия с обязательным привлечением внимания ЧО к новым сигналам и значимым изменениям обстановки, что в целом способствует повышению ситуационной осведомленности [25, 26].

На начальных этапах освоения Луны в пилотируемых полетах по аналогии с наземными решениями возможно использование АМР для выполнения операций разведки и построения электронных карт контролируемой территории [1, 4, 5]. При этом важная роль отводится экипажу в плане оперативного контроля безопасного перемещения группы АМР по лунной поверхности в ходе внекорабельной деятельности. В данном случае речь идет о новом виде ВнеКД – при напланетной деятельности космонавтов на лунной поверхности. Если следовать принятому в орбитальных полетах регламенту выполнения ВнеКД, то можно выделить такую существенную особенность, как мониторинг функционирования на поверхности Луны «команды выхода» космонавтом-руководителем на борту лунного аппарата, который отвечает за безопасность взаимодействия и координацию работ между участниками ВнеКД. Можно предположить, что этот порядок организации и разделения функций в экипаже будет регламентирован и в операциях ВнеКД на лунной поверхности, и тогда следует рассмотреть два варианта взаимодействия членов экипажа с АМР, а именно: 1) непосредственного участия выполнения ВнеКД одним из членов экипажа; 2) мониторинга ВнеКД дистанционно из лунной базы космонавтом-руководителем.

Первый вариант предполагает проведение выхода самого космонавта в скафандре на поверхность Луны, и при этом АМР в ходе операции ВнеКД функционирует как робот – помощник экипажа. Для сопровождения космонавта при перемещениях по лунной поверхности, если принимать во внимание постановку эксперимента MOONWALK ESA [33], применим режим “Follow Me” (Master/Slave mode), когда космонавт является ведущим, а АМР ведомым, и должен следовать за ним, исполь-

зую бортовое оборудование (системы компьютерного зрения и дальнометрии) для позиционирования и навигации, а также трекинга движущегося объекта [12, 15]. В рассматриваемом режиме АМР может пересылать необходимую информацию о своем позиционировании и навигации на рабочее место космонавта в лунном модуле.

Второй вариант связан с работой второго члена экипажа, который выступает в качестве руководителя операции ВнеКД и выполняет мониторинг ситуации на поверхности Луны. Именно для этого космонавта на его рабочем месте в лунном аппарате должен разрабатываться наиболее полный вариант информационной поддержки.

### **Варианты построения бесконтактного интерфейса для улучшения ситуационной осведомленности космонавта-руководителя для мониторинга ВнеКД на лунной поверхности**

Объективные трудности принятия решений космонавтом на вмешательство в управление АМР могут возникать вследствие несовершенства используемых средств информационного обеспечения, не учитывающих в должной мере человеческий фактор при дистанционном управлении космическими роботами. Особенности выбора способа управления в данной ситуации с точки зрения инженерной психологии заключаются в том, что ЧО и АМР функционируют в разных средах, в разном окружении, вне прямых зрительных контактов ЧО с АМР и другими объектами на поверхности Луны. Следовательно, основным источником знаний о текущей ситуации (внешнем окружении, позиционировании роботов, их активности и состоянии работоспособности) является либо визуальная информация, поступающая на мониторы системы отображения информации из каналов компьютерного зрения роботов, либо специальным образом структурированная информация, которая предусмотрена применением более сложного интерфейса с интеграцией всех доступных измерению данных (в том числе, для синтеза в 3D-формате виртуального окружения), а также данных электронных карт. При этом визуальная информация (при «видео-ориентированном» и «средо-ориентированном» построении интерфейса «человек–робот») может не только запаздывать по времени возникновения событий, но и быть недостаточной в плане точного определения расстояний и взаимного расположения объектов из-за особенностей ее восприятия человеком в условиях измененной гравитации. Фактически это основной аргумент в пользу необходимости улучшения ситуационной осведомленности космонавта-руководителя, который принимает решения об уровне риска коллизий АМР и инцидентов в сложной и малоизученной среде. Для принятия решения предлагается использовать всю совокупность телеметрических данных, которые можно получить, используя бортовые средства АМР для позиционирования и навигации, а также и результаты трекинга подвижных объектов с помощью методов дальнометрии и компьютерного зрения роботов в режиме «Follow Me». На этой основе предполагается задействовать информационные средства, позволяющие на основе интеграции телеметрической информации от АМР осуществлять в режиме реального времени индикацию в формате 2D реально наблюдаемой сцены, и 2D- и 3D-реконструкции сцены, в том числе синтезированной на базе технологии виртуальной и дополненной реальности. Возможный выбор построения СОИ – применение в зависимости от поставленной задачи разных способов индикации.

1) Кругового обзора для предъявления телеметрической информации в виде 2D-изображения сигналов, «отраженных» от находящихся в зоне кругового обо-

ра объектов (целей) в виде светящихся точек (меток), что позволяет определить дальность до объекта и его азимут при позиционировании ЧО в системе координат, связанной с конкретным объектом в зоне мониторинга.

2) Обзорной многооконной визуализации синтезированной 3D-сцены на базе получаемой телеметрии с бортовых СТЗ и дальномеров АМР в ходе реальной активности группы АМР. Во втором случае предполагается осуществлять по принципу «вид со стороны» на контролируемый участок местности с помощью одной или нескольких «виртуальных камер» (так называемая информационная технология «внешнего наблюдателя» с многопортовой 3D-индикацией). Это решение направлено на своевременное «включение» ЧО, выполняющего функции руководителя ВнеКД на рабочем месте в лунной базе, в управление группой АМР при выявлении риска коллизий. Особенно это важно в том случае, когда один из членов экипажа пребывает при ВнеКД на лунной поверхности, и когда следствием столкновений АРМ может быть получение травмы космонавтом, повреждение защитного снаряжения и пр.

3) Представление контролируемого участка местности на электронной карте как в условном изображении разных ее слоев комбинированного изображения (рельеф местности, условные пиктограммы стационарных объектов с указанием координат, изученные и не изученные участки местности, опорные визуальные ориентиры и др.), так и при построении маршрутов движения с помощью информации от АМР.

В целом, улучшение визуальной обратной связи как наиболее надежный путь повышения качества интерфейса «человек–робот» должно быть направлено на расширение зрительного контроля и обеспечение своевременного «подключения» космонавтов к управлению АМР при обнаружении риска коллизий на основе оперативно получаемых данных о позиционировании АМР. Именно для этих целей предусматривается использование информационных технологий дополненной и индуцированной реальности на основе компьютерного синтеза виртуальных сред в 3D-формате применительно к дистанционному взаимодействию при ВнеКД на поверхности Луны (рис. 2) [1, 3, 9, 27].

Существуют различные парадигмы взаимодействия человека и робота [2, 11, 14, 17, 21, 28], которые можно использовать при мониторинге активности АМР на поверхности Луны.

Предлагаемые для построения многомодального интерфейса «человек–робот» технологии компьютерного синтеза виртуальных сред в 3D-формате призваны обеспечить улучшение ситуационной осведомленности ЧО и обеспечить доступ ЧО к следующей информации [25, 29]:

- о системе координат, в которой ведется определение местоположения робота;
- о траекториях движения АМР на местности.

При отображении зрительно воспринимаемой информации важно принимать во внимание особенности ведения ориентировки ЧО в пространстве, что самым существенным образом зависит от выбора системы координат, в которой ведется наблюдение, и возможности обеспечения естественного перехода от системы координат со стороны внешнего наблюдателя контролируемого пространства к эгоцентрической системе координат, когда ЧО мысленно «помещает себя» в тот конкретный АМР, техническое зрение которого используется для обзора посредством отображения видеопотока в реальном масштабе времени.

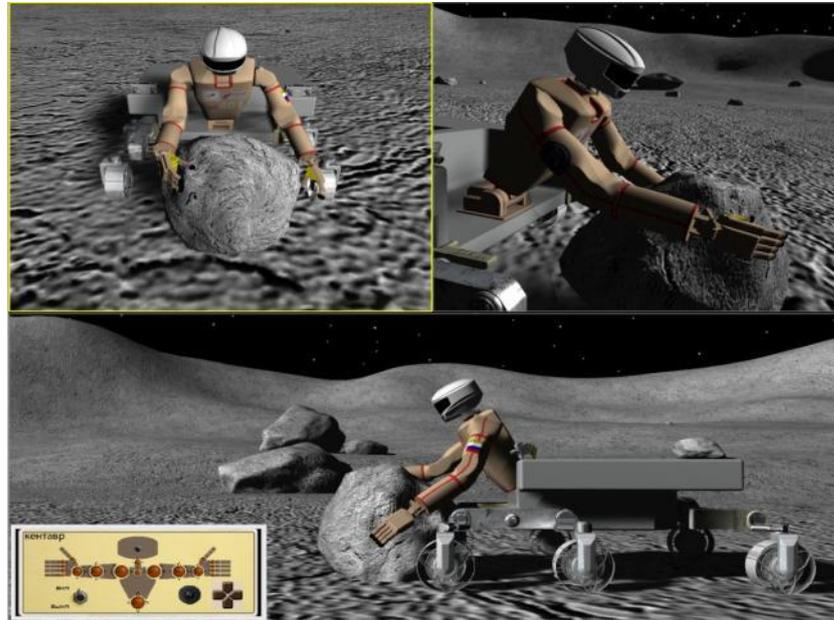


Рис. 2. Захват камня на поверхности «Кентавром» – манипуляционным мобильным роботом (дизайн НИИСИ РАН). Внизу слева на изображении показан электронный пульт управления для реализации командного режима управления

Из этого вытекают следующие требования к СОИ [11], которая должна:

- обеспечивать возможность ЧО изменять точку обзора в соответствии с задачей мониторинга;
- обеспечивать информацию о пространственном положении АМР относительно окружающей среды;
- передавать видеопоток с учетом ориентации АМР;
- разрешать ЧО селективный доступ к отображенной информации и запоминать текущие данные для последующего сравнения;
- способствовать привлечению и концентрации внимания ЧО к значимой и быстро меняющейся информации.

Сегодня как перспективное направление рассматриваются технологии виртуальной реальности, использование которых повышает производительность телеуправления, в частности, «смешанная реальность» и «улучшенная реальность». При этом реальные изображения объединяются с представлением виртуальной синтезированной картины. В частности, смешанная реальность включает в себя дополненную реальность (видеодисплеи дополняются компьютерной графикой) и дополненную виртуальность (дополнение виртуальных дисплеев с помощью реальных изображений или предметов) [1, 29].

В [7, 23, 27] проведено сравнение вариантов построения интерфейсов дополненной реальности и описан многомодальный интерфейс для взаимодействия оператора с мобильным роботом. В частности, предназначением технологии индуцированной виртуальной реальности для улучшения ситуационной осведом-

ленности космонавта при дистанционном взаимодействии с группой АМР является предоставление в распоряжение «внешнего наблюдателя» виртуальной модели рабочей среды, виртуального окружения и самих роботов, полностью адекватных (как визуально, так и по динамике) реальным.

Вопросы применения жестового и голосового интерфейса с использованием изделия «Кинект» для задания команд управления роботами представлены современными исследованиями [9].

На рис. 3. представлен модельный пример целеуказания жестом.

На рис.4. представлен модельный пример целеуказания голосовой командой.

В числе новых направлений телеуправления роботами находятся вопросы съема невербальной информации с датчиков, смонтированных на носимых костюмах ЧО [32], что позволяет использовать естественные (сопутствующие привычным стереотипам двигательных актов) реакции ЧО (типа наклонов и разворотов



Рис. 3. Реализация копирующего режима управления с помощью изделия «Кинект» (дизайн модели и лабораторного эксперимента НИИСИ РАН). *Комментарий.* Задача для робота: повторяя движение руки ЧО, робот должен нажимать на кнопку пульта для включения света



Рис.4. Реализация супервизорного режима управления манипуляционным роботом с использованием голосовой команды (дизайн модели и лабораторного эксперимента НИИСИ РАН). *Комментарий.* Задача для робота: распознав команду голосом от оператора «Робот, включи свет», робот должен нажимать на кнопку пульта для включения света

плечевого пояса) для задания циклических движений антропоморфными роботами (например, двуногой ходьбы) или управления колесными «роверами» на поверхности Луны.

Этим далеко не исчерпываются варианты визуализации, и здесь многое будет определяться техническими возможностями средств СОИ. На рабочем месте космонавта в лунном модуле такой набор может быть достаточно широким.

Вопрос построения интерфейса «человек–робот» для космонавта из «команды выхода» чрезвычайно сложен, принимая во внимание ограничения по обзору и по выполнению тонких манипуляций космонавтом в современных скафандрах. Этот самостоятельный вопрос требует дальнейших исследований построения интерфейса «человек–робот». В частности, в дальнейших исследованиях предлагается делать акцент на существенное улучшение взаимодействия в команде на основе единой трактовки событий и единой интерпретации информационных сообщений.

### **Заключение**

В настоящее время можно констатировать, что взаимодействие ЧО с мобильными автономными (беспилотными) аппаратами представляет сложную техническую проблему. Ее решение требует расширенного толкования понятия интерфейса «человек–робот», поскольку переход от непосредственного восприятия окружающей среды к опосредованному на СОИ, трансформированному через искусственно создаваемые виртуальные среды, качественно меняет сложившиеся в течение жизни конкретного индивида механизмы ведения ориентировки, распознавания объектов, оценки скоростей их перемещения, построения «картины мира» в разных системах координат и переходов между этими представлениями. В предлагаемых к реализации сценариях осуществления пилотируемых миссий к Луне выполнение экипажем работ на ее поверхности занимает видное место, поскольку именно в этих аспектах ожидается создание инфраструктуры для последующей колонизации Луны и получение значимых научных результатов. Организация взаимодействия экипажа с космическими роботами на основе ведения ЧО дистанционного контроля активности АМР остается одним из критически важных условий безопасности работ ВнеКД. Очевидно, что функционирование мобильных роботов в составе группы усложняет визуальный контроль и восприятие обстановки, возникают трудности оперативного воссоздания пространственного представления. Еще в большей мере задача усложняется в случае, когда в составе группы на поверхность Луны выходит работать и выполнять различные задачи космонавт, который, находясь в скафандре, существенно ограничен в возможности контроля окружающей среды через остекление шлема скафандра.

В свете этих положений предъявляются повышенные требования к построению человеко-машинного интерфейса, посредством которого предполагается повысить ситуационную осведомленность космонавта при взаимодействии с группой АМР в условиях лунной миссии. Предлагаемые формы предъявления ЧО визуальной информации, отвечающие современным трактовкам построения и применения многомодальных интерфейсов, должны быть направлены на улучшение восприятия текущей обстановки и снижение ситуационной неопределенности при принятии решений космонавтом о риске коллизий АМР.

Большинство перечисленных вопросов требует проведения специальных эргономических исследований в лабораторных и натуральных условиях с привлечением современного исследовательского инструментария.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Визуальное представление космонавту перемещений группы автономных мобильных роботов на поверхности Луны для предотвращения их коллизий / А.А. Ворона, Л.Д. Сыркин, Б.И. Крючков, В.М. Усов // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 3(20). – С. 41–57.
- [2] Космический эксперимент «Теледроид»: «Исследование возможностей использования дистанционно управляемого антропоморфного робота для операционной поддержки деятельности космонавтов в условиях орбитального полета» / А.В. Гребенщиков, О.А. Сапрыкин // Электронный ресурс URL: [knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf\\_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ\\_A\\_V-пер.pdf](http://knts.tsniimash.ru/ru/src/Conf_InfRes/ГРЕБЕНЩИКОВ_A_V-пер.pdf) доступ свободный. Дата 2017.08.30.
- [3] Проектирование взаимодействия человек–робот в составе единой команды космонавтов и автономных мобильных роботов на поверхности Луны / А.А. Карпов, Б.И. Крючков, А.Л. Ронжин, В.М. Усов // Экстремальная робототехника. – Труды Международной научно-технической конференции. СПб., 24–26 ноября 2016 г. – Санкт-Петербург: ООО «АП4Принт», 2016. – С. 76–80.
- [4] Виртуальное прототипирование человеко-машинного взаимодействия для инженерно-психологического проектирования деятельности космонавтов при контроле группы автономных мобильных роботов на поверхности Луны / Б.И. Крючков, В.М. Усов, А.А. Ворона // Труды Второй Международной конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (ЭРГО 2016), 6–9 июля 2016 года, Санкт-Петербург / Под ред. А.Н. Анохина, П.И. Падерно, С.Ф. Сергеева. – СПб.: Межрегиональная эргономическая ассоциация. ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» Северная Звезда, 2016. – С. 314–320.
- [5] Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий / Б.И. Крючков, В.М. Усов, В.И. Ярополов, Ю.Б. Сосюрка, С.С. Троицкий, П.П. Долгов // Пилотируемые полеты в космос. – № 2 (19). – С. 35–57.
- [6] Применение методов захвата движений в космической робототехнике при инженерно-психологическом проектировании человеко-машинного взаимодействия / Б.И. Крючков, В.М. Усов, М.В. Михайлюк // Пилотируемые полеты в космос. – № 4 (21). – 2016. – С. 57–78.
- [7] Б.И. Крючков, В.М. Усов 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.
- [8] Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Б.И. Крючков, А.А. Карпов, В.М. Усов // Тр. СПИИРАН. – 32 (2014). – С. 125–151.
- [9] Жестово-голосовой интерфейс космонавта с группой автономных мобильных роботов для экстренного предотвращения их коллизий / А.В. Мальцев, М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.М. Усов // Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016), СПб: 4–6 октября 2016 г., СПб.: АО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – С. 815–823.
- [10] Реализация принципа «ситуационной осведомленности» при построении взаимодействия «космонавт–роботы» в напланетной деятельности / М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.А. Чертополохов, В.М. Усов // Сб. тезисов научно-техн. конф. «Техническое зрение в системах управления – 2017», Москва, ИКИ РАН, 14–16 марта 2017 г. – С. 9–11. Электронное издание. URL: <http://tvcs2017.technicalvision.ru/file/Tezis-2017.pdf> доступ свободный, дата 09.03.2017.
- [11] Спасский Б.А. Обзор современных интерфейсных систем операторов мобильных наземных роботов // «Робототехника и техническая кибернетика». – 2016. – №4 (13)13. – С. 21–31.

- [12] Тимофеев А.В. Интеллектуальное и мультиагентное управление робототехническими системами с использованием моделей виртуальной реальности // Мехатроника. – 2000. – № 3. – С. 26–31.
- [13] Adams Julie A. Critical Considerations for Human-Robot Interface Development // Proceedings of 2002 AAAI Fall Symposium. 2002/11/3. pp.1-8.
- [14] Beer J., Fisk A. and Rogers W. (2014). Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot Interaction // Journal of Human-Robot Interaction, 3(2), p.74.
- [15] Burrige R. [et al]. Providing Robotic Assistance During Extra-Vehicular Activity / Burrige R., Graham J. // Intelligent Systems and Advanced Manufacturing. – International Society for Optics and Photonics, 2002. pp. 22-33. doi:10.1117/12.457451.
- [16] Drury J.L. [et al]. Awareness in Human-Robot Interactions / J.L. Drury, J. Scholtz, H.A. Yanco // 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Pp. 912-918.
- [17] Dufourd D. and Dalgalarondo A. (2006). Integrating Human-Robot Interaction into Robot Control Architectures for Defense Applications // First National Workshop on Control Architectures of Robots.
- [18] Endsley M.R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems // Human Factors. 1995. Vol.37. №1. pp.32-64.
- [19] Endsley M.R. (1988) Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement // In: Proceedings of Human Factors Society 32<sup>nd</sup> Annual Meeting, Santa Monica, CA, 1988. pp.97-101.
- [20] Ferketic J. [et al.] Toward Human-Robot Interface Standards: Use of Standardization and Intelligent Subsystems for Advancing Human-Robotic Competency in Space Exploration / Ferketic, J., Goldblatt, L., Hodgson, E., Murray, S. [et al.] // SAE Technical Paper 2006-01-2019, 2006, doi:10.4271/2006-01-2019.
- [21] Fong T. and Thorpe C. (2001). Vehicle Teleoperation Interfaces // Autonomous Robots, 11(1), pp.9-18.
- [22] Frauke Driewer [et al]. Discussion of Challenges for User Interfaces in Human-Robot Teams / Frauke Driewer, Markus Sauer, Klaus Schilling // Proceedings of the Third European Conference on Mobile Robots. 2007. pp.1-6.
- [23] Green S. [et al.] (2010). Evaluating the Augmented Reality Human-Robot Collaboration System / Green S., Chase J., Chen X. and Billingham M. // International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, 8(1/2/3/4), p.130.
- [24] Hangen H. [et al.] (2002). On-line Local Monitoring and Adaptive Navigation of Mobile Robots on Environment with Unknown Obstacles / Hangen He, Timofeev A.V., Xin Xu. // Proceedings of ACAT'2002. Moscow, 2002: pp.54-56.
- [25] Hong A. [et al.] Multimodal Feedback for Teleoperation of Multiple Mobile Robots in an Outdoor Environment / Hong A., Lee D.G., Bülthoff H.H., & Son H.I. // Journal on Multimodal User Interfaces, 2016. 1-14. DOI: 10.1007/s12193-016-0230-y.
- [26] Hou M. [et al]. Intelligent Adaptive Interfaces for the Control of Multiple UAVs / M. Hou, R.D. Kobierski, M. Brown // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. 2007. Vol. 1(3). pp. 327–362.
- [27] Karpov A. [et al.] Virtual Prototyping of Human-Mashine Interaction for Remote Control of Space Autonomous Manipulation Robots Based on Augmented Reality Technology / Dr. Alexey Karpov, Prof. Mikhail Mikhaylyuk, Prof. Vitali Usov, Dr. Boris I. Kryuchkov // IAC2016, Paper number IAC-16,B3,6-A5.3,7,x34571 // URL: <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-16/B3/6-A5.3/34571/> Date: 21.11.3016.
- [28] Keyes B. [et al.] Improving Human-Robot Interaction Through Interface Evolution / By Brenden Keyes, Mark Micire, Jill L. Drury and Holly A. Yanco // In: "Human-Robot Interaction", book edited by Daisuke Chugo, ISBN 978-953-307-051-3, Published: February 1, 2010. DOI: 10.5772/8140.
- [29] Labonte D. [et al.] (2010). Comparative Analysis of 3-D Robot Teleoperation Interfaces With Novice Users / Labonte D., Boissy P. and Michaud F. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 40(5), pp.1331–1342.

- [30] Scholtz J. Implementation of a Situation Awareness Assessment Tool for Evaluation of Human-Robot Interfaces / Jean Scholtz, Brian Antonishek, Jeff Young // IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics – Part A Systems and Humans. August 2005. Vol. 35. No. 4. P. 450–459.
- [31] Sheridan T. (2002). Supervisory control. // Humans and Automation, pp.115-129.
- [32] Stanton C. [et al.]. Teleoperation of a Humanoid Robot Using Full-Body Motion Capture, Example Movements, and Machine Learning / Stanton C., Bogdanovych A., Ratanasena E. // Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation, 3–5 Dec 2012, Victoria University of Wellington, New Zealand.
- [33] The website – The Space Journal ROOM (<https://room.eu.com>): Project MOONWALK / Barbara Imhof, Thomas Vögele, Peter Weiss // URL: <https://room.eu.com/article/project-moonwalk> (free access, 2017.09.12)

УДК 629.784

## **ВЫБОР ВАРИАНТА АГРЕГАТА ПОСАДКИ И ЭВАКУАЦИИ КОСМОНАВТОВ**

А.А. Курицын, В.И. Ярополов

Докт. техн. наук, доцент А.А. Курицын;  
заслуженный деятель науки РФ, докт. техн. наук, профессор В.И. Ярополов  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены вероятные причины экстренной эвакуации космонавтов и обслуживающего персонала со стартового комплекса в случае возникновения аварийных ситуаций в процессе подготовки к запуску пилотируемых космических аппаратов, приведены основные требования, предъявляемые к агрегату посадки и эвакуации космонавтов (АПЭК) и к эвакуации с его помощью космонавтов и обслуживающего персонала, проанализированы возможные варианты агрегата посадки и эвакуации космонавтов, их сравнительные характеристики, обоснован выбор варианта этого агрегата, обеспечивающего заданные требования по обеспечению безопасности космонавтов и обслуживающего персонала.

**Ключевые слова:** стартовый комплекс, ракета космического назначения, пилотируемый транспортный корабль, нештатная ситуация, аварийная ситуация, экстренная эвакуация космонавтов, агрегат посадки и эвакуации космонавтов, пожар, взрыв.

### **The Choice of an Option of the Cosmonaut Evacuation Complex.**

**A.A. Kuritsyn, V.I. Yaropolov**

The paper considers the probable causes for urgent evacuation of cosmonauts and maintenance personnel from the launch complex in case of any emergency during pre-launch activities; it also gives the key requirements for the cosmonaut evacuation aggregate and for the operations of evacuation of cosmonauts and maintenance personnel, analyzes feasible options of the CEC, their comparative characteristics, substantiates the choice of the option of CEC that ensures the specified requirements for the safety of cosmonauts and maintenance personnel.

**Keywords:** launch complex, space mission vehicle, manned transport vehicle, emergency, urgent evacuation of cosmonauts, cosmonaut evacuation complex, fire, explosion.

## **1. Вероятные причины эвакуации космонавтов с помощью агрегата посадки и эвакуации космонавтов**

Анализ ситуаций, складывающихся в процессе подготовки к запуску пилотируемых космических аппаратов (ПКА) на стартовом комплексе (СК) [3, 7, 8], показывает, что в ряде ситуаций потребуется срочная эвакуация экипажа в процессе предстартовой подготовки. В настоящее время специалистами ракетно-космической отрасли обсуждается необходимость создания специализированного устройства посадки и эвакуации космонавтов для создаваемого пилотируемого корабля «Федерация» применительно к ракетам-носителям «Ангара-5» (рис. 1). При этом рассматриваются два варианта этой ракеты: «Ангара-А5П» и

«Ангара-А5В», которые с точки зрения использования АПЭК отличаются высотой расположения корабля на РН (36 м и 58 м соответственно) и использованием во втором варианте РН в качестве компонента топлива водорода, отличающегося своей взрывоопасностью.

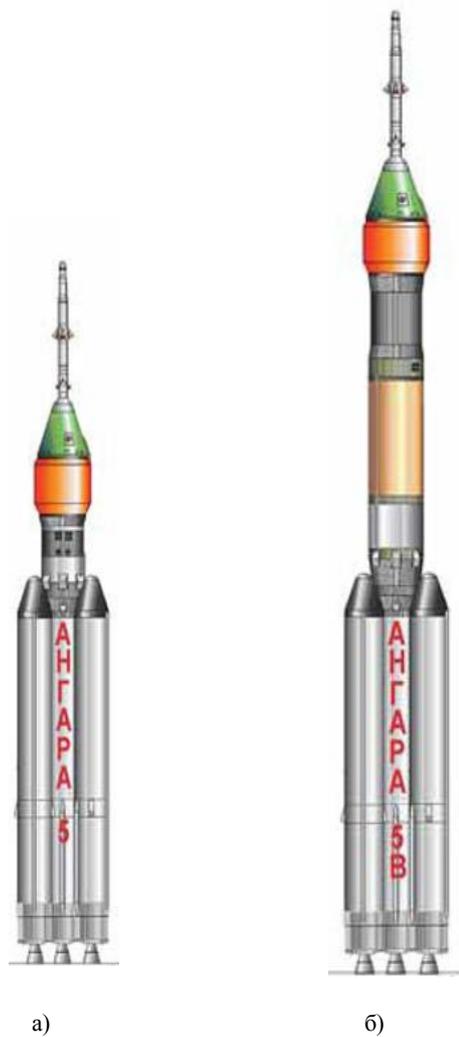


Рис. 1. РН «Ангара-5»:

а) с кораблем «Федерация»; б) с кораблем «Федерация» и СМТ

Наиболее вероятными причинами эвакуации космонавтов с помощью АПЭК в процессе подготовки к запуску могут быть:

1. Пожар на СК или ракете космического назначения (РКН), в том числе с кратковременным освобождением (выходом) потенциальной энергии (взрыв) в результате инициирования возгораний и взрывов на СК (РКН) (короткие замыкания в электросетях, искрообразование в средствах коммутации и при соударении предметов, курение в запрещенных местах, перегрев поверхностей конструкции, приборов, датчиков, кабельных сетей свыше температуры самовоспламенения смесей компонентов топлива и т.п.) в условиях:

- утечки пожаровзрывоопасных компонентов топлива на борту ракеты-носителя (РН);
- утечки пожаровзрывоопасных компонентов топлива на борту средства межорбитальной транспортировки (СМТ);
- утечки пожаровзрывоопасных компонентов топлива в наземных системах СК;
- натекания паров и проливов компонентов топлива в отсеках РКН;
- натекания паров и проливов компонентов топлива в сооружениях СК;
- образования опасных концентраций натекающих компонентов топлива;
- нарушений герметичности арматуры, трубопроводов, баков в процессе технологического цикла их подготовки к пуску РКН;
- дренажа паров водорода;
- дренажа паров кислорода;
- натекания воздуха в магистрали подачи водорода до начала заправки РКН.

1. Самовоспламенение компонентов топлива или создание токсичной для дыхания атмосферы в условиях:

- утечки азотного тетраоксида (АТ) и несимметричного диметилгидразина (НДМГ) на борту пилотируемого транспортного корабля (ПТК);
- утечки АТ и НДМГ в наземных системах СК.

## **2. Основные требования к агрегату посадки и эвакуации космонавтов, а также к эвакуации с его помощью космонавтов и обслуживающего персонала**

Основные требования к АПЭК и к эвакуации с его помощью космонавтов и обслуживающего персонала порождаются разными причинами, которые могут быть обусловлены конструктивными особенностями ПКА, РН, стартового оборудования и средств эвакуации, характером технологий, используемых в процессе подготовки ПКА и РН на СК, особенностями возникающих в процессе работ на СК нештатных ситуаций (НшС), особенностями катастрофического развития событий, психологическим воздействием на космонавтов и обслуживающий персонал факторов стресса, готовностью космонавтов и обслуживающего персонала к действиям в аварийных ситуациях, а также характером их действий в процессе эвакуации. Состав причин, порождающих требования к АПЭК пилотируемого транспортного корабля, и сами требования, обусловленные этими причинами, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состав причин, порождающих требования к АПЭК,  
и вытекающих из них требований к агрегату посадки и эвакуации космонавтов

Причина	Требования
Эвакуация в защищенном желобе (канале) в наклонном исполнении («склизе») в защищенное сооружение СК	<p>Оснащение «склиза» смачивающим устройством для уменьшения силы трения, возникающего при скольжении экипажа по нему.</p> <p>Исключение (амортизация) удара экипажа в конечной точке его перемещения по желобу («склизу») путем использования средств торможения людей, съезжающих в укрытие по «склизу», и защитной стенки, смягчающей удар в случае неполного торможения.</p> <p>Быстрое покидание космонавтом зоны амортизации удара в целях предотвращения взаимного столкновения с очередным эвакуирующимся членом экипажа.</p>
Эвакуация с помощью рукава в вертикальном исполнении в защищенное сооружение СК	<p>Исключение удара экипажа в конечной точке его перемещения по рукаву.</p> <p>Оборудование системы эвакуации с помощью рукавов теплоизолированной шахтой для защиты спускающегося персонала от внешнего температурного воздействия.</p> <p>Использование устойчивых к воздействию ударной волны, осколков, температуры и токсичных газов средств транспортировки экипажа и другого персонала в укрытие.</p>
Опасный характер технологии проведения заключительных операций подготовки РКН	<p>Наложение запрета на одновременное проведение заправки РКН и посадки экипажа в корабль.</p> <p>Выполнение посадки экипажа в ПТК после окончания заправочных операций.</p>
Загазовывание пожаровзрывоопасными компонентами топлива окружающего пространства и помещений СК в процессе заправки РКН компонентами топлива и подготовки к запуску	<p>Исключение загазовывания АПЭК пожаровзрывоопасными компонентами топлива.</p> <p>Разобщение линий водорода, кислорода, керосина, АТ, НДМГ путем отдельной прокладки трубопроводов и отдельного размещения разъемных соединений.</p> <p>Применение продувки нейтральными газами (азот, гелий) в местах возможных утечек компонентов топлива.</p> <p>Обеспечение очищенной воздушной смесью всех помещений, переходов, площадок, галерей, предназначенных для использования экипажем и персоналом при экстренной эвакуации со СК.</p>

Продолжение таблицы 1

Причина	Требования
	<p>Создание в них небольшого избыточного давления, исключающего возможность повышения концентрации отдельных газов или попадания других газов и пыли в воздушную смесь извне.</p> <p>Исключение или нейтрализация источников инициирования возгораний и взрывов на СК (РКН) (короткие замыкания в электросетях, искрообразование в средствах коммутации и при соударении предметов, курение в запрещенных местах, перегрев поверхностей конструкции, приборов, датчиков, кабельных сетей свыше температуры самовоспламенения смесей компонентов топлива и т.п.).</p> <p>Применение электрооборудования РКН и СК, аттестованного для использования во взрывоопасных средах.</p>
<p>Быстрое развитие и распространение пожара в условиях загазованности окружающего пространства и помещений СК пожаровзрывоопасными компонентами топлива</p>	<p>Размещение системы экстренной эвакуации экипажа на минимальном расстоянии от посадочного люка возвращаемого аппарата (ВА).</p> <p>Обеспечение эвакуации экипажа и персонала в убежище по кратчайшему пути и за минимальное время.</p> <p>Минимизация количества персонала, задействованного в процесс посадки экипажа в корабль и в выполнение операций на ПТК после посадки экипажа.</p> <p>Организация процесса эвакуации таким образом, чтобы обеспечить заданную степень защиты всем эвакуируемым людям от паров компонентов ракетного топлива, газов, образующихся при горении, и от значительных тепловых потоков.</p>
<p>Нарастание эмоционального и психологического стресса по мере быстрого развития и распространения пожара</p>	<p>Организация процесса эвакуации таким образом, чтобы спасаемые люди не испытывали болевых ощущений и не получали психических травм, перегрузки были ограниченными, и не вызывали страха при использовании средств эвакуации.</p>
<p>Большой тротиловый эквивалент мощности взрыва РН (более 100 т)</p>	<p>Конструкция убежища для экипажа должна предусматривать защиту от проникновения ударных волн.</p> <p>Обеспечение защищенности экипажа и команды мобильного средства эвакуации персонала из зоны СК в случае взрыва РН в процессе эвакуации.</p>

Продолжение таблицы 1

Причина	Требования
Выгорание кислорода в помещениях СК в случае пожара	<p>Применение на СК эффективных средств пожаротушения в условиях загазованности помещений кислородом.</p> <p>Обеспечение герметизации помещений СК, в которых может располагаться экипаж и другой персонал во время пожара, и комфортного пребывания в них экипажа и персонала сроком до трех суток.</p> <p>Оснащение экипажа и другого персонала изолирующими противогазами в помещениях, в которых может располагаться экипаж и другой персонал во время пожара.</p> <p>Обеспечение доступа спасателей в помещения, в которых может располагаться экипаж и другой персонал во время пожара.</p>
Отключение электроснабжения во время пожара на СК	<p>Исключение пользования лифтами для эвакуации экипажа и другого персонала во время пожара.</p> <p>Оснащение членов экипажа и находящегося с ними персонала индивидуальными и коллективными средствами освещения, работающими в автономном режиме.</p> <p>Оснащение экипажа автономными средствами связи с руководством СК, работающими в условиях отключения общего электроснабжения.</p>
Необходимость наличия технологического трапа при экстренном покидании ПТК в случае аварии на СК	Обеспечение срочной подачи технологического трапа для экстренного покидания ПТК в случае аварии на СК.
Одевание членами экипажа привязной системы кресел при посадке в ПТК	Обеспечение быстрого освобождения членов экипажа от привязной системы кресел в случае экстренного покидания ПТК при аварии на СК.
Подключение скафандров членов экипажа ПТК к бортовому оборудованию при посадке в корабль	Обеспечение быстрого отключения скафандров членов экипажа от бортового оборудования ПТК в случае экстренного покидания ПТК при аварии на СК.
Создание членами экипажа взаимных помех при покидании ПТК	Определение строгого порядка покидания ПТК членами экипажа.
Закрытие посадочного люка ПТК после посадки экипажа в корабль	<p>Обеспечение быстрого (5–7 секунд) открытия посадочного люка в случае экстренного покидания ПТК при аварии на СК.</p> <p>Обеспечение возможности открытия посадочного люка как изнутри ПТК, так и снаружи его.</p> <p>Обеспечение выполнения всех работ с посадочным люком одним человеком.</p>

Окончание таблицы 1

Причина	Требования
	Исключение попыток открытия посадочного люка с неснятой блокировкой. Обеспечение запаса прочности петель люка-лаза, позволяющего космонавту при покидании ВА опереться и подтянуться за ручку люка-лаза.
Наддув гермоотсека ВА избыточным полетным давлением (до 870 мм рт. ст.)	Выравнивание давления с обеих сторон посадочного люка перед его открытием. Определение средств и способов отделения экипажем крышки люка в начальный период ее открытия на случай залипания ее герметизирующих элементов.
Развитие пожара на СК	Обеспечение убежища для экипажа путями эвакуации из него за пределы СК. Обеспечение экипажа мобильными средствами безопасной эвакуации из убежища за пределы СК.
Неотработанность процедур экстренного покидания экипажем ПТК в случае аварии на СК	Четкое определение порядка действий экипажа при покидании ПТК в случае аварии на СК. Реальная отработка процедур экстренного покидания экипажем ПТК в случае аварии на СК. Определение реально необходимого времени на покидание экипажем ПТК в случае аварии на СК.
Неотработанность процедур перемещения экипажа от ПТК в убежище в случае аварии на СК	Четкое определение порядка действий экипажа при его перемещении от ПТК в убежище в случае аварии на СК. Реальная отработка процедур экстренного перемещения экипажа от ПТК в убежище в случае аварии на СК. Определение реально необходимого времени на перемещение экипажа от ПТК в убежище в случае аварии на СК.

### 3. Историческая справка

#### *Агрегат экстренной эвакуации экипажа и обслуживающего персонала корабля «Буран»*

Агрегат экстренной эвакуации (АЭЭ) экипажа и обслуживающего персонала корабля «Буран» (рис. 2–4) [5, 6] состоял из двух тоннелей – труб диаметром до 4 м. Они почти параллельно тянулись из подземного бункера к специальному шлюзу, находящемуся на уровне кабины «Бурана». По одному из них космонавты доставлялись в корабль с помощью специальных тележек, а через другой они при аварийной ситуации могли мгновенно покинуть его. Благодаря хитроумной конструкции весь путь от корабля до бункера занимал менее 15 секунд.

Площадка с трубами подводилась прямо к посадочному люку «Бурана». И отходить от него должна была примерно за минуту до начала подъема ракеты. При аварии громадная площадка возвращалась обратно всего за 10 секунд. У космонавтов был выбор – каким путем спускаться. К наземному забетонированному бункеру можно было добраться «малой скоростью» – по широкой трубе, которая на самом деле являлась наклонным лифтом. Здесь были установлены восемь пар кресел. Экипаж и обслуживающий персонал усаживались в эти кресла, а затем, как на американских горках, катились вниз.

Второй вариант – экстренный. Для этого использовалась вторая труба, которая носила название «склиз». Это был желоб длиной сотни метров из полированной нержавеющей стали, уходящий под углом около  $30^\circ$  под землю. Идея была такая: космонавту нужно было сесть на полированную поверхность «склиза», а дальше по закону всемирного тяготения его несло к земле. На выходе «склиза» скорость уже была приличная. Вылетев из трубы, космонавт должен был сгруппироваться и гасить скорость кувырками по разложенным матам. Если это не удавалось, в десяти метрах ждала вертикальная стена, тоже предусмотрительно прикрытая матом. Затем требовалось тут же отползти вправо или влево, поскольку следом несется следующий член экипажа (в экипаже могло быть до 6 человек).

За матами был коридор с герметическими дверями. За каждой дверью – пространство метр на метр. Забежав в такую ячейку, нужно было наглухо закрыть дверь и ждать, так как наверху могла взорваться гигантская ракета.



Рис. 2. Агрегат экстренной эвакуации экипажа и обслуживающего персонала корабля «Буран» (вид со стороны верхней части корабля)



Рис. 3. Агрегат экстренной эвакуации экипажа и обслуживающего персонала корабля «Буран» (вид с боковой стороны корабля)



Рис. 4. Агрегат экстренной эвакуации экипажа и обслуживающего персонала корабля «Буран» (общий вид)

«Склиз» поначалу нужную скорость спуска не обеспечивал. Испытатели тормозили в самых неожиданных местах. Нужно было подниматься на ноги в полный рост, разбегаться и снова быстро переходить в сидячее положение. Испы-

татели придумывали усовершенствования: подкладывали под себя картонку либо «склиз» сверху проливали водой. Но экстренно покидающие корабль космонавты не могли располагать ни подстилками, ни водой. В связи с этим было предложено в самом начале трубы устанавливать подушку, наполненную маслом. На нее усаживался первый космонавт, емкость рвалась и из нее выливалась тягучая жидкость, смазывавшая «склиз» и ускорявшая путь к бункеру.

Эвакуационную систему со всеми улучшениями испытывали сами космонавты. В «сухом» варианте они отмечали слишком сильный перегрев своего тела в той части, которая скользила по полированной нержавеющей «склиза». А в «смазанном» варианте космонавты обращали внимание комиссии на значительную силу удара о вертикальную стену. Зато все были целы и оказывались в безопасности за считанные секунды.

#### **4. Современные взгляды на агрегат посадки и эвакуации космонавтов, а также на эвакуацию с его помощью космонавтов и обслуживающего персонала**

В настоящее время рассматривается, что экстренную эвакуацию экипажа и обслуживающего персонала пилотируемого транспортного корабля (ПТК) «Федерация» на космодроме «Восточный» будут проводить в защищенном желобе (канале) в наклонном или вертикальном исполнении в защищенное сооружение СК.

Интервал времени от момента посадки экипажа в корабль до момента включения бортовых средств аварийного спасения в дежурный режим является потенциально опасным, поэтому безопасность экипажа в предложенном варианте обеспечивается путем применения специализированного агрегата посадки и экстренной эвакуации космонавтов (или иных средств экстренной эвакуации). АПЭК должен быть предназначен для эвакуации экипажа и обслуживающего персонала с трассы доставки или от люка корабля в подземное укрытие по галерее эвакуации, внутри которой размещена трасса эвакуации.

Подземное укрытие должно быть рассчитано на прием и размещение всех членов экипажа и всего состава обслуживающего персонала. Его конструкция должна предусматривать защиту от проникновения ударных волн, продуктов горения, легко воспламеняющихся жидкостей и газов при любых вариантах развития аварии на СК. Подземное укрытие должно обеспечивать комфортное пребывание экипажа и персонала до трех суток. Оно должно быть оборудовано средствами связи и путями эвакуации.

Любые помещения, переходы, площадки, галереи, предназначенные для использования экипажем и персоналом при посадке в ВА или экстренной эвакуации со СК, должны быть обеспечены очищенной воздушной смесью. Необходимо предусмотреть конструктивные решения (например, небольшое избыточное давление внутри помещений), исключающие возможность повышения концентрации отдельных газов или попадания других газов и пыли в воздушную смесь извне. Члены экипажа и персонал должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты органов дыхания и зрения.

Космический ракетный комплекс «Амур» на космодроме «Восточный» должен обеспечивать надежную и быструю эвакуацию обслуживающего персонала и экипажа ПТК в аварийных ситуациях.

При возникновении аварийных ситуаций, угрожающих жизни экипажа, до взведения ракетного блока аварийного спасения (РБАС) должна быть предусмотрена следующая последовательность операций:

1) автобус с находящимися в нем членами экипажа должен уезжать в безопасное место;

2) космонавты, находящиеся на посадочной площадке, должны спускаться на подъёмном устройстве (по возможности должен быть предусмотрен режим ускоренного спуска) к взрывозащищенному транспортному средству и вместе с посадочной командой должны уехать в безопасное место;

3) находящиеся в ВА космонавты должны эвакуироваться в убежище с использованием системы экстренной эвакуации, при этом компоновка командного отсека, конструкция кресел и привязной системы, конструкция посадочного люка должны обеспечивать покидание ПТК экипажем за короткий период времени, должна также предусматриваться организация взаимодействия между членами экипажа, стартовой командой и определение порядка срочного покидания.

В случае отмены пуска должно обеспечиваться приведение РН в безопасное состояние и эвакуация экипажа за минимально возможное время.

**Возможные типы агрегатов посадки и эвакуации космонавтов, которые могут быть использованы на стартовом комплексе РН «Ангара» на космодроме «Восточный», предназначенном для запуска ПТК «Федерация»**

Могут рассматриваться следующие типы АПЭК, опыт проектирования которых имеется в настоящее время [1, 2]:

- стационарного типа;
- передвижного типа;
- с использованием тросовой конструкции;
- с использованием рельсовой конструкции.

К системам эвакуации предъявляется следующий набор требований:

1. Эвакуация должна быть проведена до наступления катастрофы.
2. Процесс эвакуации должен быть организован так, чтобы обеспечить заданную степень защиты всем эвакуируемым людям от паров компонентов ракетного топлива, газов, образующихся при горении, и от значительных тепловых потоков.
3. Производительность и доступность систем эвакуации должны обеспечить возможность покинуть опасные зоны всем, кто находится в них.
4. В процессе эвакуации спасаемые люди не должны испытывать болевых ощущений и получить психических травм, то есть перегрузки должны быть ограничены, и не должно быть страха при использовании средств эвакуации.
5. Система эвакуации должна быть надежной, автономной и постоянно готовой к применению при любых условиях.
6. Учитывая психологическое состояние людей и возможность получения ими травм к моменту эвакуации, следует исключать необходимость управления средствами эвакуации эвакуируемыми людьми.

При возникновении аварийных ситуаций с РКН на СК, для обеспечения безопасности персонала должны быть предусмотрены системы эвакуации с высотных сооружений.

Лифты, которыми оборудованы высотные агрегаты СК, могут выполнять не только функцию подъема груза и персонала, но также могут быть использованы для эвакуации персонала.

*АПЭК стационарного типа* может представлять собой стационарный агрегат в виде высотной ферменной металлоконструкции, в который входят следующие составные части (по аналогии с АЭЭ корабля «Буран», рис. 2–4):

- башня;
- площадки с кабинами посадки;
- комплект устройств отвода (подвода) коммуникаций;
- комплект лифтового оборудования;
- система аварийной эвакуации.

При использовании АПЭК стационарного типа, кабина посадки экипажа располагается на поворотной площадке. Время подвода площадки зависит от конструктивного исполнения силового привода. При наличии соответствующих требований можно обеспечить экстренный подвод поворотной площадки к РКН за счет конструкции силового привода.

Для АПЭК стационарного типа целесообразна наклонная система эвакуации (НСЭ), которая представляет собой наклонную конструкцию, выполненную из тонколистовой нержавеющей стали в виде желоба, состоящего из боковых стенок, настилов и колонн основания.

НСЭ может быть разделена на несколько участков: участок разгона и участок движения с постоянной скоростью.

Для компенсации изменения длины желоба, вызванного изменениями температуры окружающей среды, а также компенсации перемещений, в случае наличия подвижных элементов НСЭ, в неподвижной части галереи эвакуации предусматривается сиффон.

Конечный участок НСЭ располагается в защитном сооружении. В защитном сооружении смонтировано оборудование для торможения спускающегося по НСЭ экипажа. Оборудование состоит из горок, площадок, барьеров, стенок и дорожки. Эти устройства выполнены в виде рамных конструкций с мягким наполнителем, обтянутым тканевой оболочкой. На стенках наполнитель нанесен на плоские сплошные поверхности. Горки и площадки закрыты дорожкой, которая заземлена для обеспечения отвода статического электричества.

НСЭ может быть оборудована смачивающим устройством для уменьшения силы трения, возникающего при скольжении экипажа по желобу НСЭ.

В случае эвакуации с высотного агрегата подвижного типа, НСЭ может быть оборудована телескопической частью для стыковки с ответной частью на высотном агрегате.

НСЭ может быть оборудована системой наддува, предназначенной для создания избыточного давления в галереях в любое время года и поддержания температуры внутри галерей не ниже +5 °С в самое холодное время.

*АПЭК передвижного типа* представляет собой самоходный агрегат СК в виде высотной ферменной металлоконструкции [4]. В состав агрегата входят следующие составные части:

- башня;
- ходовая часть;
- кабина посадки экипажа;
- площадки обслуживания;

- система аварийной эвакуации;
- лифтовое оборудование.

При использовании АПЭК передвижного типа, кабина посадки экипажа располагается непосредственно на подвижной металлоконструкции башни. Время подвода кабины зависит от скорости передвижения АПЭК. Пример башни обслуживания передвижного типа представлен на рис. 5.

Для аварийной эвакуации может в данном случае использоваться вертикальная система эвакуации (ВСЭ), которая представляет собой сборку вложенных один в другой рукавов: внутреннего, создающего необходимую силу трения, и наружного эластичного рукава, создающего необходимую силу прижатия внутреннего рукава к эвакуируемому человеку. Тормозное усилие создается за счет трения одежды эвакуируемого человека о внутренний рукав. Упругость эластичного рукава обеспечивает регулирование скорости спуска до 1 м/с.



Рис. 5. Стартовый комплекс для РН «Союз» на космодроме «Восточный» с передвижной башней обслуживания

Для обеспечения возможности эвакуации людей с любого яруса верхняя часть спасательного рукава выполнена из отдельных элементов, последовательно переходящих один в другой и затем в основной рукав.

В случае аварийной ситуации обслуживающий персонал проходит в специальные входные тамбуры и оттуда спрыгивает в спасательный рукав, скользя в котором, спускается с высотного агрегата.

При этом следует учитывать, что эвакуация экипажа и обслуживающего персонала специальным транспортом, обеспечивающим защиту от воздействия ударной волны, осколков и температурного воздействия, возможна только после спуска с высотного агрегата всех членов экипажа и обслуживающего персонала, что значительно увеличивает время их эвакуации.

ВСЭ может быть оборудована теплоизолированной шахтой для защиты спускающегося персонала от внешнего температурного воздействия.

При эвакуации с высотного агрегата передвижного типа, ВСЭ может быть оборудован устройством стыковки с подземным сооружением. Стыковка происходит после перевода высотного агрегата передвижного типа в рабочее положение.

Также могут рассматриваться еще два вида систем эвакуации: тросовая система и рельсовая система эвакуации.

*Тросовая система эвакуации (ТСЭ)* (рис. 6) представляет собой гравитационное устройство, состоящее из тросов и блоков и размещенное между двумя точками. ТСЭ оборудована лебедкой для натяжения каната, площадкой приземления, устройством торможения, кареткой ТСЭ. В зависимости от конструкции каретки, ТСЭ может применяться для групповой эвакуации или персональной эвакуации.

При персональной эвакуации экипаж, пристегнувшись страховочными поясами к кареткам, под действием гравитации съезжает по канату в безопасную зону.

При групповой эвакуации применяются эвакуационные корзины.

*Рельсовая система эвакуации (РСЭ)* (рис. 7) представляет собой гравитационное устройство, состоящее из направляющей системы, вагонеток и устройства торможения. Направляющая система имеет пять участков: участок начала движения вагонеток, участок разгона, переходный участок, участок движения с постоянной скоростью и участок торможения.

На данный момент эта схема не реализована.

После проведения эвакуации экипажа с высотного сооружения, на СК должны быть предусмотрены средства защиты персонала от последствий аварии.

Взрывозащищенное сооружение представляет собой железобетонное армированное заглубленное сооружение, обеспечивающее защиту персонала от последствий аварии. Взрывозащищенное сооружение оборудуется системой жизнеобеспечения, позволяющей эвакуируемому персоналу автономно находиться внутри сооружения. Также взрывозащищенное сооружение должно быть оборудовано средствами доступа спасателей.

Взрывозащищенное сооружение может быть оборудовано системой амортизации для снижения возможных перегрузок от сотрясения в результате взрыва РКН.

Взрывозащищенное сооружение может быть оборудовано системой гермодверей для отделения защищенной части сооружения от незащищенной.



Рис. 6. Тросовая система эвакуации космонавтов и обслуживающего персонала



Рис. 7. Рельсовая система эвакуации космонавтов и обслуживающего персонала



Рис. 8. Мобильный транспортер

Мобильный транспортер представляет собой подвижное грунтовое средство, обеспечивающее эвакуацию экипажа с территории стартового комплекса и защиту от воздействия ударной волны, осколков и температурного воздействия (рис. 8).

Анализ существующих в РФ наработок по системам аварийного спасения экипажа ПКА показывает, что для ПТК «Федерация» могут рассматриваться АПЭК передвижного или стационарного типа. При этом в качестве системы спасения экипажа и обслуживающего персонала могут применяться:

- эластичный чулок;
- склиз (наклонный желоб) для эвакуации по нему космонавтов и обслуживающего персонала.

Конкретный состав и технический облик агрегата необходимо определять из условия возможности осуществления безопасной экстренной эвакуации космонавтов за минимальное время.

## 5. Выбор варианта АПЭК

Рассмотрению подлежали АПЭК передвижного и стационарного типов.

При выборе варианта АПЭК необходимо учитывать весь комплекс их положительных и отрицательных характеристик и руководствоваться следующими основными критериями:

- максимального сокращения времени, в течение которого не обеспечивается возможность спасения экипажа путем срабатывания РБАС либо экстренной эвакуации из ПТК и укрытия экипажа в защищенном сооружении;
- обеспечение минимального времени эвакуации экипажа из ПТК в защищенное сооружение или на безопасное расстояние от РКН;
- приоритета вопроса обеспечения безопасности экипажа в процессе принятия конструктивных решений по ее реализации.

Рекомендуется предусматривать следующие приоритеты в обеспечении безопасности: в первую очередь должна реализовываться безопасность экипажа, во вторую очередь – безопасность ПТК, в третью очередь – безопасность СК.

Время эвакуации экипажа ПТК будет в себя включать:

$$T_{\text{эвак.}} = T_{\text{пок.ВА}} + T_{\text{под.каб.}} + T_{\text{перем.СС}} + T_{\text{ухода}},$$

где:

$T_{\text{пок.ВА}}$  – время, затрачиваемое на покидание ВА;

$T_{\text{под.каб.}}$  – время подвода кабины посадки экипажа;

$T_{\text{перем.СС}}$  – время перемещения экипажа через средства спасения («склиз», «эластичный чулок», лифт и пр.);

$T_{\text{ухода}}$  – время ухода экипажа в безопасное место (в бункер, передвижение с использованием автобуса, транспортера).

Оценка возможностей АПЭК передвижного и стационарного типов с использованием значимых для безопасности экипажа и обслуживающего персонала критериев приведена в табл. 2.

Сравнительные характеристики по возможным объемам и стоимости строительных работ, времени выполнения подготовительных работ перед стартом и объему работ по техническому обслуживанию АПЭК передвижного и стационарного типов приведены в табл. 3.

Таблица 2

Оценка возможностей АПЭК передвижного и стационарного типов  
с использованием значимых для безопасности экипажа  
и обслуживающего персонала критериев

Критерий оценки	Передвижной АПЭК	Стационарный АПЭК
Возможность эвакуации космонавтов до последних секунд перед стартом	Невозможно	Возможно
Возможность независимой эвакуации каждого из космонавтов	Необходимость эвакуации всех членов экипажа одним специализированным транспортным средством	Члены экипажа эвакуируются автономно
Минимальное количество персонала в непосредственной близости от РКН	8 чел.	4 чел.
Возможность экстренной эвакуации при отсутствии электроснабжения	Невозможно	Возможно
Возможность введения дополнительного оборудования и коммуникаций для РКН	Невозможно	Возможно
Наличие созданного ранее и введенного в эксплуатацию агрегата-прототипа	Не существует	Существует
Время эвакуации экипажа и обслуживающего персонала при возникновении нештатных ситуаций	Эвакуация экипажа и обслуживающего персонала проводится с использованием лифтов: – сразу, после получения соответствующей команды (АПЭК находится в рабочем положении); – через ~30 мин при нахождении АПЭК на площадке хранения	Эвакуация экипажа и расчетов проводится с использованием лифтов, при необходимости – склизов: – сразу, после получения соответствующей команды, в любое время до КП; – через ~11 сек при нахождении АПЭК в готовности к пуску
Возможность экстренной эвакуации экипажа и обслуживающего персонала при возникновении аварии в безопасное место	Экстренная эвакуация проводится только с применением «эластичных чулок» на отметку «0»	Экстренная эвакуация проводится с использованием склизов в безопасное место
$T_{\text{эвак}}$ при существующих технологиях	До 45–60 минут	Около 10–15 мин

Таблица 3

Сравнительные характеристики АПЭК передвижного и стационарного типов по объему и стоимости строительных работ, времени выполнения подготовительных работ перед стартом и объему работ по техническому обслуживанию

Передвижной АПЭК	Стационарный АПЭК
Увеличенный объем и стоимость строительной части	Сниженный объем и стоимость строительной части
Увеличенное время подготовительных работ перед стартом	Меньшее время подготовительных работ перед стартом
Увеличенный объем работ по техническому обслуживанию	Меньший объем работ по техническому обслуживанию

## Выводы

1. Возможность возникновения аварийных ситуаций (пожар, взрыв, токсичность атмосферы) на СК при запуске ПТК «Федерация» с экипажем на борту обуславливает требование обеспечения экстренного покидания космонавтами ПТК на старте.

2. Сравнение характеристик АПЭК стационарного и передвижного типов показывает, что АПЭК передвижного типа с системой покидания типа «эластичный чулок» не обеспечивает необходимые параметры безопасности космонавтов (временные, физиологические), а также сохранность скафандров в случае срочной эвакуации экипажа ПТК.

3. АПЭК передвижного типа обуславливает необходимость использования РБАС в качестве средства спасения экипажа в аварийной ситуации на заключительном этапе перед стартом вместо использования возможностей АПЭК, что может привести к потере РКН и СК.

4. В процессе использования АПЭК с системой покидания типа «эластичный чулок» не исключается повреждение «чулка» элементами конструкции скафандра, что может иметь катастрофические последствия.

5. АПЭК в передвижном варианте характеризуется необходимостью преодоления космонавтами психологического барьера при принятии решения о прыгивании в вертикально расположенный «эластичный чулок».

6. Сроки создания, технические, конструктивные и экономические показатели АПЭК стационарного и передвижного типов сопоставимы и близки друг к другу.

7. Принятие решения о реализации стационарного варианта АПЭК не повлечет изменения сроков выполнения работ.

8. Если для СК на космодроме «Восточный» будет определено требование минимального времени эвакуации экипажа из ПТК в защищенное сооружение или на безопасное расстояние от РКН, то из двух сравниваемых вариантов АПЭК стационарный вариант является более предпочтительным. Передвижной вариант АПЭК этому требованию не соответствует.

9. Использование тросовой системы спасения нецелесообразно в климатических условиях космодрома «Восточный» из-за возможности обледенения в зимний период.

10. Рельсовая система спасения на настоящий момент не имеет аналогов в мире.

11. Для дальнейшей разработки проекта разработки агрегата посадки и эвакуации космонавтов применительно к ПТК «Федерация» для РН «Ангара-5» для космодрома «Восточный» целесообразно рассматривать стационарный вариант АПЭК.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андреев Н.В. Обзор подходов к построению систем аварийного спасения и эвакуации экипажей // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2014. – Т. 1, вып. 3. – С. 21–28.
- [2] Афанасьев И., Воронцов Д. Шанс на спасение // Вокруг света. – 2009. – № 7.
- [3] Голованов М.В. Аварийные ситуации при эксплуатации ракетно-космической техники, 2013.
- [4] Ежов В.С. Система аварийного спасения экипажа пилотируемых ракет-носителей семейства «Союз» для стартового комплекса в Гвианском космическом центре // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2012.
- [5] Максимов Г. Новый шаг советской космонавтики. «Энергия»–«Буран» // Крылья Родины. – 1989. – № 1.
- [6] Милкус А. Негромкая дата: Из «Бурана» космонавты спасались, съезжая на попе // Комсомольская правда, 15.11.2008.
- [7] Ярополов В.И. Учебник по дисциплине «Основы обеспечения безопасности экипажей пилотируемых космических аппаратов (изд. второе, перераб. и доп.)». – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», 2017. – 364 с.
- [8] On the way to Mars. A.A. Kuritsyn, S.K. Krikalev, B.I. Kruichkov. Science In Russia, Russian Academy of Sciences, 2014, 1, Nauka Publishers.

УДК 796

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ  
ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ КОСМОНАВТОВ  
К ПОЛЕТАМ НА МЕЖДУНАРОДНУЮ КОСМИЧЕСКУЮ СТАНЦИЮ**  
В.Г. Назин

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

В статье представлены основные результаты исследований по разработке новых нормативов физической подготовки космонавтов и новой методики оценки их физической подготовленности к полетам на Международную космическую станцию.  
**Ключевые слова:** космонавты, нормативы физической подготовки, нормативные физические упражнения, профессионально важные физические качества, физическая подготовленность.

**Improvement of the Regulatory and Methodological Basis for Assessing  
the Physical Fitness of Cosmonauts for Flights to the International Space  
Station. V.G. Nazin**

The paper gives basic results of the development of the new standards for physical training of cosmonauts and the new methods of assessing their physical fitness for flights to the International Space Station.

**Keywords:** cosmonauts, standards of physical training, professionally significant physical quality, physical fitness.

## **Введение**

Физическая подготовка космонавтов (ФПК) к полетам на Международную космическую станцию (МКС) осуществляется в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (физические тренировки космонавтов непосредственно на борту МКС проводятся в соответствии с программами и рекомендациями Института медико-биологических проблем РАН).

Оценка физической подготовленности космонавтов к полетам на МКС осуществляется исходя из результатов выполнения ими соответствующих нормативов ФПК. Данные нормативы представляют собой таблицу с перечнем нормативных физических упражнений (тестов, проб) и результатами их выполнения, соответствующими качественным оценкам «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» для космонавтов трех возрастных групп (до 35 лет, 35–45 лет, старше 45 лет).

До 2006 года физическая подготовленность космонавтов оценивалась так же, как и военнослужащих Вооруженных сил, а именно, в сугубо качественной форме исходя из соотношения оценок за выполнение отдельных нормативных упражнений:

«отлично» – если более половины оценок «отлично», а остальные – «хорошо»;

«хорошо» – если более половины оценок не ниже «хорошо», а остальные – «удовлетворительно»;

«удовлетворительно» – если более половины оценок «удовлетворительно» при отсутствии неудовлетворительных оценок.

Начиная с 2006 года оценка физической подготовленности космонавтов стала осуществляться на комплексной основе по единой 10-балльной шкале с помощью компьютеризированной методики [1], разработанной непосредственно в ЦПК. В основу данной методики положен принцип двухэтапной аддитивной «свертки» множества разнородных количественных результатов выполнения нормативов ФПК, предварительно пересчитанных в балльные оценки с точечным учетом текущего возраста космонавтов. На первом этапе указанной «свертки» балльные оценки результатов выполнения конкретным космонавтом нормативных упражнений на каждое из профессионально важных физических качеств (выносливость, силу, быстроту, ловкость, специальную физическую подготовленность (СФП), бортовую физическую тренированность (БФТ)) сначала умножаются на коэффициенты относительной важности («веса») этих упражнений, а затем складываются. В результате определяются взвешенные балльные оценки уровней отдельных физических качеств данного космонавта, которые на втором этапе «свертки» сначала умножаются на коэффициенты относительной важности («веса») этих качеств и потом складываются. В итоге определяется взвешенная балльная оценка общего уровня физической подготовленности космонавта (другие особенности методики указаны в работе [2]).

Важно отметить, что в данной методике действующие на момент ее разработки табличные нормативы ФПК были использованы пусть уже в преобразованном (аналитическом) виде, но все же в качестве исходных данных, не подлежащих сомнению. Однако уже и в тот период времени этим исходным нормативам ФПК были присущи определенные недостатки, например:

в составе нормативных упражнений для оценки профессионально важных физических качеств космонавтов отсутствуют упражнения для оценки их гибкости;

для оценки ловкости космонавтов назначены упражнения, результат выполнения которых оценивается исключительно субъективно;

оценки за выполнение некоторых нормативных упражнений, в том числе с высокой нагрузкой, не увязаны с возрастом космонавтов и т.д.

Наличие подобных недостатков, впрочем, вполне объяснимо, поскольку изначально нормативы ФПК были взяты из Наставлений по физической подготовке в Вооруженных силах применительно к военным летчикам, затем неоднократно уточнялись скорее эмпирическим, чем расчетным путем вслед за изменением самого контингента космонавтов, задач пилотируемой космонавтики в целом и задач ФПК в частности. Несомненно, также, что нормативы ФПК, окончательно сформированные в конце 90-х годов прошлого столетия, в качественном измерении вполне соответствовали своему предназначению, поскольку подготовленные в соответствии с ними космонавты в целом успешно выполняли поставленные перед ними задачи.

Однако новый этап развития пилотируемой космонавтики, начавшийся уже в XXI веке с момента создания МКС, вполне закономерно актуализировал проведение количественной оценки соответствия ранее разработанных нормативов ФПК новым реалиям пилотируемой космонавтики.

### **Количественная оценка нормативов ФПК и их корректировка**

Возможность проведения указанной оценки появилась относительно недавно по мере накопления достаточного количества статистических данных о физической подготовленности к полетам на МКС космонавтов современного контингента. Всего для статистической обработки было представлено 2470 результатов выпол-

нения 45 космонавтами в возрасте примерно от 24 до 60 лет 28 нормативных упражнений ФПК в период с 2006 года по 2015 год.

Общая количественная оценка нормативов ФПК включала оценку их значимости, востребованности, выполнимости и адекватности текущему возрасту космонавтов.

В качестве показателя важности нормативов ФПК использовалась относительная важность отдельных нормативных упражнений для оценки уровней соответствующих профессионально важных физических качеств космонавтов. При расчетах указанного показателя использовался стандартный метод экспертных оценок Т. Саати. Выявление мнений экспертов осуществлялось с помощью специально разработанных опросных листов с матрицами попарного сравнения важности нормативных упражнений на каждое из оцениваемых физических качеств космонавтов. Результаты расчетов представлены на рисунке 1 в виде нормированных оценок (коэффициентов) относительной важности отдельных нормативных упражнений для оценки уровня того или иного физического качества космонавтов. На этом рисунке, в частности, видно, что в некоторых случаях нормативные упражнения ФПК на одно физическое качество существенно отличаются по своей важности, что свидетельствует о некоторой несбалансированности нормативов ФПК в плане равнозначности нормативных упражнений. Так, например, относительная важность результатов кросса 1 км при оценке выносливости космонавтов примерно в 4,4 раза меньше, чем у 5-километрового бега на лыжах; относительная важность результатов плавания на 100 м брассом и вольным стилем примерно в 2,5–3,7 раза ниже, чем у других нормативных упражнений на быстроту. Не вполне сбалансированы нормативы ФПК и по количеству нормативных упражнений, используемых для оценки различных физических качеств космонавтов (так, для оценки быстроты в нормативах представлено 8 упражнений, выносливости – 7, в то время как для оценки БФТ – всего 2, силы – 3).

В качестве показателя востребованности нормативов ФПК использовалась относительная частота выполнения отдельных нормативных упражнений при проверке физической подготовленности космонавтов. Дело в том, что согласно действующему «Руководству по организации и проведению физической подготовки космонавтов» выбор конкретного состава выполняемых нормативных физических упражнений осуществляется тренером-преподавателем с учетом предпочтений космонавта, времени года, погодных условий, степени подготовленности кроссовых или лыжных трасс и т.д.

Следовательно, имеются как объективные, так и субъективные предпосылки для формирования некоего рейтинга нормативных упражнений ФПК в плане их востребованности. Расчетные данные для составления такого рейтинга представлены на рисунке 2 в виде значений относительной частоты выполнения космонавтами каждого из 28 нормативных упражнений ФПК: значение «1» соответствует ситуации выполнения упражнения во всех имевших место случаях проверки физической подготовленности космонавтов (в 100 % случаев), значение «0» – когда это упражнение ни разу не выполнялось. На этом рисунке, в частности, видно, что наиболее востребованными являются следующие нормативные упражнения: подтягивание на перекладине, ныряние в длину (выполнялись в 100 % случаев оценки физической подготовленности космонавтов), проба Ромберга (99 %), ручная велоэргометрия (96 %), сгибание–разгибание рук в упоре на брусьях (93 %), тест PWC170 (92 %). Крайне редко выполнялись тест Купера и бег 30 м (по 2 %), бег 100 м (4 %), активная антиортостатическая проба (11 %), что и предопределило принятие решения об их исключения из состава нормативов ФПК.

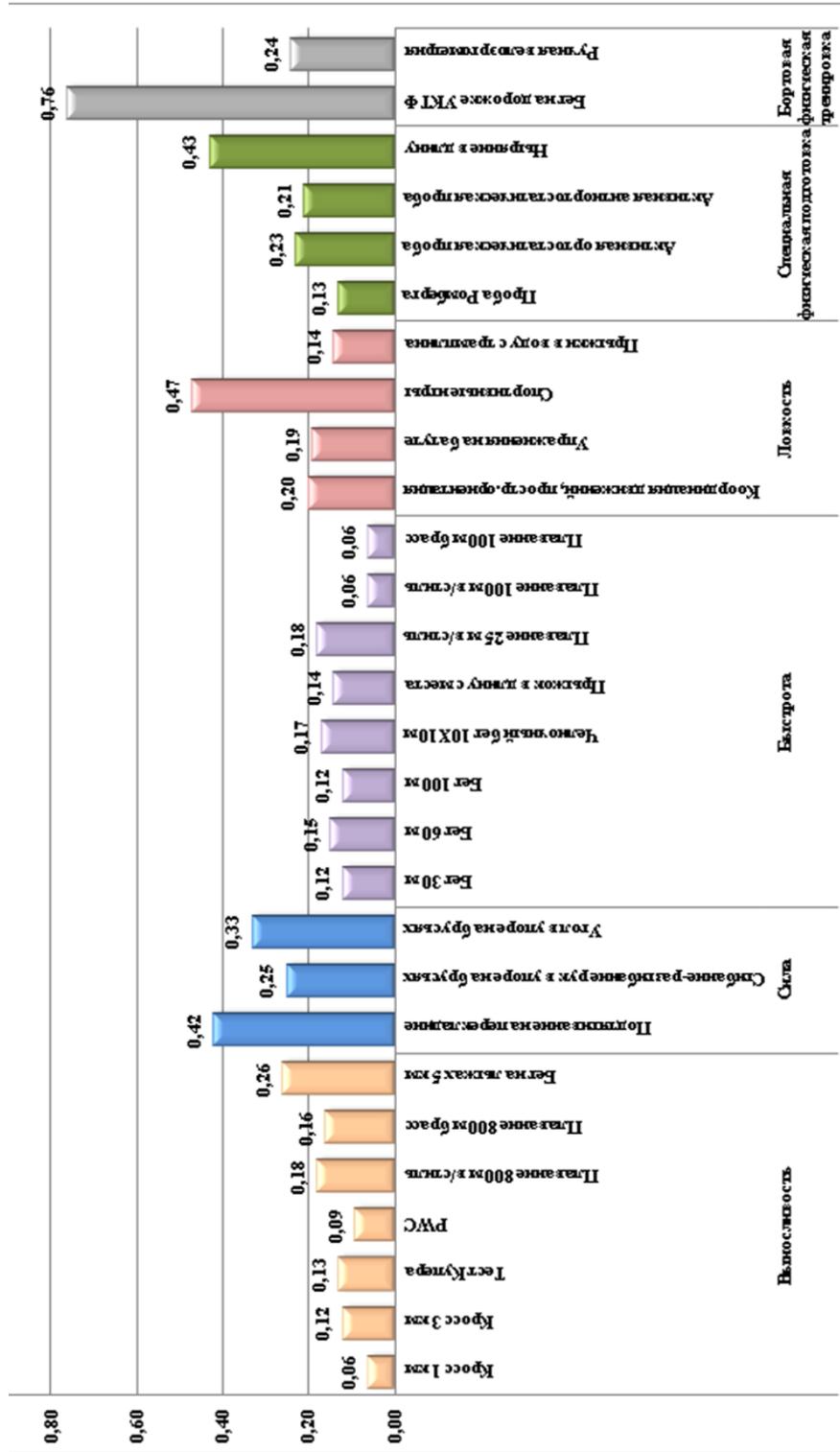
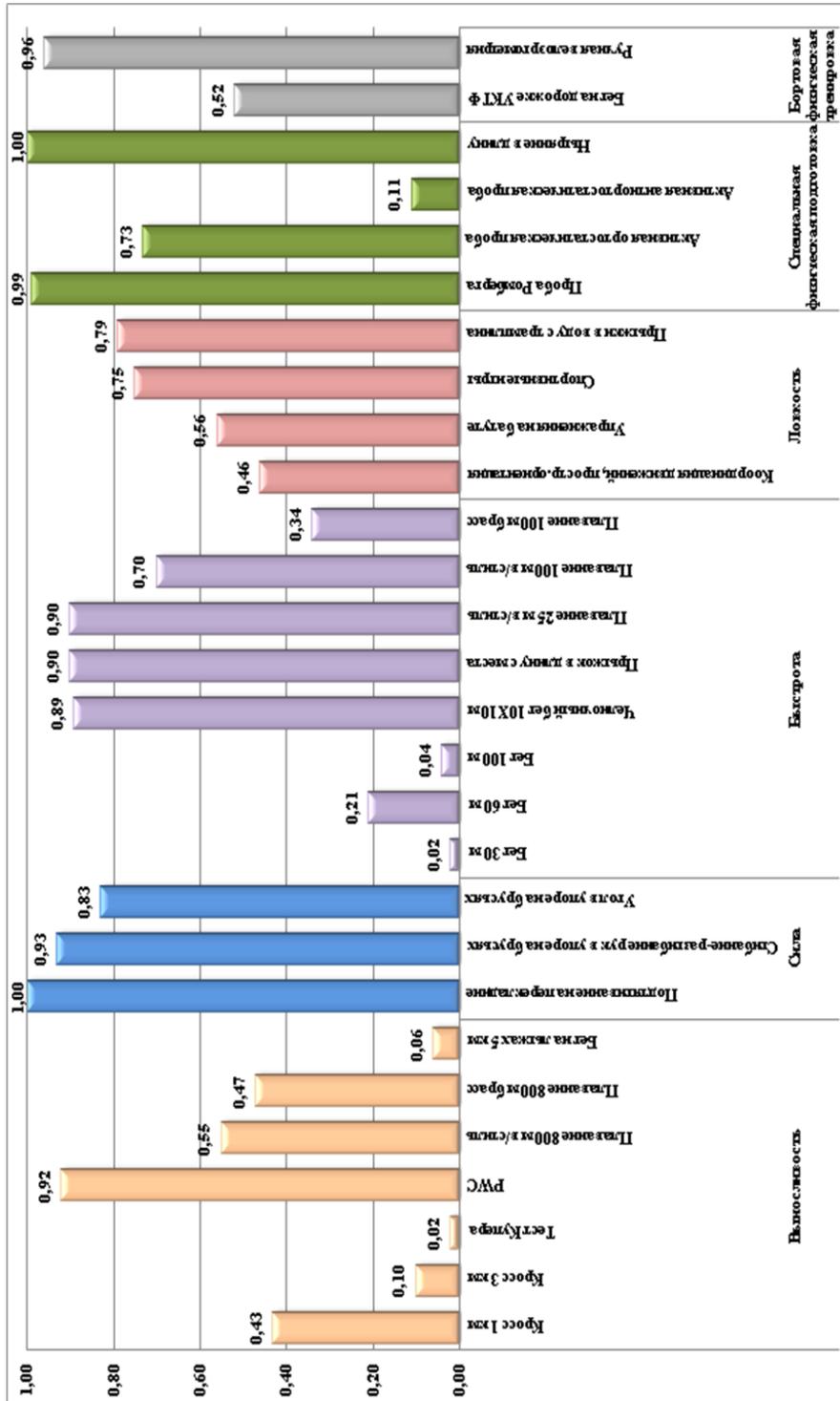


Рис. 1. Относительная важность нормативных физических упражнений



В качестве показателя выполнимости нормативов ФПК использовался средний результат выполнения космонавтами отдельных нормативных упражнений, оцененный по 10-балльной шкале с точечным учетом их текущего возраста. Анализ расчетных значений данного показателя, представленных на рисунке 3, в частности, показал, что средние балльные оценки результатов выполнения космонавтами большинства (19 из 28) нормативных упражнений ФПК лежат в пределах от 6 до 8 баллов. Для 4 упражнений эти оценки превышают верхнюю границу указанного диапазона: бег на лыжах 5 км (9 баллов), плавание вольным стилем 800 м (8,5), плавание этим же стилем 25 м (8,4), ныряние в длину (8,05). Следовательно, можно утверждать, что нормативные требования по выполнению указанных упражнений применительно к современному контингенту космонавтов являются несколько заниженными. Наоборот, требования по выполнению других 5 упражнений представляются несколько завышенными, так как средние балльные оценки результатов их выполнения действующими космонавтами оказались ниже 6 баллов: кросс 3 км (3,7 балла), активная антиортоstaticеская проба (4,4), кросс 1 км (5,3), челночный бег (5,4), активная ортоstaticеская проба (5,6).

Поскольку такое положение в целом обеспечивало соответствие средних уровней физической подготовленности космонавтов предъявляемым требованиям [2], то корректировка нормативов ФПК осуществлена исходя из условия ограничения относительно высоких и относительно низких средних балльных оценок выполнения всех нормативных физических упражнений все тем же выявленным диапазоном – от 6 до 8 баллов. То есть, для первых 4 указанных выше упражнений нормативы повышены таким образом, чтобы средняя оценка результатов их выполнения точно соответствовала 8 баллам, а для 5 вторых понижены так, чтобы средняя оценка результатов их выполнения точно соответствовала 6 баллам. Важно отметить, что указанная корректировка нормативов ФПК была произведена исключительно расчетным способом с использованием соответствующих формул методики [1]. В итоге, например, прежние нормативы ФПК в плавании 25 м вольным стилем повышены на 0,4 с, а в кроссе 3 км – понижены на 30 с.

Оценка адекватности нормативов ФПК текущему возрасту космонавтов осуществлялась в рамках исследований возрастной динамики их физических возможностей по выполнению данных нормативов [3]. Для проведения оценки использовались аппроксимационные методы обработки статистической выборки результатов с их графическим отображением.

Для примера, на рисунке 4 представлены результаты линейной аппроксимации множества результатов выполнения нормативного упражнения «подтягивание на перекладине» космонавтами разного возраста, в том числе, уравнение зависимости среднего результата от возраста космонавтов. На этом рисунке видно, что при существенном разбросе индивидуальных результатов выполнения космонавтами данного силового упражнения, средний результат по мере увеличения их возраста снижается со скоростью 0,17 раза/год (величина множителя в уравнении регрессии). То есть, в реальности скорость ухудшения среднего результата выполнения космонавтами данного упражнения по мере увеличения их возраста оказалась почти в 2 раза меньше скорости, заданной в нормативах ФПК (0,3 раза/год).

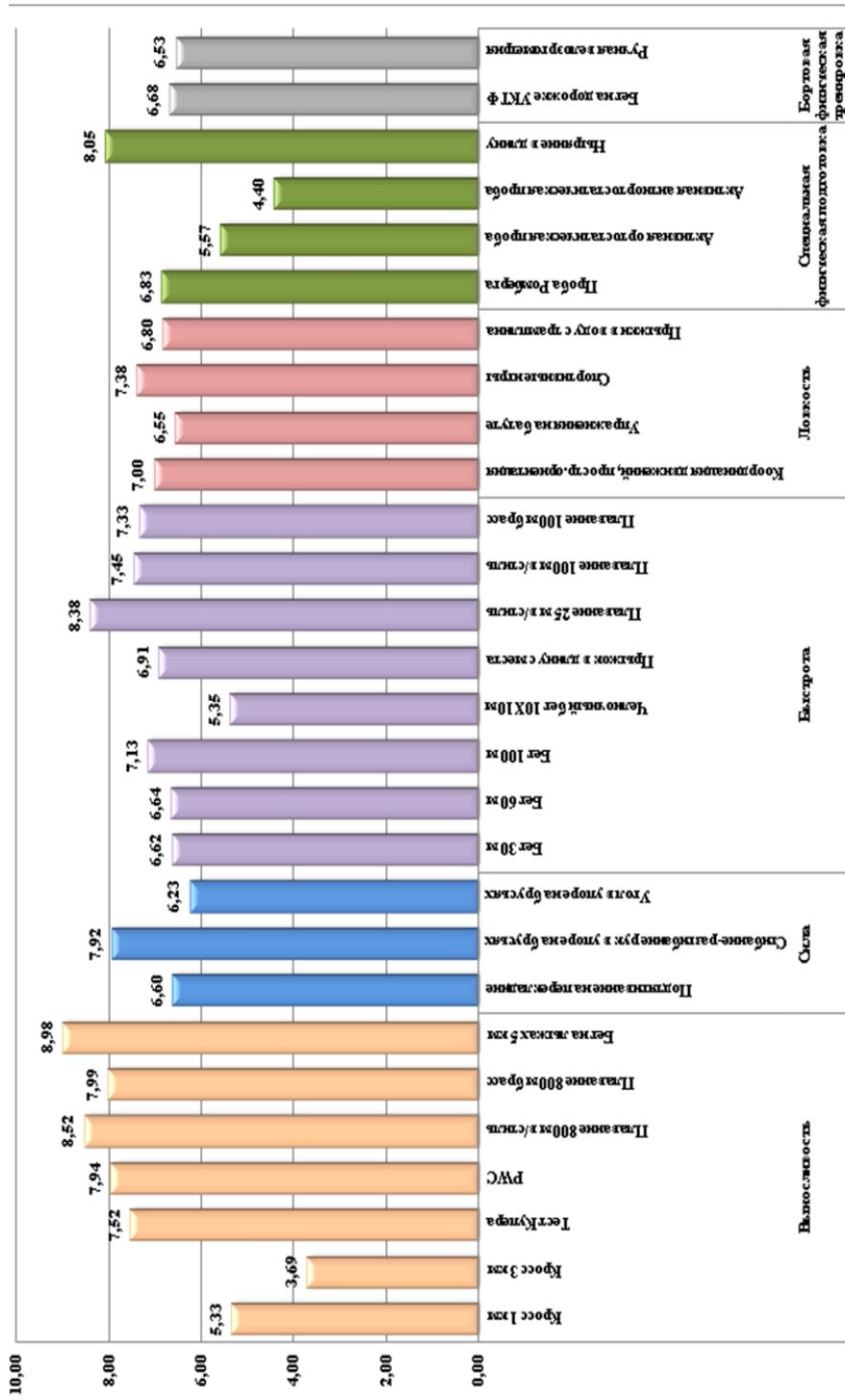




Рис. 4. Результаты выполнения космонавтами разного возраста нормативного физического упражнения «подтягивание на перекладине», линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

Проведенные исследования позволили выявить реальные скорости изменения с возрастом средних результатов выполнения нормативных упражнений ФПК космонавтами современного контингента и сделать принципиальный вывод о том, что их физические возможности по выполнению этих упражнений в среднем снижаются с возрастом определенно медленнее, чем это предполагалось при формировании нормативов ФПК. Так, например, установлено, что реальная скорость ухудшения среднего результата ныряния в длину меньше заданной в нормативах ФПК примерно в 1,1 раза; плавания 800 м вольным стилем – в 1,4; челночного бега 10 x 10 м – в 1,6; прыжка в длину с места – в 2 раза и т.д.

Полученные значения реальных скоростей изменения с возрастом средних результатов выполнения нормативных упражнений ныне действующими космонавтами позволили расчетным способом скорректировать нормативы ФПК для космонавтов средней и старшей возрастных групп. Данная процедура, в свою очередь, позволила завершить корректировку имевшихся нормативов ФПК и перейти к разработке новых нормативов, потребность в которых обусловлена современной практикой полетов на МКС.

### Разработка новых нормативов ФПК

1. Выше уже отмечалось, что в нормативах ФПК не представлены упражнения для оценки гибкости космонавтов, хотя общеизвестно, что гибкость необходимо развивать для обеспечения высокого уровня других физических качеств не только в обычных жизненных ситуациях, но и в профессиональной деятельности экстремального характера [4]. Последнее положение в полной мере актуально и применительно к космонавтам – представителям, пожалуй, самой экстремальной профессии. Более того, для космонавтов гибкость очень важна и в силу особой специфики условий их профессиональной деятельности в полете: предельно малые внутренние объемы пилотируемых космических аппаратов (ПКА), необходимость переодевания скафандров и гидрокостюмов в крайней тесноте транспортных ПКА, преодоления узких переходных и стыковочных люков на МКС и т.д.

Исходя из этого, в процессе ФПК развитию и поддержанию гибкости космонавтов уделяется должное внимание. Перед тренировочными занятиями и в ходе этих занятий, а также после их завершения космонавты выполняют разнообразные многократно повторяемые упражнения на растягивание, являющиеся основным средством для совершенствования гибкости.

В обстоятельствах, когда в ФПК на практике осуществляется планомерное и целенаправленное совершенствование гибкости космонавтов, тем более неприемлемым выглядит тот факт, что она, согласно нормативам ФПК, не входит в число подлежащих оценке профессионально важных физических качеств космонавтов и, соответственно, не учитывается при определении общего уровня их физической подготовленности.

В целях преодоления этой негативной ситуации и дополнительной актуализации гибкости как одного из важнейших физических качеств космонавтов впредь это качество включено в состав оцениваемых, а нормативные физические упражнения на гибкость введены в состав нормативов ФПК. В качестве таковых назначены следующие упражнения: наклон вперед вниз из положения стоя на скамейке (результат оценивается по предельному положению пальцев рук относительно скамьи в сантиметрах), продольный шпагат, поперечный шпагат и прогиб наружу в среднем отделе позвоночника с опорой на руки и ноги – так называемый «мостик» (последние три из указанных нормативных упражнений на гибкость оцениваются тренерами-преподавателями субъективно по 10-балльной шкале).

2. Переходя к вопросу включения в состав нормативов ФПК новых упражнений на силу, важно отметить, что многие российские космонавты, имеющие опыт выхода в открытый космос на МКС, отмечали необходимость обладания крайне важной для внекорабельной деятельности (ВКД) силой хвата и притяга рук. На то, что ВКД предъявляет повышенные требования к силе повторяющихся захватов руками и работе предплечий, прямо указывали и американские астронавты.

Однако в настоящее время в российском сегменте МКС отсутствуют эффективные бортовые тренажеры для целенаправленной тренировки кистей рук и предплечий перед ВКД. Имеющийся велотренажер ВБ-3М в полной мере такую тренировку не обеспечивает, что неоднократно отмечали российские космонавты. Так, например, космонавт Д. Кондратьев, дважды выполнивший в полете многочасовые наружные работы на МКС, в своем послеполетном отчете по этому поводу указал следующее: «...выполнение рекомендаций по использованию велотренажера ВБ-3М для подготовки к ВКД вызывало излишнее утомление. В ходе этой подготовки, как выяснилось позднее на практике при выходах в открытый космос, не тренировались те группы мышц и не вырабатывались те динамические стереотипы, которые в реальных условиях ВКД были чрезвычайно востребованы». Отчасти поэтому тренировку рук для ВКД российские космонавты вынуждены осуществлять преимущественно с помощью американского бортового силового тренажера ARED, а также кистевых эспандеров.

В связи с указанными обстоятельствами в состав нормативных упражнений ФПК на силу включены новые упражнения для оценки силы хвата и притяга рук космонавтов, а именно, вис на перекладине хватом сверху и лазание по канату без помощи ног. В первом из указанных упражнений оценивается время вися, во втором – преодоленное вверх по канату расстояние. Данные упражнения призваны акцентировать внимание космонавтов на заблаговременной и целенаправленной физической подготовке к ВКД.

3. Для повышения объективности оценки ловкости космонавтов нормативные упражнения ФПК на это физическое качество дополнены комплексным упражнением, результат выполнения которого оценивается объективно (инструментальным способом). Содержание этого упражнения составляют старт, гладкий бег 10 м, 2 кувырка через голову вперед на матах, поворот в прыжке вверх на 180°, 2 кувырка вперед в обратном направлении, гладкий бег 10 м, финиш (регистрируется и оценивается время выполнения данного упражнения).

Кроме того, строго регламентировано содержание нормативных упражнений на ловкость, как и прежде оцениваемых субъективно по 10-балльной шкале:

– координация движений и пространственная ориентация оценивается исходя из качества выполнения прыжков в воду с трамплина высотой 1 м – сальто вперед и сальто назад;

– упражнения на батуте оцениваются исходя из качества прыжков с поворотом на 90°, 180° и 360° (высота прыжков не менее 60 см) и прыжка в сед с поворотом на 180°;

– прыжки в воду оцениваются исходя из качества прыжка-спада с трамплина высотой 3 м и прыжков с 5-метровой вышки ногами вниз, лицом вперед, руки вверх и спиной вперед, руки вдоль туловища.

4. В целях развития и оценки устойчивости космонавтов к перегрузкам, имеющим место при старте и, особенно, при посадке транспортных ПКА после посещения МКС, в состав нормативных упражнений для оценки их СФП введено новое (вернее, неоправданно утраченное) упражнение, а именно, обороты на стационарном гимнастическом колесе (оценивается время выполнения 10 оборотов).

5. Предваряя описание новых нормативных упражнений для оценки БФТ космонавтов, необходимо отметить, что ЦПК не располагает тренажным макетом американского бортового силового тренажера ARED, который активно используется российскими космонавтами для силовых тренировок на МКС. Поэтому перед полетом наши космонавты осваивают этот тренажер непосредственно в центре NASA, при этом особое внимание уделяется разучиванию комплекса упражнений на тренажере ARED и обеспечению безопасности тренировок. Поскольку специалисты ЦПК не участвуют в этом процессе, то вне их рассмотрения остаются вопросы постановки и контроля техники выполнения космонавтами силовых упражнений на данном тренажере, которая, как известно, в решающей мере определяет эффективность и безопасность силовых тренировок.

Чтобы в какой-то мере компенсировать данный пробел, в практику ФПК включены силовые упражнения со свободными весами, имитирующие работу на тренажере ARED. Соответственно, с целью контроля правильности и безопасности техники выполнения этих упражнений, наиболее представительные из них введены в состав нормативных упражнений ФПК для оценки БФТ космонавтов, а именно, тяга штанги от пола (вес 40 кг, 10 повторений); жим этой штанги лежа на скамье; приседания со штангой на груди (оценка выставляется за технику выполнения указанных упражнений непосредственно тренерами-преподавателями по 10-балльной шкале).

Обобщая все изложенные выше изменения в нормативах ФПК, следует указать, что поскольку эти изменения оказались весьма значительными, то впредь правильно говорить не о корректировке прежних, а о разработке новых нормативов ФПК.

Действительно, состав и содержание нормативов ФПК кардинально изменились, в том числе:

– ввиду крайне малой востребованности из их прежнего состава исключено 4 упражнения (тест Купера, бег 30 м, бег 100 м, активная антиортостатическая проба);

– исходя из практических потребностей работы на МКС, в их состав дополнительно включено 9 новых нормативных упражнений (вис на перекладине хватом сверху, лазание по канату без помощи ног, комплексное упражнение на ловкость, обороты на стационарном гимнастическом колесе, комплекс силовых упражнений со штангой, 4 упражнения на гибкость);

– расчетным способом повышены нормативные требования по выполнению 5 упражнений (бег на лыжах 5 км, плавание вольным стилем 800 м, 100 м и 25 м, ныряние в длину) и снижены для 4 упражнений (кросс 3 км, кросс 1 км, челночный бег 10 x 10 м, активная ортостатическая проба);

– возрастные нормативы ФПК для средней и старшей возрастных групп космонавтов пересчитаны исходя из реальных, а не предполагавшихся ранее скоростей снижения средних результатов их выполнения с возрастом космонавтов и т.п.

Новые нормативы ФПК, в которых реализованы указанные выше изменения, как и ранее, оформлены в традиционном табличном виде [5], утверждены руководством ЦПК и введены в действие с 1 января 2016 года.

Данное обстоятельство, в свою очередь, предопределило разработку и введение в действие новой методики оценки физической подготовленности космонавтов [6].

### **Разработка новой методики оценки физической подготовленности космонавтов**

При разработке указанной методики был сохранен основной принцип построения ее прежней версии [1] – двухэтапная аддитивная «свертка» множества разнородных количественных результатов выполнения космонавтами нормативов ФПК, предварительно пересчитанных в оценки по единой 10-балльной шкале с точным учетом текущего возраста тестируемых.

Поэтому разработка расчетной части новой методики включала, прежде всего, представление новых табличных нормативов ФПК в аналитическом виде, а именно, в виде формул, обеспечивающих пересчет результатов выполнения космонавтами нормативных упражнений в балльные оценки. Для получения указанных формул, как и прежде, применительно к каждому нормативному упражнению решалось стандартное уравнение прямой, проходящей через две точки с взятыми из табличных нормативов ФПК координатами. Так, например, применительно к нормативному упражнению «сгибание–разгибание рук в упоре на брусьях» полученная формула имеет следующий вид:

$$N = n - 9 + 0,3 \times (T - 30), \{ \text{если } N < 0, \text{ то } N = 0; \text{ если } N > 10, \text{ то } N = 10 \},$$

где

$N$  – оценка результата выполнения упражнения по 10-балльной шкале;

$n$  – результат выполнения упражнения (количество выполненных сгибаний–разгибаний);

$T$  – текущий возраст космонавта в десятичном исчислении.

Для определения коэффициентов относительной важности («веса») отдельных нормативных физических упражнений и физических качеств в их обновленных составах, как и ранее, использовался стандартный метод экспертных оценок Т. Саати. При этом качестве экспертов в первом случае выступали специалисты по ФПК (всего 8 человек, из них 6 – заслуженные тренеры страны), а во втором – 22 российских космонавта, имеющих опыт полетов на МКС.

Результаты экспертной оценки важности отдельных нормативных упражнений ФПК представлены на рисунках 5–11.

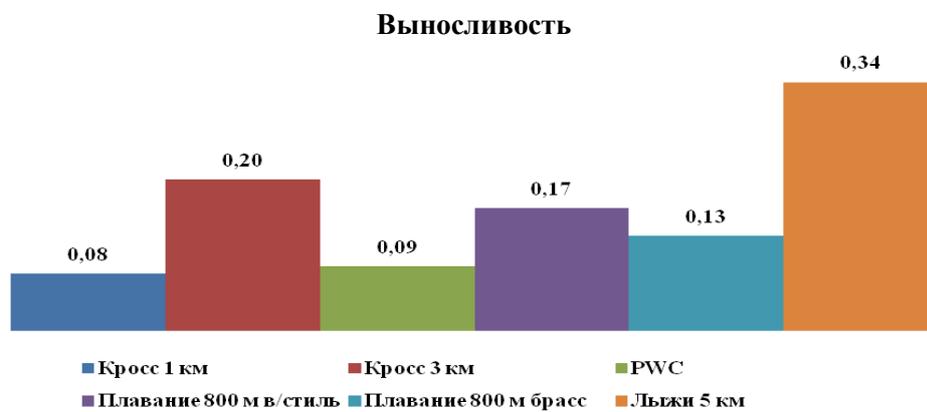


Рис. 5. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на выносливость

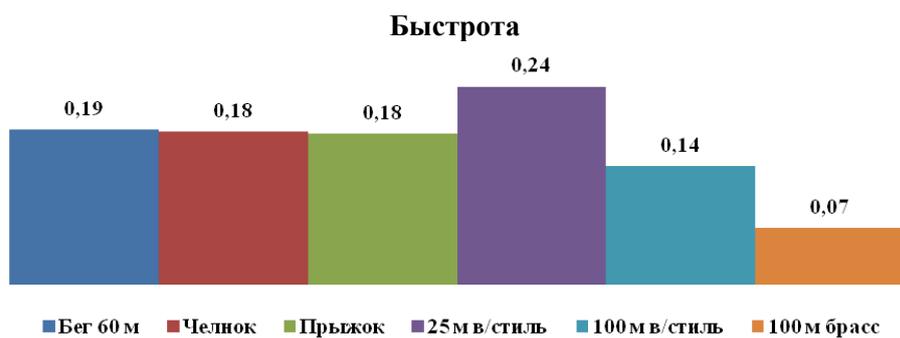


Рис. 6. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на быстроту

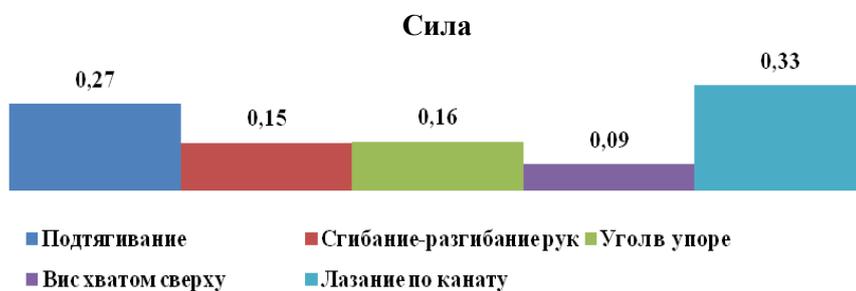


Рис. 7. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на силу

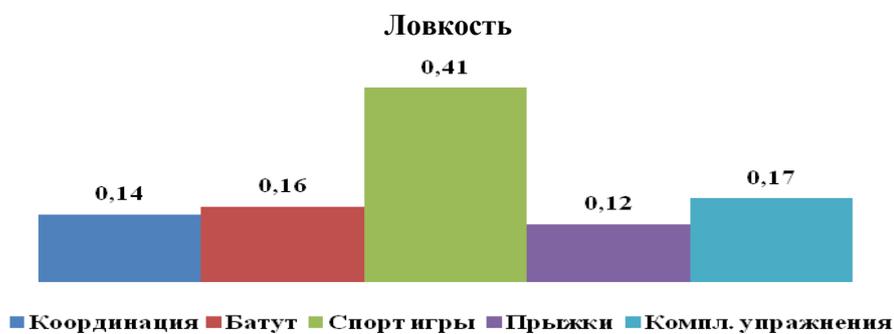


Рис. 8. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на ловкость

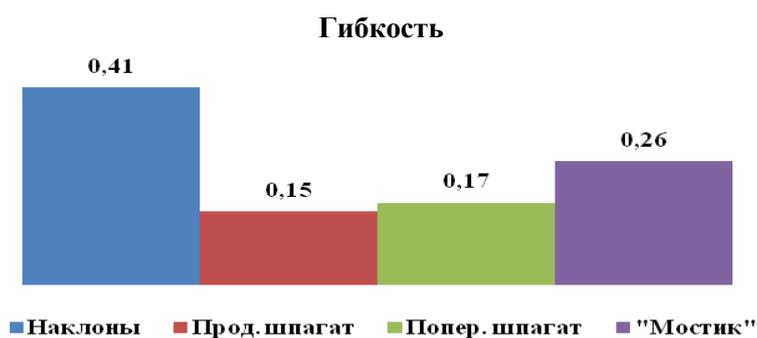


Рис. 9. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на гибкость

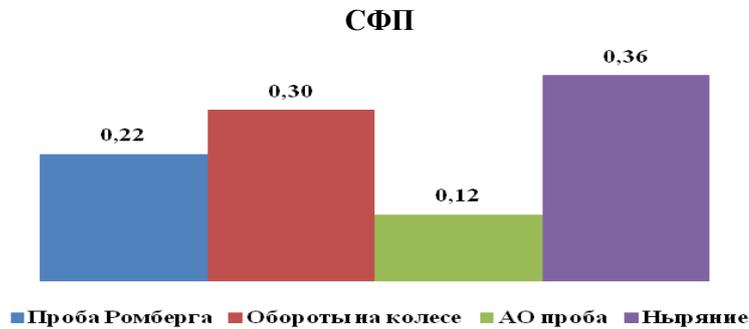


Рис. 10. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на специальную физическую подготовленность (СФП)

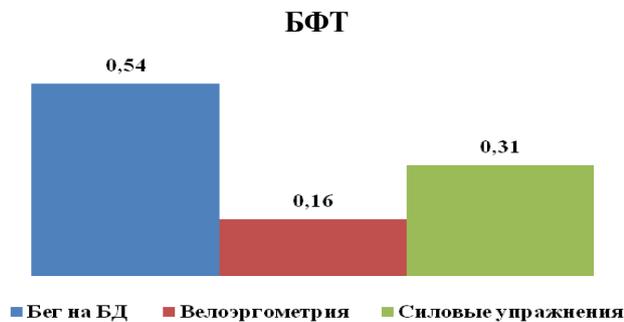


Рис. 11. Коэффициенты относительной важности нормативных физических упражнений на бортовую физическую тренированность (БФТ)

Из их анализа, в частности, следует, что наиболее представительными из нормативных упражнений для оценки отдельных профессионально важных физических качеств космонавтов, являются следующие:

- для оценки выносливости – бег на лыжах 5 км (коэффициент относительной важности 0,34) и кросс 3 км (0,30);
- силы – лазание по канату без помощи ног (0,33) и подтягивание на перекладине (0,27);
- быстроты – плавание 25 м вольным стилем (0,24);
- ловкости – спортивные игры (0,41);
- гибкости – наклоны вперед из положения стоя на скамейке (0,41) и «мостик» (0,26);
- СФП – ныряние в длину (0,36) и обороты на гимнастическом колесе (0,30);
- БФТ – бег на бегущей дорожке (0,54) и силовые упражнения со штангой (0,31).

Примечательно, что среди указанных самых представительных нормативных упражнений ФПК присутствуют сразу 5 новых упражнений, что лишним раз свидетельствует о правильности их подбора.

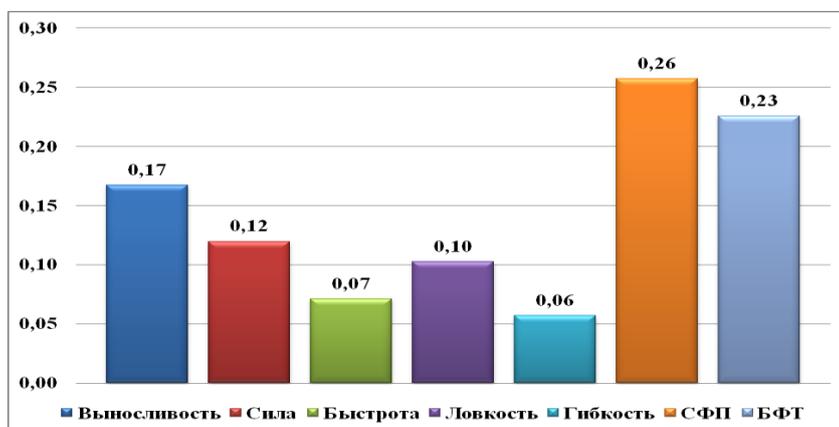


Рис. 12. Коэффициенты относительной важности профессионально важных физических качеств космонавтов

Результаты экспертной оценки важности отдельных физических качеств космонавтов представлены на рисунке 12.

Исходя из представленных на этом рисунке данных, можно, в частности, заключить следующее:

1) приоритетный ряд физических качеств космонавтов по важности выглядит следующим образом: СФП (коэффициент относительной важности 0,26), БФТ (0,23), выносливость (0,17), сила (0,12), ловкость (0,10), быстрота (0,07), гибкость (0,06);

2) важность всех пяти основных физических качеств космонавтов – выносливости, силы, быстроты, ловкости и гибкости (сумма соответствующих коэффициентов 0,51) практически равна важности двух их специальных физических качеств – СФП и БФТ (0,49).

Полученные данные подтверждают правомерность включения гибкости в состав оцениваемых физических качеств космонавтов, поскольку согласно обобщенному мнению опытных космонавтов, она по важности заняла вполне достойное место рядом с быстротой и ловкостью. Выявленное примерно равное соотношение суммарной важности основных и специальных физических качеств космонавтов подкрепляют устоявшееся мнение специалистов о целесообразности планирования общей и профессионально-прикладной ФПК на заключительных этапах подготовки к полетам на МКС в примерно равных объемах.

В целях повышения оперативности проведения расчетов, а также документирования их результатов в печатном и электронном виде, вновь разработанная методика реализована в виде прикладной программы расчетов в среде Excel. Анализ сходности результатов, рассчитанных с помощью новой компьютеризированной методики и ее прежней версии по итогам проверки физической подготовленности космонавтов набора 2012 года (5 мужчин и 1 женщина в возрасте примерно от 31 до 37 лет), свидетельствует о преемственности указанных версий и, соответственно, преемственности новых и прежних нормативов ФПК. Действительно, у трех космонавтов мужчин уровни физической подготовленности, рассчитанные по новой методике, оказались незначительно выше рассчитанных по

прежней методике (соответственно, на 0,08, 0,15 и 0,21 балла). У двух космонавтов, наоборот, несколько ниже (на 0,14 и 0,15 балла). А у единственного космонавта – представителя женского пола вновь рассчитанный уровень физической подготовленности превысил прежний достаточно существенно (на 0,71 балла), причем в основном, как и ожидалось, за счет высокой природной гибкости тестируемой.

### Заключение

В итоге, основываясь на представленных выше материалах исследований, можно утверждать, что проведенное совершенствование нормативно-методической базы оценки физической подготовленности космонавтов, а именно, разработка и внедрение новых, научно обоснованных нормативов ФПК и методики оценки результатов их выполнения, обеспечит существенное повышение качества физической подготовки и отбора космонавтов к полетам на МКС.

В первом приближении можно также утверждать, что современная система ФПК с ее обновленной нормативно-методической базой в перспективе сможет обеспечить надлежащую подготовку и отбор космонавтов к полетам на Луну, тем более, что условия этих полетов несколько мягче условий полета на МКС ввиду перехода от микро- к минигравитации (как известно, сила лунного притяжения составляет 1/6 часть земного).

Однако детальное рассмотрение вопросов адаптации существующей системы ФПК применительно к пилотируемым полетам в дальний космос (на Луну, Марс, астероиды) возможно только на основе опережающих исследований рисков, связанных с длительным пребыванием космонавтов в этих полетах в условиях низкой гравитации. В том числе, и рисков, связанных с возможным отсутствием на борту перспективных ПКА эффективных тренажеров для физических тренировок космонавтов, неправильным подбором нагрузок для удовлетворенияточной потребности космонавтов в физических упражнениях и т.п. [7].

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методика комплексной оценки физической подготовленности космонавта к полету, НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 2006. – 20 с.
- [2] Назин В.Г. Уровни физической подготовленности космонавтов различных категорий на различных этапах подготовки к полету // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(3). – 2012. – С. 107–113.
- [3] Назин В.Г. Изменение физических возможностей космонавтов с возрастом // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(19). – 2016. – С. 105–112.
- [4] Максименко А.М. Теория и методы физической культуры. – М.: «Физическая культура», 2005.
- [5] Нормативы физической подготовки космонавтов, НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 2015. – 4 с.
- [6] Методика комплексной оценки физической подготовленности космонавта к полету, НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 2015. – 20 с.
- [7] Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов / Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. // Медицина экстремальных ситуаций. – № 1(59). – 2017. – С. 43–64.

УДК 519.714

## ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ И ОПЫТА КОСМОНАВТА-ОПЕРАТОРА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

И.В. Прокопьев

Докт. техн. наук, ст.н.с. И.В. Прокопьев (ФИЦ ИУ РАН)

В статье рассматриваются вопросы разработки новых подходов к созданию человеко-машинных интерфейсов на базе мультиагентных методов, методов синтеза систем управления. Показаны подходы к алгоритмам обучения с подкреплением и подходы к созданию цифровых профилей операторов, при помощи которых можно решить задачу синтеза системы управления, основываясь не на критериях качества системы управления, а на опыте человека-оператора.

**Ключевые слова:** эргатическая система управления, искусственный интеллект, агент, стратегия, интерфейс.

### **Employment of Multi-Agent Methods and Cosmonaut-Operator Experience in Intelligent Interfaces. I.V. Prokopyev**

The paper deals with the development of new approaches to the creation of human-machine interfaces on the basis of multi-agent methods, methods of synthesis of control systems. The approaches to training algorithms with reinforcement and approaches to the creation of digital profiles of operators are shown, with the help of which it is possible to solve the problem of synthesizing a control system by basing not on the quality criteria of the control system, but on the experience of the human operator.

**Keywords:** ergatic control system, artificial intelligence, agent, strategy, interface.

Стремительное развитие автоматизированных систем (эргатических систем) характеризуется все более широким применением интеллектуальных технологий в процессах планирования, принятия решений, управления и обработки информации. Применения встроенного компьютерного интеллекта в системах управления привело к проблематике безопасности, эффективности и качества создаваемых и эксплуатируемых эргатических систем (ЭС) и обеспечения требуемого уровня искомых показателей качества и эффективности функционирования ЭС. Основной проблемой разработки современных информационных технологий на базе компьютерных вычислительных систем, встроенного компьютерного интеллекта является организация оптимального способа информационного взаимодействия (общения) между компьютером и человеком-оператором. Отсутствие решения этой проблемы сдерживает развитие многих прикладных систем в телекоммуникациях, робототехнике, космонавтике, в военной сфере и других областях, поскольку практически вся компьютерная техника и информационно-телекоммуникационные сервисы используют автоматизированные системы управления (АСУ), планирования, принятия решения и обработки информации, управляемые и контролируемые человеком-оператором.

Рассмотрим перспективную интеллектуальную технологию – обучение с подкреплением (*RL-обучения*), идея которого была почерпнута в смежной области психологии, является подразделом машинного обучения, изучающим, как агент должен действовать в окружении, чтобы максимизировать некоторый долгосрочный выигрыш. Алгоритмы с частичным обучением пытаются найти страте-

гию, приписывающую состояниям окружающей среды действия, которые должен предпринять агент в этих состояниях.

Окружение обычно формулируется как марковский процесс принятия решений (МППР) с конечным множеством состояний, и в этом смысле алгоритмы обучения с подкреплением тесно связаны с динамическим программированием. Вероятности выигрышей и перехода состояний в МППР обычно являются величинами случайными, но стационарными в рамках задачи.

При обучении с подкреплением, в отличие от обучения с учителем, не предоставляются верные пары «входные данные–ответ», а принятие субоптимальных решений (дающих локальный экстремум) не ограничивается явно. В RL-обучении модуль принятия решений, способный посредством взаимодействия с внешней средой и анализа оценочной функции (функции выигрыша) корректировать стратегию принятия решений, называется агентом. Задачей агента является нахождение в процессе обучения оптимальной (для марковского процесса) или приемлемой (если процесс не является марковским) стратегии принятия решений, называемой также политикой. Интеллектуальный агент должен уметь поддерживать несколько путей обучения и адаптировать накопленный опыт к изменениям в окружающей среде. В RL-обучении взаимодействие «агент–окружающая среда» моделируется посредством контроллера, связывающего ИС и среду. Процесс восприятия отображает состояния среды (проблемной области) во внутренние представления агента, а процесс воздействия отображает предлагаемые агентом воздействия в действия (преобразования) внешней среды. Формально простейшая модель обучения с подкреплением состоит из:

- 1) множества состояний окружения  $S$ ;
- 2) множества действий  $A$ ;
- 3) множества вещественнозначных скалярных «выигрышей»  $R$ .

В произвольный момент времени  $t$  агент характеризуется состоянием  $s_t \in S$  и множеством возможных действий  $A(s_t)$ . Выбирая действие  $a \in A(s_t)$ , он переходит в состояние  $s_{t+1}$  и получает выигрыш  $r_t$ . Основываясь на таком взаимодействии с окружающей средой, агент, обучающийся с подкреплением, должен выработать стратегию  $\pi: S \rightarrow A$ , которая максимизирует величину  $R = r_0 + r_1 + \dots + r_n$  в случае МППР, имеющего терминальное состояние, или величину

$$R = \sum_t \gamma^t r_t, \quad (1)$$

для МППР без терминальных состояний (где  $0 \leq \gamma \leq 1$  – дисконтирующий множитель для «предстоящего выигрыша»).

Данный подход применим в прикладных задачах, когда завершающий шаг можно определить естественным образом, исходя из природы решаемой задачи, то есть когда взаимодействие «агент–окружающая среда» можно разбить на последовательности, называемые эпизодами.

Обучение с подкреплением особенно хорошо подходит для решения задач, связанных с выбором между долгосрочной и краткосрочной выгодой. Оно успешно применялось в различных областях, таких как робототехника, управление лифтами, телекоммуникации, шахки и нарды.

Теперь, когда была определена функция выигрыша, нужно определить алгоритм, который будет использоваться для нахождения стратегии (политики), обеспечивающей наилучший результат.

Наивный подход к решению этой задачи подразумевает следующие шаги:

- опробовать все возможные стратегии;
- выбрать стратегию с наибольшим ожидаемым выигрышем.

Для получения большего вознаграждения агент должен предпочитать действия, ранее уже применявшиеся и показавшие свою эффективность с точки зрения получения поощрения. С другой стороны, чтобы обнаруживать такие действия, агенту необходимо пробовать выполнять новые действия. Таким образом, агент должен как применять уже известные действия, так и изучать новые для возможности иметь наилучший выбор в будущем. Важной характеристикой RL-обучения является получение отложенных вознаграждений, которые имеют место в сложных динамических системах. Это означает, что действие агента может повлиять не только на текущую награду, но и на все последующие.

Первая проблема такого подхода заключается в том, что количество доступных стратегий может быть очень велико или же бесконечно. Вторая проблема возникает, если выигрыши стохастические – чтобы точно оценить выигрыш от каждой стратегии потребуется многократно применить каждую из них. Этих проблем можно избежать, если допустить некоторую структуризацию и, возможно, позволить результатам, полученным от пробы одной стратегии, влиять на оценку для другой. Двумя основными подходами для реализации этих идей являются оценка функций полезности и прямая оптимизация стратегий.

Подход с использованием функции полезности использует множество оценок ожидаемого выигрыша только для одной стратегии  $\pi$  (либо текущей, либо оптимальной). При этом пытаются оценить либо ожидаемый выигрыш, начиная с состояния  $s$ , при дальнейшем следовании стратегии  $\pi$ ,

$$V(s) = E[R | s, \pi], \quad (2)$$

либо ожидаемый выигрыш, при принятии решения  $a$  в состоянии  $s$  и дальнейшем соблюдении  $\pi$ ,

$$Q(s, a) = E[R | s, \pi, a]. \quad (3)$$

Если для выбора оптимальной стратегии используется функция полезности  $Q$ , то оптимальные действия всегда можно выбрать как действия, максимизирующие полезность. Если же мы пользуемся функцией  $V$ , необходимо либо иметь модель окружения в виде вероятностей  $P(s'|s, a)$ , где  $s'$  – предыдущее состояние, что позволяет построить функцию полезности вида

$$Q(s, a) = \sum_{s'} V(s') P(s' | s, a), \quad (4)$$

либо применить так называемый метод «исполнитель–критик», в котором модель делится на две части: критик, оценивающий полезность состояния  $V$ , и исполнитель, выбирающий подходящее действие в каждом состоянии.

Имея фиксированную стратегию  $\pi$ , оценить  $E[R | \cdot]$  при  $\gamma = 0$  можно, просто усреднив непосредственные выигрыши. Наиболее очевидный способ

оценки при  $\gamma > 0$  – усреднить суммарный выигрыш после каждого состояния. Однако для этого требуется, чтобы МППР достиг терминального состояния (завершился). Поэтому построение искомой оценки при  $\gamma > 0$  неочевидно. Однако, можно заметить, что  $R$  образуют рекурсивное уравнение Беллмана:

$$E[R | s_t] = r_t + \gamma E[R | s_{t+1}]. \quad (5)$$

Подставляя имеющиеся оценки,  $V$ , и применяя метод градиентного спуска с квадратичной функцией ошибок, мы приходим к алгоритму обучения с временными воздействиями или темпоральных различий (temporal-difference, TD) [1] – это метод машинного обучения на основе прогнозирования.

Одним из наиболее перспективных в плане использования в интеллектуальных системах реального времени ИС РВ, относящихся к классу динамических интеллектуальных систем [1, 2, 3], является обучение на основе темпоральных различий, когда процесс обучения основывается непосредственно на получаемом опыте без предварительных знаний о модели поведения окружающей среды. Ключевой особенностью TD-алгоритмов является обучение на основе различий во временных последовательных предсказаниях. TD-методы, предназначенные для многомерных временных рядов, способны обновлять расчетные оценки, основанные в том числе и на других полученных оценках, не дожидаясь окончательного результата, то есть являются самонастраиваемыми. Последнее свойство весьма важно для ИС семиотического типа, способных адаптироваться (подстраиваться) к изменениям в управляемом объекте и/или окружающей среде [4].

В простейшем случае и состояния, и действия дискретны, и можно прибегать к табличным оценкам для каждого состояния. Другие похожие методы: адаптивный эвристический критик (Adaptive Heuristic Critic, АНС), SARSA и Q-обучение (Q-learning). Все вышеупомянутые используют различные методы приближения, но в некоторых случаях сходимость не гарантируется. Для уточнения оценок используется метод градиентного спуска или метод наименьших квадратов в случае линейных приближений.

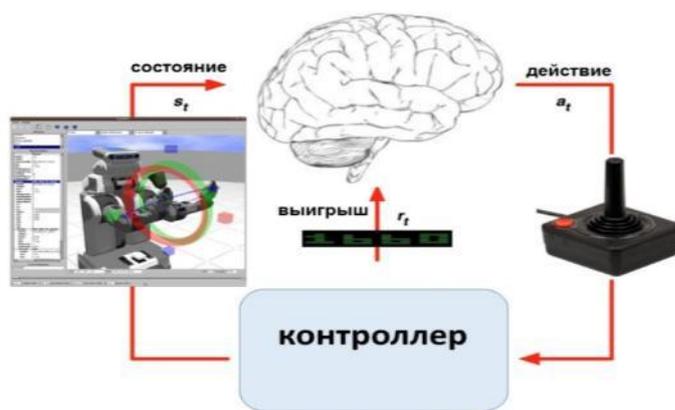
Альтернативный метод поиска оптимальной стратегии – искать непосредственно в пространстве стратегий. Такие методы определяют стратегию как параметрическую функцию  $\pi(s, \theta)$  с параметром  $\theta$ . Для настройки параметров применяются градиентные методы. Алгоритмы, работающие напрямую с пространством стратегий, привлекли значительное внимание в последние 5 лет и в данный момент достигли достаточно зрелой стадии, но до сих пор остаются активным полем для исследований.

В последнее время обучение с подкреплением использовалось в психологии для изучения процессов человеческого обучения и деятельности. В частности, исследовались когнитивные модели, симулирующие человеческое поведение в процессе решения задач и (или) обретения навыков [5, 6]. Обучение с подкреплением использовалось, чтобы предложить модель человеческой системы обработки ошибок. Многоагентное или распределенное обучение с подкреплением являются одним из направлений исследований в этой области.

В настоящее время перспективным направлением являются разработки интеллектуальных систем управления с предсказанием на базе моделирования роботов и среды. Хорошо спроектированный имитатор позволяет быстро тестировать

алгоритмы, создавать программу управления и выполнять регрессионное тестирование с использованием реалистичных сценариев.

Математическая, физическая модель симулятора (рисунок) позволяет создать виртуальное пространство, в которое можно добавить виртуальные статические и динамические объекты и указать законы взаимодействия тел и среды. Расчет взаимодействия тел выполняется в математической модели. Вычисляя взаимодействие тел между собой и со средой, физический движок приближает физическую модель получаемой системы к реальной и передает уточненные геометрические данные графическому интерфейсу. Численное интегрирование математической модели может быть распараллелено, что даст достаточную скорость для расчета оптимальных траекторий и утверждения этих траекторий «супервизором» (оператором) средствами графического или многомодального интерфейса. При таком подходе реальный и его аналог виртуальный робот, выполняя одну и ту же операцию, приближает физическую модель получаемой системы к реальной, а при пороговом расхождении корректируется.



Рисунок

В современном подходе к СЧМ у космонавта-оператора в процессе обучения формируется внутренний психофизиологический интерфейс, который характеризует состояние психики и организма в целом, готовность оператора к выполнению миссии. Снимая телеметрию управления РТС при дистанционном управлении (действие  $a_t$ ) оператором-экспертом, а также получив реакцию системы (состояние  $s_t$ ) в ответ на эти управляющие воздействия, можно получить цифровой профиль оператора с помощью обучения с учителем, сетевого оператора или обучения с подкреплением, основываясь на стратегии  $\pi$  оператора-эксперта. Используя цифровые профили экспертов-операторов, можно решить задачу синтеза системы управления, основываясь не только на критериях качества управления, но и на основе опыта оператора-эксперта.

Соединение многоагентных или распределенных методов обучения с подкреплением с вычислительными методами синтеза интеллектуальных, логико-функциональных систем управления дают новые возможности для синтеза перспективных интегрированных систем управления.

Методы символьной регрессии появились после создания в 1992 году генетического программирования [7], в котором был использован генетический алгоритм для автоматического поиска кода программы. Поскольку программный код способен закодировать любое математическое выражение, то методы символьной регрессии используют для поиска математического выражения в виде кода вложенных друг в друга композиций элементарных функций. Сейчас известны следующие методы символьной регрессии: метод грамматической эволюции [8], в котором код искомого выражения ищут в универсальной форме Бэкуса-Наура, метод аналитического программирования [9], в котором код математического выражения ищут в виде набора целых чисел, и метод сетевого оператора [10]. В настоящий период известно множество разновидностей методов символьной регрессии: индуктивное генетическое программирование, Декартово генетическое программирование, вариационные генетическое и аналитическое программирование, логический и многослойный сетевые операторы и др.

Последние достижения в области вычислительных алгоритмов, в частности, метода сетевого оператора, позволяют сконструировать процедуры автоматического синтеза систем управления и идентификации объекта управления [10]. Данные методы позволяют находить структуру и параметры оптимальной системы управления для объектов управления любой сложности в виде кода формальной или программной записи. Методы используют для поиска оптимального решения современные эволюционные алгоритмы. Данные методы позволяют также искать структуру систем управления с включенными в нее операторами условия, что является очень важным при синтезе интеллектуальных систем управления, функционирующих в агрессивных средах с возможностью получить повреждения [11].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением; [пер. с англ.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 400 с.
- [2] Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Технология построения динамических интеллектуальных систем: Уч. пособие. – М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2011. – 240 с.
- [3] Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
- [4] Shani G., Brafman R.I., Shimony S.E. Model-Based Online Learning of POMDPs. Proc. Europ. Conf. on Machine Learning, 2005, P. 353–364.
- [5] Gray, Wayne D.; Chris R. Sims; Wai-Tat Fu; Michael J. Schoelles The Soft Constraints Hypothesis: A Rational Analysis Approach to Resource Allocation for Interactive Behavior // Psychological Review. – 2006. – Т. 113, No. 3. – P. 461–482.
- [6] Fu, Wai-Tat; John R. Anderson From Recurrent Choice to Skill Learning: A Reinforcement-Learning Model // Journal of Experimental Psychology: General. – 2006. – Т. 135, No. 2. – P. 184–206.
- [7] Koza J.R., Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press. 1992, 819 p.
- [8] O'Neil, M. Automatic Programming in an Arbitrary Language: Evolving Programs in Grammatical Evolution: PhD Thesis. University of Limerick, 2001. – 163 p.
- [9] Zelinka I: Analytic Programming by Means of Soma Algorithm. Mendel 02 In: Proc. 8<sup>th</sup> International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic. 2002, P. 93.
- [10] Diveev A.I. and Sofronova E.A. Application of Network Operator Method for Synthesis of Optimal and Parameters of Automatic Control System Proceedings of 17-th IFAC World Congress, (Seoul, 2008, 05.07. –12.07.2008). – P. 6106–6113.
- [11] Прокопьев И.В. Синтез живучих робототехнических систем управления. Научный Вестник МГТУ ГА. – Т. 19, № 5. – 2016. – С. 88–97.

УДК 62.50-519.6

**МЕТОД СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПУСКОМ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ**

А.И. Дивеев, И.В. Прокопьев

Докт. техн. наук, профессор А.И. Дивеев; докт. техн. наук, ст.н.с. И.В. Прокопьев  
(ФИЦ ИУ РАН)

Рассматривается задача синтеза робастной системы управления\*, нечувствительной к неопределенности математической модели объекта. Для решения задачи используется численный метод сетевого оператора, который позволяет находить структуру и параметры многомерной функции, описывающей зависимость управления от координат пространства состояний. Для обеспечения свойств робастности функционал качества исходной задачи заменен на сумму значений функционалов для множества математических моделей объектов управления, получаемых вследствие неопределенности исходной модели. Сформулированы и обоснованы условия изменения корректной замены функционала качества. Представлено описание метода сетевого оператора и приведен пример синтеза робастной системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны.

**Ключевые слова:** робастная система управления, метод сетевого оператора, генетический алгоритм.

**Method of Synthesis of the Control System of Descending a Cosmic Vehicle to the Moon Surface. A.I. Diveev, I.V. Prokopyev**

The paper considers the task of synthesizing the robust control system that is insensitive to the uncertainty of the mathematical model of an object. To tackle the task, the numerical method of a network operator which allows finding the structure and parameters of a multidimensional function that describes the dependence of control on the coordinates of state space is used. For ensuring the robustness properties, the quality functional of an initial problem is replaced by the sum of values of functional for the set of mathematical models of control objects got due to the uncertainty of the initial model. Conditions for changing the correct substitution of the quality functional are formulated and substantiated. The method of network operator is described, and an example of the synthesis of the robust control system of descending a cosmic vehicle on the Moon surface is given.

**Keywords:** robust control system, network operator method, genetic algorithm.

**Введение**

Стремительное развитие автоматизированных систем (эргатических систем) характеризуется все более широким применением интеллектуальных технологий в процессах планирования, принятия решений, управления и обработки информации. Применение встроенного компьютерного интеллекта в системах управления привело к проблематике безопасности, эффективности и качества создаваемых и эксплуатируемых эргатических систем (ЭС) и обеспечения требуемого уровня искомых показателей качества и эффективности функционирования ЭС. Острой проблемой разработки современных информационных, управляющих и телекоммуникационных систем является неопределенность математической модели объекта.

\* – грант РФФИ № 14-08-00008-а.

Робастные системы управления разрабатывают в условиях, когда существует неопределенность в математической модели объекта. Основным инструментом для создания робастных систем является результат В.Л. Харитонова [1], который указал метод определения областей существования собственных значений при интервальной неопределенности коэффициентов характеристического полинома.

В настоящей работе предлагается другой подход к созданию робастных систем управления, основанный на использовании вычислительных методов. Суть предлагаемого подхода состоит в том, что математическая модель с неопределенностью заменяется множеством математических моделей, в которых неопределенная часть принимает конкретное значение. После замены математической модели с неопределенностью на множество математических моделей, не имеющих неопределенности, синтезируем робастную систему управления, которая сохраняет качество для всего множества математических моделей без неопределенности.

Для выполнения синтеза робастной системы управления функционал, определяющий качество управления, заменим суммой значений функционалов, вычисленных для каждой математической модели без неопределенности. С помощью вычислительного метода находим систему управления, обеспечивающую минимум нового функционала качества, который учитывает значения функционалов для каждой математической модели без неопределенности. В качестве вычислительного метода используем метод сетевого оператора [2–4], который позволяет с помощью структуры данных, сетевого оператора, представляющего математическое выражение в виде целочисленной матрицы, находить структуру и параметры многомерной синтезирующей функции, описывающей зависимость управления от координат пространства состояний. Использование вычислительного метода позволяет синтезировать нелинейную робастную систему управления для нелинейной математической модели объекта.

Основная проблема рассматриваемого подхода состоит в вычислительной сложности, которая растет из-за увеличения размерности пространства неопределенности. Метод сетевого оператора использует генетический алгоритм, который ищет решение на пространстве малых вариаций базисного решения. Базисное решение и ограничение количества малых вариаций определяет направление поиска решения в пространстве описаний синтезирующих функций.

## 1. Задача синтеза робастной системы управления

Задана математическая модель объекта управления

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}), \quad (1.1)$$

где  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ ,  $\mathbf{y} \in Y \subset \mathbb{R}^l$ ,  $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$ ,  $m \leq n$ ,  $Y$ ,  $U$  – ограниченные множества.

Задано ограниченное множество начальных значений

$$\mathbf{x}(0) \in X_0 \subseteq \mathbb{R}^n. \quad (1.2)$$

Заданы терминальные условия в виде целевого многообразия

$$\varphi_i(\mathbf{x}(t_f)) = 0, \quad i = \overline{1, r}, \quad (1.3)$$

где  $t_f$  – время окончания процесса управления.

Задан критерий качества

$$J = \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}, \mathbf{u}) dt \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

где  $f_0(\mathbf{x}, \mathbf{u})$  – ограниченная снизу функция  $\forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ ,  $\forall \mathbf{u} \in U$ .

Необходимо найти функцию

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x}), \quad (1.5)$$

где  $\forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$   $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x}) \in U$ .

Функция (1.5) должна удовлетворять условиям  $\forall \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0 \in X_0$  и  $\forall \mathbf{y} = \tilde{\mathbf{y}} \in Y$  решение

$$\dot{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{x}}(t) \quad (1.6)$$

системы дифференциальных уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{y}}, \tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0, \quad (1.7)$$

обеспечивает достижение цели управления (1.3)  $\varphi_i(\tilde{\mathbf{x}}(t_f)) = 0$ ,  $i = \overline{1, r}$ , и удовлетворяет минимуму критерия качества управления (1.4)

$$J(\tilde{\mathbf{x}}(\cdot), \tilde{\mathbf{u}}(\cdot)) = \min_{\mathbf{u}(\cdot)} \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}, \mathbf{u}) dt, \quad (1.8)$$

где  $\tilde{\mathbf{u}}(t) = \tilde{\mathbf{h}}(\tilde{\mathbf{x}}(t))$ ,  $t \in [0, t_f]$ .

Существование решения задачи (1.1)–(1.5) определяется возможностью решения задач оптимального управления. При выборе  $\forall \mathbf{x}^0 \in X_0$  и  $\forall \tilde{\mathbf{y}} \in Y$  мы получаем систему уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{y}}, \mathbf{u}), \quad \mathbf{x}(0) = \tilde{\mathbf{x}}^0. \quad (1.9)$$

Пусть для системы (1.9), терминальных условий (1.3) и функционала (1.4) потребуем нахождения управления как функции времени в классе кусочно-непрерывных функций

$$\mathbf{u}(\cdot) \in KC[0, t_f]. \quad (1.10)$$

В результате мы получаем задачу оптимального управления. Существование решения задачи оптимального управления (1.9), (1.3), (1.4), (1.10)  $\forall \tilde{\mathbf{x}}^0 \in X_0$  и  $\forall \tilde{\mathbf{y}} \in Y$  определяет существование решения задачи синтеза управления (1.1)–(1.5).

Пусть  $\tilde{\mathbf{u}}(\cdot)$  – решение задачи оптимального управления для определенных значений  $\tilde{\mathbf{x}}^0 \in X_0$ ,  $\tilde{\mathbf{y}} \in Y$ , и  $\tilde{\mathbf{x}}(\cdot)$  – частное решение системы уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{y}}, \tilde{\mathbf{u}}), \quad \mathbf{x}(0) = \tilde{\mathbf{x}}^0. \quad (1.11)$$

Решение (1.5) задачи синтеза управления должно удовлетворять условию

$$\tilde{\mathbf{u}}(t) = \tilde{\mathbf{h}}(\tilde{\mathbf{x}}(t)), \quad \forall t \in [0, t_f]. \quad (1.12)$$

## 2. Задача вычислительного синтеза системы управления

Пусть множества неопределенности  $\bar{Y}$  и начальных условий  $X_0$  состоят из конечного числа точек

$$\bar{Y} = \{\mathbf{y}^1, \mathbf{K}, \mathbf{y}^M\}, \quad (2.1)$$

$$\bar{X}_0 = \{\mathbf{x}^{0,1}, \mathbf{K}, \mathbf{x}^{0,N}\}. \quad (2.2)$$

Заменим функционал качества управления суммой

$$\bar{J} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left( \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}, \mathbf{u}) dt \right)_{\mathbf{y}^i, \mathbf{x}^{0,j}} \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

где индексы  $\mathbf{y}^i, \mathbf{x}^{0,j}$  указывают, что значения функционалов в скобках вычислены при значениях  $\mathbf{y} = \mathbf{y}^i \in \bar{Y}$ ,  $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^{0,j} \in \bar{X}_0$ .

Изменим исходную постановку задачи синтеза системы управления. Задана модель объекта управления

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}), \quad (2.4)$$

где  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ ,  $\mathbf{y} \in \bar{Y} \subset \mathbb{R}^l$ ,  $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$ ,  $m \leq n$ .

Задано множество начальных значений

$$\mathbf{x}(0) \in \bar{X}_0 \subseteq \mathbb{R}^n. \quad (2.5)$$

Заданы терминальные условия в виде целевого многообразия (1.3).

Задан функционал (2.3).

Необходимо найти управление в виде многомерной функции (1.5).

Задачу (2.1)–(2.5), (1.4), (1.5) называем вычислительной задачей синтеза системы управления. Переход от задачи (1.1)–(1.5) к задаче вычислительного синтеза (2.1)–(2.5), (1.4), (1.5) связан с неудобством вычисления оценки значения функционала (1.5), так как при его вычислении его значения необходимо задавать конкретные значения неопределенных параметров и начальных условий.

Возможность замены множеств неопределенных значений  $\bar{Y}$  и начальных условий  $X_0$  их дискретными аналогами  $\bar{Y}$ ,  $\bar{X}_0$  определяется свойством  $\varepsilon$ -оптимальности.

**Определение 2.1.** Задача (1.1)–(1.5) синтеза системы оптимального управления обладает свойством  $\varepsilon$ -оптимальности, если для любого заданного числа

$\varepsilon > 0$  всегда можно найти такое  $\delta(\varepsilon) > 0$ , что  $\forall \mathbf{y} \in Y$  и  $\forall \mathbf{x}^0 \in X_0$ ,  $\exists \bar{\mathbf{y}} \in Y$ ,  $\bar{\mathbf{y}} \neq \mathbf{y}$  и  $\exists \bar{\mathbf{x}}^0 \in X_0$ ,  $\bar{\mathbf{x}}^0 \neq \mathbf{x}^0$ , и найденное решение  $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})$  обеспечивает выполнение условий

$$|J(\mathbf{y}, \mathbf{x}^0) - J(\bar{\mathbf{y}}, \bar{\mathbf{x}}^0)| < \varepsilon, \quad (2.6)$$

$$\|\mathbf{x}^0 - \bar{\mathbf{x}}^0\| + \|\mathbf{y} - \bar{\mathbf{y}}\| < \delta(\varepsilon), \quad (2.7)$$

где  $J(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  – величина функционала (1.5) при значениях  $\mathbf{y} = \mathbf{a}$ ,  $\mathbf{x}^0 = \mathbf{b}$ .

Если задача синтеза (1.1)–(1.5) обладает свойством  $\varepsilon$ -оптимальности, то замена множеств  $Y$  и  $X_0$  дискретными множествами (2.1), (2.2) возможна. В этом случае решение задачи синтеза будет давать значения функционала, отличающиеся на величину не более чем  $\varepsilon$ , от значений функционала, полученного при решении исходной задачи (1.1)–(1.5).

Заметим, что решение задачи (1.1)–(1.5) синтеза системы управления является также и решением задачи вычислительного синтеза системы управления (2.1)–(2.5), (1.3), (1.5).

Для решения задачи вычислительного синтеза системы управления возможно использовать машинные методы символьной регрессии, которые появились в недавнее время. К этим методам относятся метод генетического программирования [5], метод грамматической эволюции [6], метод аналитического программирования [7] и метод сетевого оператора [2–4]. Во всех методах для поиска решения используют эволюционные алгоритмы, в частности, генетический алгоритм, метод дифференциальной эволюции, метод роя частиц и др. Сходимость эволюционных методов определяется значением вероятности, которая увеличивается с ростом числа рассмотренных возможных решений. Все алгоритмы различаются между собой формой представления искомого решения, в нашем случае формой представления математического выражения, описывающего многомерную синтезирующую функцию.

Для решения задачи (2.1)–(2.5), (1.3), (1.5) используем метод сетевого оператора, который наиболее эффективен по сравнению с другими методами при решении данной задачи синтеза. Эффективность вычислительного метода сетевого оператора определяется тем, что в нем предусмотрен поиск решения с помощью эволюционного алгоритма, работающего на множестве малых вариаций заданного базисного решения. Следовательно, при решении задачи синтеза, если задать базисное решение наиболее близко к оптимальному решению, что может быть сделано на основе анализа задачи, то поиск решения существенно сокращается.

### 3. Метод сетевого оператора

В методе сетевого оператора математическое выражение описывается с помощью ориентированного графа. Структура графа указывает на порядок выполнения операций и на аргументы любой функции при вычислении математического выражения.

Сетевой оператор строит на следующих конструктивных множествах:

– множество переменных

$$X = (x_1, K, x_N), x_i \in \mathbb{R}^1, i = \overline{1, N}; \quad (3.1)$$

– множество параметров

$$Q = (q_1, K, q_P), q_i \in \mathbb{R}^1, i = \overline{1, P}; \quad (3.2)$$

– множество унарных операций

$$O_1 = (\rho_1(z) = z, \rho_2(z), K, \rho_W(z)); \quad (3.3)$$

– множество бинарных операций

$$O_2 = (\chi_0(z', z''), K, \chi_{V-1}(z', z'')). \quad (3.4)$$

Среди унарных операций обязательно должна присутствовать тождественная операция

$$\rho_1(z) = z. \quad (3.5)$$

Бинарные операции должны быть коммутативны

$$\chi_i(z', z'') = \chi_i(z'', z'), i = \overline{0, V-1}, \quad (3.6)$$

ассоциативны

$$\chi_i(z', \chi_i(z'', z''')) = \chi_i(\chi_i(z', z''), z'''), i = \overline{0, V-1}, \quad (3.7)$$

и иметь единичный элемент

$$\forall \chi_i(z', z'') \in O_2 \exists e_i \Rightarrow \chi_i(e_i, z) = z, i = \overline{0, V-1}. \quad (3.8)$$

Нумерация элементов множества  $O_2$  бинарных операций в отличие от элементов множества  $O_1$  унарных операций начинается с нуля. Это вызвано частым применением в качестве бинарных операций двух основных операций сложения и умножения. Единичными элементами для этих операций являются ноль и единица. Для простоты запоминания номера основных операций совпадают со значениями их единичных элементов.

Номера элементов множества  $O_1$  унарных операций не могут начинаться с нуля. При описании структуры данных сетевого оператора в форме матрицы ноль в позиции для унарной операции означает ее отсутствие.

Сетевой оператор – это ориентированный граф, обладающий следующими свойствами:

- а) в графе отсутствуют циклы;
- б) к любому узлу, который не является источником, имеется хотя бы один путь от узла-источника;

- в) от любого узла, который не является стоком, имеется хотя бы один путь до узла-стока;
- г) каждому узлу-источнику соответствует элемент из множества переменных  $X$  или из множества параметров  $Q$  ;
- д) каждому узлу соответствует бинарная операция из множества  $O_2$  бинарных операций;
- е) каждой дуге графа соответствует унарная операция из множества  $O_1$  унарных операций.

Правила записи элементов математического выражения по графу сетевого оператора приведены на рис. 1.

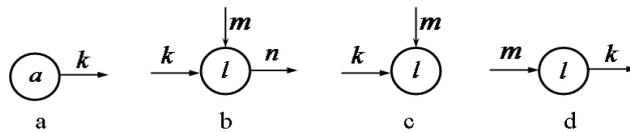


Рис. 1 Элементы графа сетевого оператора: а -  $\rho_k(a)$ ,  $a \in X \cup Q$  ;  
 б -  $\rho_n(\chi_l(\rho_k(z'), \rho_m(z'')))$ ; в -  $\chi_l(\rho_k(z'), \rho_m(z''))$ ; д -  $\rho_k(\chi_l(\rho_m(z)), e_l) = \rho_k(\rho_m(z))$

Рассмотрим пример сетевого оператора для математического выражения

$$y = x_1 + \sin(x_1) + q_1 x_2 e^{-q_2 x_2}.$$

Задаем конструктивные множества  $X = (x_1, x_2)$ ,  $Q = (q_1, q_2)$ ,

$$O_1 = (\rho_1(z) = z, \rho_2(z) = -z, \rho_3(z) = e^z, \rho_4(z) = \sin(z)),$$

$$O_2 = (\chi_0(z_1, z_2) = z_1 + z_2, \chi_1(z_1, z_2) = z_1 + z_2).$$

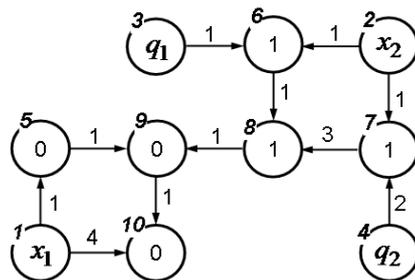


Рис. 2. Сетевой оператор математического выражения

Сетевой оператор рассмотренного математического выражения представлен на рис. 2. В верхних частях узлов сетевого оператора на рис. 2 приведены номера узлов в соответствии с топологической сортировкой, когда номер узла, откуда

дуга выходит, меньше номера узла, куда дуга входит. Матрица смежности приведенного на рис. 2 сетевого оператора имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Для представления сетевого оператора в памяти компьютера используем матрицу сетевого оператора. Заменяем ненулевые элементы матрицы смежности номерами соответствующих унарных операций. На диагонали матрицы в строках, соответствующих номерам узлов, поставим номера бинарных операций, указанных в узлах сетевого оператора. В результате получаем матрицу сетевого оператора

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

В полученной матрице сетевого оператора, например, в строке 5 диагональный элемент имеет значение 0, так как в узле 5 сетевого оператора стоит номер нулевой бинарной операции  $\chi_0(z_1, z_2) = z_1 + z_2$  (см. рис. 2). Нулевые столбцы матрицы сетевого оператора соответствуют узлам-источникам сетевого оператора. Нулевые строки матрицы сетевого оператора соответствуют узлам-стокам сетевого оператора.

Для вычисления математического выражения по матрице сетевого оператора используем соотношение

$$z_j^{(i)} = \begin{cases} \chi_{\psi_{i,j}}(\rho_{\psi_{i,j}}(z_i^{(i-1)}), z_j^{(i-1)}), & \text{если } \psi_{i,j} \neq 0, \\ z_j^{(i-1)} & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3.9)$$

где  $i = \overline{1, L-1}$ ,  $j = \overline{i+1, L}$ ,  $L$  – число строк или столбцов матрицы сетевого оператора,  $z_j^{(i)}$  – компонента  $j$  вектора узлов

$$\mathbf{z}^{(i)} = \begin{bmatrix} z_1^{(i)} & \text{К} & z_L^{(i)} \end{bmatrix}^T \quad (3.10)$$

на итерации  $i$ .

Перед вычислением математического выражения по формуле (3.9) необходимо задать начальное значение вектора узлов  $\mathbf{z}^{(0)} = \begin{bmatrix} z_1^{(0)} & \text{К} & z_L^{(0)} \end{bmatrix}^T$ .

Каждая компонента вектора узлов соответствует узлу сетевого оператора. Начальное значение компоненты вектора узлов для узлов-источников равно значению связанного с этим узлом элемента множества переменных или параметров  $z_j^{(0)} = a \in X \cup Q$ , если  $\psi_{i,j} = 0$ ,  $i = \overline{1, L}$ . Начальные значения остальных компонент вектора узлов равны единичным элементам связанных с этими узлами бинарных операций  $z_j^{(0)} = \psi_{j,j}$ , если  $\exists \psi_{i,j} \neq 0$ ,  $1 \leq j \leq L$ .

Рассмотрим пример вычисления математического выражения по матрице для приведенного на рис. 2 сетевого оператора. Зададим начальные значения вектора узлов  $\mathbf{z}^{(0)} = [x_1 \ x_2 \ q_1 \ q_2 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]^T$ .

Просматриваем по строкам над главной диагональю элементы матрицы сетевого оператора. Находим ненулевые элементы и вычисляем новые значения по формуле (3.9) соответствующих компонент вектора узлов.

$$\psi_{1,5} = 1, \psi_{1,5} = 1, z_5^{(1)} = \chi_0(\rho_1(z_1^{(0)}), z_5^{(0)}) = x_1 + 0 = x_1;$$

$$\psi_{1,10} = 4, \psi_{10,10} = 0, z_{10}^{(1)} = \chi_0(\rho_4(z_1^{(0)}), z_{10}^{(0)}) = \sin x_1 + 0 = \sin x_1;$$

$$z_j^{(1)} = z_j^{(0)}, j = \overline{1, L}, j \neq 5, j \neq 10;$$

$$\psi_{2,6} = 1, \psi_{6,6} = 1, z_6^{(2)} = \chi_1(\rho_1(z_2^{(1)}), z_6^{(1)}) = x_2 \cdot 1 = x_2;$$

$$\psi_{2,7} = 1, \psi_{7,7} = 1, z_7^{(2)} = \chi_1(\rho_1(z_2^{(1)}), z_7^{(1)}) = x_2 \cdot 1 = x_2;$$

$$z_j^{(2)} = z_j^{(1)}, j = \overline{1, L}, j \neq 6, j \neq 7;$$

$$\psi_{3,6} = 1, \psi_{6,6} = 1, z_6^{(3)} = \chi_1(\rho_1(z_3^{(2)}), z_6^{(2)}) = q_1 \cdot x_2;$$

$$z_j^{(3)} = z_j^{(2)}, j = \overline{1, L}, j \neq 6;$$

$$\psi_{4,7} = 2, \psi_{7,7} = 1, z_7^{(4)} = \chi_1(\rho_2(z_4^{(3)}), z_7^{(3)}) = -q_2 \cdot x_2;$$

$$z_j^{(4)} = z_j^{(3)}, j = \overline{1, L}, j \neq 7;$$

$$\psi_{5,9} = 1, \psi_{9,9} = 0, z_9^{(5)} = \chi_0(\rho_1(z_5^{(4)}), z_9^{(4)}) = x_1 + 0 = x_1;$$

$$z_j^{(5)} = z_j^{(4)}, \quad j = \overline{1, L}, \quad j \neq 9;$$

$$\psi_{6,8} = 1, \quad \psi_{8,8} = 1, \quad z_8^{(6)} = \chi_1(\rho_1(z_6^{(5)}), z_8^{(5)}) = q_1 x_2 \cdot 1 = q_1 x_2;$$

$$z_j^{(6)} = z_j^{(5)}, \quad j = \overline{1, L}, \quad j \neq 8;$$

$$\psi_{7,8} = 3, \quad \psi_{8,8} = 1, \quad z_8^{(7)} = \chi_1(\rho_3(z_7^{(6)}), z_8^{(6)}) = q_1 x_2 e^{-q_2 x_2};$$

$$z_j^{(7)} = z_j^{(6)}, \quad j = \overline{1, L}, \quad j \neq 8;$$

$$\psi_{8,9} = 1, \quad \psi_{9,9} = 0, \quad z_9^{(8)} = \chi_0(\rho_1(z_8^{(7)}), z_9^{(7)}) = q_1 x_2 e^{-q_2 x_2} + x_1;$$

$$z_j^{(8)} = z_j^{(7)}, \quad j = \overline{1, L}, \quad j \neq 9;$$

$$\psi_{9,10} = 1, \quad \psi_{10,10} = 0, \quad z_{10}^{(9)} = \chi_0(\rho_1(z_9^{(8)}), z_{10}^{(8)}) = q_1 x_2 e^{-q_2 x_2} + x_1 + \sin x_1.$$

После вычисления всех итераций значение компоненты  $z_{10}$  для узла-стока сетевого оператора совпадает с результатом рассматриваемого примера математического выражения  $z_{10}^{(9)} = q_1 x_2 e^{-q_2 x_2} + x_1 + \sin x_1$ .

Для поиска оптимального решения в виде матрицы сетевого оператора используем метод малых вариаций базисного решения. Рассмотрим малые вариации сетевого оператора. Для сетевого оператора достаточно использовать следующие вариации:

- 0 – замена унарной операции;
- 1 – замена бинарной операции;
- 2 – добавление унарной операции;
- 3 – удаление унарной операции.

При выполнении малой вариации 3, удаление унарной операции, необходимо проверять условие отсутствия появления новых нулевых строк и столбцов в матрице сетевого оператора. Согласно этому требованию малую вариацию 3, удаление унарной операции,  $\psi_{i,j} = 0$  выполняем при наличии в строке  $i$  столбце  $j$  над главной диагональю более одного ненулевого элемента

$$\sum_{k=i+1}^L \vartheta(\psi_{i,k}) > 1, \quad \sum_{k=1}^{j-1} \vartheta(\psi_{k,j}) > 1, \quad (3.11)$$

где

$$\vartheta(A) = \begin{cases} 1, & \text{если } A > 0, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Для описания малых вариации используем вектор из четырех компонент

$$\mathbf{w} = [w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad w_4]^T, \quad (3.12)$$

где  $w_1$  – номер малой вариации,  $w_2$  – номер строки,  $w_3$  – номер столбца,  $w_4$  – номер унарной или бинарной операции.

#### 4. Пример синтеза робастной системы управления

Рассмотрим задачу синтеза робастной системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны.

Математическая модель движения космического аппарата имеет следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = W \cos(u_1 - \theta) - g \cos \theta, \quad (4.1)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{V} (W \sin(u_1 - \theta) + g \sin \theta), \quad (4.2)$$

$$\frac{dh}{dt} = V \cos \theta, \quad (4.3)$$

$$\frac{dL}{dt} = V \sin \theta, \quad (4.4)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{P_0 + u_2}{P_{ud}}, \quad (4.5)$$

где  $V$  – модуль скорости движения космического аппарата,  $W$  – ускорение, создаваемое тягой двигателя торможения,  $\theta$  – угол наклона траектории относительно гравитационной вертикали,  $h$  – высота полета КА,  $R$  – модуль радиус-вектора от центра Луны до космического аппарата,  $R_0$  – средний радиус поверхности Луны,  $L$  – дальность вдоль поверхности,  $m$  – масса КА,  $P$  – тяга коррекционно-тормозного двигателя (Н),  $P_{ud}$  – удельный импульс коррекционно-тормозного двигателя (м/с),  $g_0$  – гравитационное ускорение свободного падения на поверхности Луны.

Схема спуска космического аппарата на поверхность Луны приведена на рис. 3. Космический аппарат из начального состояния должен за счет тяги  $P$  тормозного двигателя погасить скорость и опуститься на заданную высоту и попасть в заданную по длине точку.

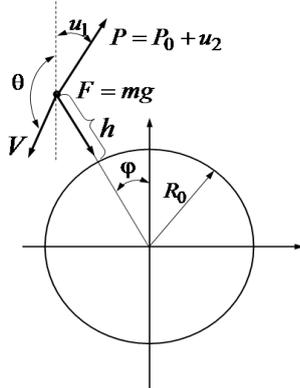


Рис. 3. Схема посадки космического аппарата на Луну

Модель (4.1)–(4.5) использует также следующие соотношения

$$W = \frac{\tilde{g}P}{m}, \quad g = g_0 \left( \frac{R_0}{R_0 + h} \right)^2, \quad R = R_0 + h. \quad (4.6)$$

Постоянные параметры в модели (4.1)–(4.6) имеют следующие значения:  $R_0 = 1738.4$  км,  $P_0 = 72000$  Н,  $P_{ud} = 319$  с,  $g_0 = 1.623$  м/с<sup>2</sup>,  $\tilde{g} = 9.80665$  м/с<sup>2</sup>.

Управление космическим аппаратом осуществляется направлением тяги двигателя и ее величиной. Для модели известны начальные значения:

$$V(0) = V_0, \quad \theta(0) \in [\theta_0^-, \theta_0^+], \quad h(0) \in [h_0^-, h_0^+], \quad L(0) = L_0, \quad m(0) \in [m_0^-, m_0^+], \quad (4.7)$$

где  $\theta_0^-, \theta_0^+$  – наименьшее и наибольшее начальные значения угла наклона траектории,  $h_0^-, h_0^+$  – наименьшее и наибольшее значения начальной высоты,  $m_0^-, m_0^+$  – наименьшее и наибольшее значения начальной массы.

Заданы терминальные условия

$$V(t_f) \in V_f, \quad h(t_f) = h_f, \quad L(t_f) = L_f. \quad (4.8)$$

Значения компонент управления, величины изменения тяги и угла направления тяги ограничены

$$u_1 \in [u_1^-, u_1^+], \quad u_2 \in [u_2^-, u_2^+], \quad (4.9)$$

где  $u_1^-, u_1^+$  – предельные углы направления тяги,  $u_2^-, u_2^+$  – предельные величины приращения тяги.

Необходимо найти управление в виде

$$u_1 = g_1(V, \theta, h, \varphi, m), \quad (4.10)$$

$$u_2 = g_2(V, \theta, h, \varphi, m). \quad (4.11)$$

Управление должно обеспечить перелет космического аппарата из начальной области (4.7) в терминальное состояние (4.8) с учетом ограничений на управление.

Для оценки качества управления используем соотношения

$$J_1 = |L_f - L(t_f)| + |h_f - h(t_f)| + s, \quad (4.12)$$

$$J_2 = |V_f - V(t_f)| + |h_f - h(t_f)| + s, \quad (4.13)$$

где  $S$  – штраф за преждевременное попадание на поверхность Луны

$$s = \begin{cases} 10, & \text{если } h(t) < 0, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Для получения числовой оценки заменим непрерывные интервалы для начальных значений дискретными множествами

$$[\theta_0^-, \theta_0^+]^r \rightarrow \{\theta_{0,0}, \theta_{0,1}, K, \theta_{0,M_\theta}\}, \quad (4.14)$$

$$[h_0^-, h_0^+]^r \rightarrow \{h_{0,0}, h_{0,1}, K, h_{0,M_h}\}, \quad (4.15)$$

$$[m_0^-, m_0^+]^r \rightarrow \{m_{0,0}, m_{0,1}, K, m_{0,M_m}\}, \quad (4.16)$$

где  $\theta_0^- = \theta_{0,0} < \theta_{0,1} < K < \theta_{0,k_\theta} = \theta_0^+$ ,  $h_0^- = h_{0,0} < h_{0,1} < K < h_{0,k_h} = h_0^+$ ,  
 $m_0^- = m_{0,0} < m_{0,1} < K < m_{0,k_m} = m_0^+$ .

Для получения оценки качества синтезируемой системы управления используем сумму функционалов для всех начальных значений

$$\tilde{J}_1 = \sum_{i=0}^{M_\theta} \sum_{j=0}^{M_h} \sum_{k=0}^{M_m} J_1(i, j, k), \quad (4.17)$$

$$\tilde{J}_2 = \sum_{i=0}^{M_\theta} \sum_{j=0}^{M_h} \sum_{k=0}^{M_m} J_2(i, j, k), \quad (4.18)$$

где  $J_1(i, j, k)$  – значение функционала (4.12) для начальных значений  $\theta(0) = \theta_{0,i}$ ,  $h(0) = h_{0,j}$ ,  $m(0) = m_{0,k}$ ,  $J_2(i, j, k)$  – значение функционала (4.13) для начальных значений  $\theta(0) = \theta_{0,i}$ ,  $h(0) = h_{0,j}$ ,  $m(0) = m_{0,k}$

$$J_1(i, j, k) = \left( h_f - h(t_f) \right)_{\theta(0)=\theta_{0,i}, h(0)=h_{0,j}, m(0)=m_{0,k}} + s, \quad (4.19)$$

$$J_2(i, j, k) = \left( V_f - V(t_f) \right)_{\theta(0)=\theta_{0,i}, h(0)=h_{0,j}, m(0)=m_{0,k}}, \quad (4.20)$$

$$J_2(i, j, k) = \left( V_f - V(t_f) \right)_{\theta(0)=\theta_{0,i}, h(0)=h_{0,j}, m(0)=m_{0,k}}$$

$i = \overline{0, M_\theta}$ ,  $j = \overline{0, M_h}$ ,  $k = \overline{0, M_m}$ .

В вычислительном эксперименте использовались следующие числовые значения модели:  $V(0) = 1689$  м/с,  $\theta_0^- = -1.65$  рад.,  $\theta_0^+ = -1.55$  рад.,  $h_0^- = 16.648$  км,  $h_0^+ = 19.648$  км,  $L(0) = 0$  км,  $m_0^- = 1400$  кг,  $m_0^+ = 1600$  кг,  $u_1^- = -3.14159265$  рад.,  $u_1^+ = 3.14159265$  рад.,  $u_2^- = -80$  кг,  $u_2^+ = +80$  кг,  $V_f = 5$  м/с,  $h_f = 1.5$  км,  $L_f = 240$  км.

Для вычисления функционалов (4.19), (4.20) использовались следующие значения:

$$\theta_{0,i} = \theta_{0,0} + i\Delta\theta_0, \quad (4.21)$$

$$h_{0,j} = h_{0,0} + j\Delta h_0, \quad (4.22)$$

$$m_{0,k} = m_{0,0} + k\Delta m_0, \quad (4.23)$$

где  $\Delta\theta_0 = 0.05 \text{ рад}$ ,  $\Delta h_0 = 1.5 \text{ км}$ ,  $\Delta m_0 = 100 \text{ кг}$ , соответственно получаем  $M_\theta = 2$ ,  $M_h = 2$ ,  $M_m = 2$ .

Для поиска решения используем вариационный генетический алгоритм со следующими параметрами: размер начальной популяции – 256; число поколений – 64; число скрещиваемых пар в одном поколении – 128; число вариаций в одном решении – 8; число поколений между сменой базисного решения – 29; число элитарных решений – 8; вероятность мутации – 0.7; параметр для скрещивания – 0.4.

При поиске решения использовался комплекс программ [8] для структурно-параметрического синтеза системы управления методом сетевого оператора. В качестве базисного решения для рассматриваемой задачи было выбрано следующее управление

$$u_1 = q_1^0(\pi + \theta) + \frac{q_2^0}{h_0}(h_f - h)g(h_f - h),$$

$$u_2 = -q_3^0\theta \cos \theta,$$

где  $\pi = 3.14159265$ ,  $q_1^0 = 1$ ,  $q_2^0 = 1$ ,  $q_3^0 = 1$ ,  $\bar{h}_0 = 18.148$ .

Матрица сетевого оператора для базисного решения имеет вид

$$\Psi^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Матрица базисного решения имеет размерность  $16 \times 16$  и описывает сетевой оператор, который содержит 16 узлов, из которых 6 узлов-источников и 2 узла-выхода. Узлы-источники связаны со следующими переменными: узел 1 –  $\pi + \theta$ ;

узел 2 –  $q_1$ ; узел 3 –  $\frac{h_f - h}{\bar{h}_0}$ ; узел 4 –  $q_2$ ; узел 5 –  $\theta$ ; узел 6 –  $q_3$ . Выходные узлы

соответствовали компонентам управления: узел 15 –  $u_1$ ; узел 16 –  $u_2$ .

В результате синтеза было получено следующее управление космическим аппаратом

$$u_i = \begin{cases} u_i^-, & \text{если } \tilde{u}_i < u_i^-, \\ u_i^+, & \text{если } \tilde{u}_i > u_i^+, \\ \tilde{u}_i & \text{иначе,} \end{cases} \quad i = 1, 2,$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= \operatorname{sgn}(B)\sqrt{|B|} + \mathcal{G}\left(\frac{q_2}{h_0}(h_f - h)\sqrt[3]{q_1(\pi + \theta)} + \pi + \theta - (\pi + \theta)^3\right), \\ \tilde{u}_2 &= \tilde{u}_1 + \operatorname{sgn}(B)(e^{|B|} - 1) + e^A + q_3\theta \cos(\theta) + \operatorname{sgn}(q_1(\pi + \theta))\sqrt{q_1(\pi + \theta)}, \\ A &= \exp(-q_3\theta \cos(\theta)) + \exp\left(\frac{q_2}{h_0}(h_f - h)\sqrt[3]{q_1(\pi + \theta)} + \pi + \theta - (\pi + \theta)^3\right) + \\ B &= \operatorname{sgn}(-q_3\theta \cos(\theta))(\exp|-q_3\theta \cos(\theta)| - 1) + \frac{q_2}{h_0}(h_f - h)\sqrt[3]{q_1(\pi + \theta)} + \\ &+ \frac{(h_f - h)^3}{h_0^3} + \operatorname{sgn}(-q_1q_3(\pi + \theta)) + \operatorname{sgn}\left(\frac{h_f - h}{h_0}\right) \ln\left(\left|\frac{h_f - h}{h_0}\right| + 1\right) + \\ &+ \mathcal{G}\left(\frac{q_2}{h_0}(h_f - h)\sqrt[3]{q_1(\pi + \theta)} + \pi + \theta - (\pi + \theta)^3\right) + \frac{1}{q_1(\pi + \theta)} + \pi + \theta - (\pi + \theta)^3, \\ q_1 &= 8.29395, \quad q_2 = 9.35181, \quad q_3 = 15.63159. \end{aligned}$$

Матрица сетевого оператора для полученного решения имеет вид

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 23 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 17 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 15 & 0 & 1 & 0 & 0 & 8 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 6 & 9 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 18 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Номера унарных и бинарных операций, используемых в расчетах и указанных в матрице сетевого оператора, соответствуют работе [2].

На рис. 4–7 приведены графики изменения управлений при крайних значениях неопределенных параметров.

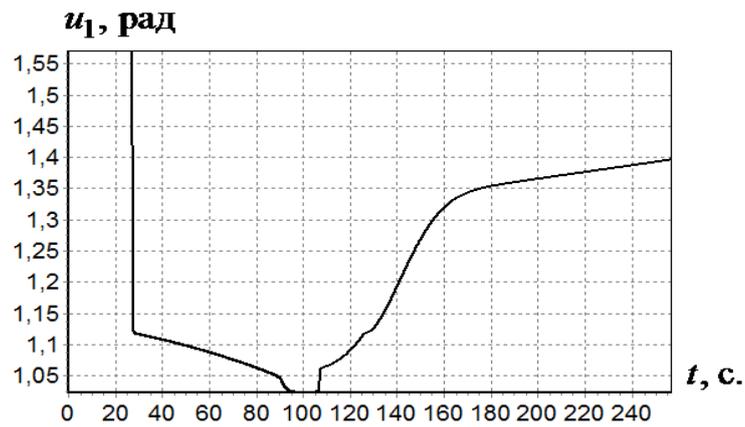


Рис. 4. Компонента управления  $u_1(t)$  при начальных условиях  $h(0)=16.148$  км,  $\theta(0)=-1.65$  рад.,  $m(0)=1400$  кг

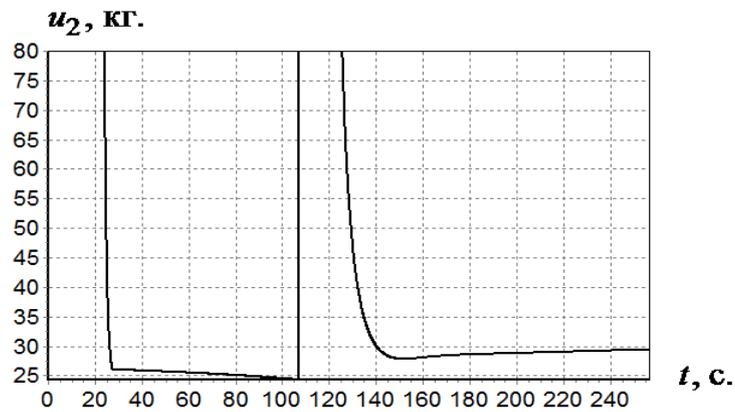


Рис. 5. Компонента управления  $u_2(t)$  при начальных условиях  $h(0)=16.148$  км,  $\theta(0)=-1.65$  рад.,  $m(0)=1400$  кг

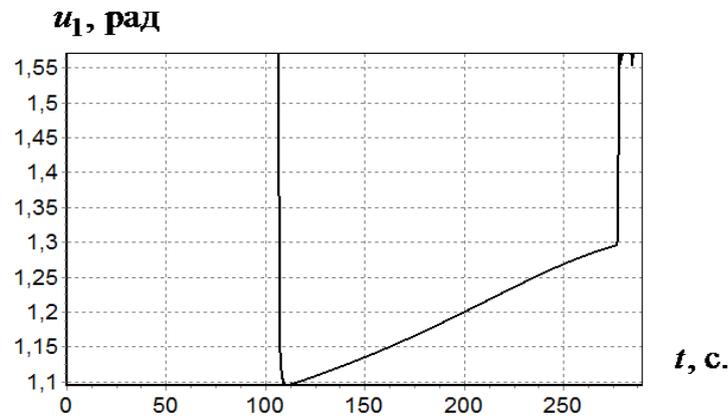


Рис. 6. Компонента управления  $u_1(t)$  при начальных условиях  
 $h(0)=19.648$  км,  $\theta(0)=-1.5$  рад.,  $m(0)=1600$  кг

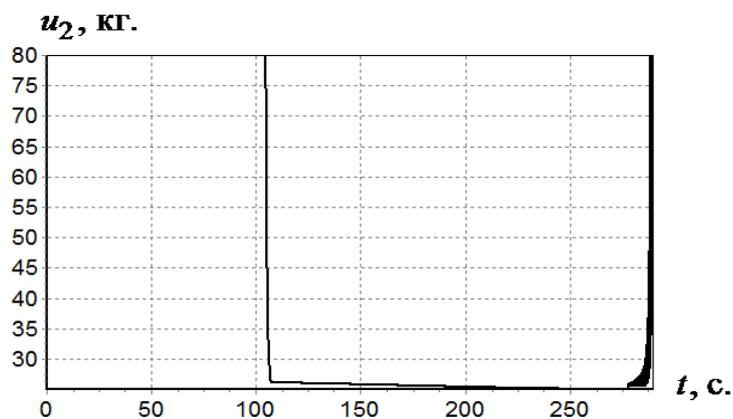


Рис. 7. Компонента управления  $u_2(t)$  при начальных условиях  
 $h(0)=19.648$  км,  $\theta(0)=-1.5$  рад.,  $m(0)=1600$  кг

В таблице приведены результаты исследования чувствительности системы управления к изменению начальных условий. Как видно из таблицы при допустимых изменениях начальных условий система управления обеспечивает достижение терминальной области с приемлемой точностью.

Таблица

Выполнение терминальных условий при различных начальных значениях

$H(0), м$	$\theta(0), рад$	$m(0), кг$	$V(t_f), м/с$	$H(t_f), км$	$L(t_f), км$	$t_f, с$
16648	-1.65	1400	13.4	1.524	241.33	256.9
19648	-1.65	1400	13.52	1.527	239.1	255.5
16648	-1.55	1400	2.168	3.88	224.96	250.8
16648	-1.65	1600	0.299	1.517	283.26	299.8
19648	-1.55	1400	3.42	5.96	224.6	252.1
19648	-1.65	1600	0.966	1.517	280.47	298.7
16648	-1.55	1600	0.035	2.171	259.77	284.6

### Заключение

В работе представлен численный метод сетевого оператора для синтеза робастной системы управления. Суть предлагаемого метода заключается в поиске решения, оптимизирующего суммарные значения критериев качества, вычисленных по множеству значений неопределенных параметров. Для поиска решения использовался метод сетевого оператора, который позволяет представлять математическое выражение в форме целочисленной матрицы. В работе представлено подробное описание метода сетевого оператора.

Введено понятие свойства  $\varepsilon$ -оптимальности. Данное свойство определяет системы, для которых возможен корректный переход к сумме функционалов по дискретным значениям.

Приведен пример синтеза робастной системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны. Пример демонстрирует работоспособность описанного в работе метода сетевого оператора. Полученные математические выражения для робастного управления представляют собой сложные многомерные функции, зависящие от координат пространства состояний. Изменения начальных условий приводит согласно синтезируемым функциям к изменению управления, которое обеспечивает достижение цели рассматриваемой задачи.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Харитонов В.Л. Устойчивость вложенных семейств полиномов // Автомат. и телемеханика. – 1995. – № 11. – С. 169–178.
- [2] Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. – М.: ВЦ РАН, 2010. – 178 с.
- [3] Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями // Известия РАН Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 63–78.
- [4] Дивеев А.И., Северцев Н.А., Прокопьев И.В. Синтез системы управления беспилотного аппарата, обладающей запасом живучести, методом сетевого оператора // Нелинейный мир. – 2014. – Т. 12. – № 7. – С. 38–41.
- [5] Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992, 819 p.
- [6] O'Neill M. Automatic Programming in an Arbitrary Language: Evolving Programs in Grammatical Evolution: PhD thesis. University of Limerick, 2001 – 163 p.
- [7] Zelinka I. Analytic Programming by Means of Soma Algorithm // Mendel '02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, 93–101.

## ОБЗОРЫ

## OVERVIEWS

УДК 629.78.048

### ОПЫТ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Б.И. Крючков, В.М. Усов

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

Технологии создания систем жизнеобеспечения (СЖО) человека в экстремальных условиях под водой, на земле, в стратосфере и космосе охватывают период около четырехсот лет. Непрерывная эволюция СЖО в течение этого периода определялась развитием теоретического и практического знания. Наивысшее развитие они получили в XX веке в связи с бурным развитием подводного флота, военной и гражданской авиации, стратосферными полетами и полетами человека в космос. Успехи жизнеобеспечения человека в каждой из экстремальных сред учитывались при освоении новых рубежей в смежных областях. В данной работе рассматриваются основные этапы создания и развития СЖО пилотируемых космических аппаратов (ПКА) с учетом преемственности, заимствования технологий, особенно из сферы авиации. Развитие СЖО, построенных на различных принципах (системы на запасах расходимых компонентов, регенерационные, биотехнические), рассматривается в единой взаимосвязи как синтез инженерной мысли и научной деятельности. Делается попытка оценить вклад отечественных и зарубежных ученых и специалистов-практиков в создание СЖО.

**Ключевые слова:** системы жизнеобеспечения, технологии защиты организма человека, регенерация, физико-химические системы, биотехнические системы, пилотируемые космические полеты, скафандры, герметичные отсеки, экспериментальная база.

#### **Experience of the Creation and Development of Life Support Systems for Crews of Manned Spacecraft. B.I. Kryuchkov, V.M. Usov**

The history of the creation and development of human life support systems (LSSs) for the extreme conditions under water, on the ground, in the stratosphere, and in space covers a period of about four hundred years. The continuous evolution of LSSs was determined by the development of theoretical and practical knowledge. The highest progress was observed in the 20<sup>th</sup> century as a result of rapid development in such branches as the submarine fleet, military and civil aviation, and human flights in the stratosphere and to space. The successes in the field of supporting a human life in each of said conditions were taken into account when mastering new achievements in allied areas. This paper considers the main stages of the creation and development of LSSs for manned spacecraft taking into account the succession and borrowing of technologies, especially from the aircraft industry. The development of life support systems, based on different principles (consumable components-based systems, regenerative systems, biotechnological systems), is owed to a synthesis of engineering thought and scientific research. There is an attempt to estimate the contribution of domestic and foreign scientists and practitioners to the creation of LSSs.

**Keywords:** life support systems, human body protection technology, regeneration, physic-chemical systems, bio-technical systems, manned space flights, spacesuits, pressurized modules, experimental base.

## Введение

Системы жизнеобеспечения экипажей являются неотъемлемой частью любого пилотируемого космического аппарата (ПКА). В их состав входят технические системы и средства, обеспечивающие необходимый массоэнергетический обмен экипажа с окружающей средой. На современных больших орбитальных станциях масса оборудования СЖО и соответствующих расходуемых компонентов может превышать 20 % от массы всех бортовых систем. По относительной стоимости, объемам и массе доставляемого оборудования, затратам на обслуживание комплекс СЖО занимает одно из лидирующих мест среди бортовых систем ПКА. Технологии жизнеобеспечения относятся к ключевым (критически важным) технологиям защиты организма человека от вредных факторов внешней среды [1, 2, 12, 15].

Систематизированных попыток изучения вопросов преемственности и взаимосвязей авиационных, подводных и космических СЖО, за исключением высотных скафандров [6, 14, 35, 40], практически не предпринималось. Базовые издания, касающиеся развития бортовых космических СЖО, акцентируют внимание, в основном, на принципах их построения и конструктивно – технологических характеристиках систем [1, 7, 11, 15, 36]. В то же время можно указать на отдельные работы, которые лишь частично затрагивают вопросы оценки стадий развития технологий СЖО. Прежде всего, это работы В.И. Яздовского, Б.А. Адамовича, Г.И. Северина, И.П. Абрамова, В.И. Сверщека, Г.И. Морозова [5, 10, 13, 34].

## Ретроспектива и современный этап исследования возможностей пребывания человека в экстремальной среде

Первые работы по исследованию физиологических возможностей человека при полетах на аэростатах, водолазных погружениях и горных восхождениях были проведены в начале XIX века. (Я.Д. Захаров, Гей-Люссак, Жан-Батист Био, М.А. Рыкачев, Джеймс Уитбрэд Ли Глейшер, Поль Бер). В 1875–1887 гг. Д.И. Менделеев впервые в России глубоко проработал идею стратостата с герметичной кабиной, предложил хранить и перевозить газ в стальных баллонах под давлением, поставил вопросы о гигиеническом комфорте летательных аппаратов. В 1887 году он сам выполнил полет на аэростате с целью изучения воздействия высотных условий на человека.

Научный базис авиационной медицины как науки, ставящей своими задачами изучение условий деятельности летного состава и влияния этих условий на организм, был заложен в трудах И.М. Сеченова. В 1879 году на съезде естествоиспытателей и врачей он изложил механизм дыхания человека и обосновал возможность осуществления высотных полетов в гермогондолах. В фундаментальных работах К.Э. Циолковского представлены материалы по изучению влияния перегрузок на организм человека, предложены средства жизнеобеспечения для полета в ракетном корабле и идея космического скафандра.

Вопросы медико-технического обеспечения космических полетов с участием человека разрабатывались в числе прочих и одним из пионеров ракетной техники Г.Ю. Обертом. Среди них важное место занимали медико-биологические аспекты пребывания в невесомости, способы медикаментозной поддержки при вестибулярных расстройствах, проблемы натурального моделирования деятельности человека в гидросреде [31].

Заметным толчком для развития исследований в области обеспечения высотных полетов в СССР стали результаты полетов в 1924–1925 гг. пилотов

М.Н. Шалимо и С.П. Супруна, достигших соответственно высот 8216 и 8554 м. Они показали, что для обеспечения безопасности летчиков необходимо использование специальных кислородных приборов. С их помощью стало возможным достигать высоты до 12 000 м. Для преодоления следующих рубежей были необходимы скафандры.

В 30–40-е годы XX столетия наибольший вклад в изучение механизмов влияния пониженного давления на здоровье и работоспособность человека внесли академик Л.А. Орбели (один из выдающихся отечественных физиологов и основателей физиологической школы авиационной медицины), В.В. Стрельцов (руководитель работ по жизнеобеспечению стратонавтов), М.П. Бресткин, И.Р. Петров, Г.Е. Владимиров, В.В. Пашутин, П.М. Альбицкий Н.Н., Сиротина и др. [24, 28, 32].

Бурное развитие подводной, авиационной и космической медицины началось с середины 50-х годов XX столетия с появлением атомных подводных лодок, стратосферной авиации и космических кораблей с животными, а затем и человеком на борту. Фундаментом для космической медицины стали достижения авиационной медицины, особенно в области освоения больших высот [32].

Основные физиологические проблемы полетов на больших высотах и в космосе, такие как гипоксия, декомпрессия, влияние предельных значений тепла и холода, очень близки друг другу. Поэтому, основываясь на полученных ранее научно-технических заделах, отечественными учеными был проведен комплекс НИР в целях теоретического обоснования принципов создания искусственной газовой среды для ПКА, обеспечения теплового гомеостаза космонавта, создания защитных средств, а также СЖО в целом [10, 13, 24, 34].

В 1951 году учеными Института авиационной медицины ВВС Минобороны под руководством А.В. Покровского и В.И. Яздовского были проведены исследования влияния на животных ускорений и невесомости на высотах от 100 до 500 км. Уже в этих экспериментах были опробованы элементы бортовых систем жизнеобеспечения. С 1964 года, после создания Института медико-биологических проблем (при Минздраве СССР), началась более интенсивная разработка медицинских и биологических проблем полетов человека в космос. Здесь же стали проводиться наземные комплексные испытания СЖО в натуральных макетах ПКА с участием человека. Основы исследований жизнедеятельности в экстремальных условиях космических полетов (околоземных, миссий на Луну, межпланетных) и обоснование требований к соответствующим СЖО закладывались известными советскими физиологами, авиационными врачами, инженерами – А.В. Лебединским, В.В. Париным, О.Г. Газенко, Ю.Г. Нефедовым, Б.А. Адамовичем, А.М. Гениным, А.Д. Серяпиным, С.М. Алексеевым, А.И. Григорьевым, А.С. Барером, И.Б. Козловской и др. [5, 12, 16, 24, 32].

В целях исследования влияния невесомости, радиации и других негативных факторов космических полетов на физиологические функции человека советскими и американскими учеными был проведен комплекс исследований на специализированных биологических спутниках с применением самых разнообразных биологических объектов – от простейших до приматов. В СССР была создана целая серия биологических спутников «Бион», а в США – «Биос» [4, 24, 38].

Значительное число важных исследований в области космической медицины и создания СЖО было проведено американскими, английскими и другими зарубежными учеными. Среди них: Х.Г. Армстронг, Л.И. Бауэр, К. Белл, П.А. Кемпбелл, Х. Даусон, Л. Хилл, О.Х. Гауэр, С.Д. Гератеволь, А. Грейбил, Г.З. Дрейк, Ж.П. Хенри, Ж.Н. Филлиппе, М.В. Хантер и др. [3, 17, 24, 30, 35].

### **Преемственность технологий жизнеобеспечения (авиация, подводный флот, космонавтика)**

Успехи технологий проведения подводных работ в XIX в., развитие таких сфер как горноспасательное дело и другие привели к использованию достигнутых результатов в сфере высотных полетов, а затем и космических.

Одним из наглядных подтверждений этого может быть пример эволюции обитаемого пространства. Первые подводные колокола имели обитаемое пространство 2–3 куб. метра. Свободный объем первых герметичных подводных лодок достигал 14–17 куб. метров.

Первая подводная лодка из железа была построена французом Дени Папином в 1695 году. Это событие стало знаковым, поскольку именно с него началось создание обитаемых аппаратов, способных впоследствии длительно функционировать в различных экстремальных условиях – под водой, в стратосфере, в космосе.

Вслед за подводными колоколами и лодками стали разрабатываться подводные аппараты других типов – батисферы, гидростаты, батискафы [27]. Их СЖО имели одинаковый набор подсистем: обеспечения кислородом, поглощения углекислого газа и вредных примесей, поддержания температуры и влажности, контроля параметров атмосферы. Практически все эти подсистемы, а также такое оборудование как углекислотные огнетушители и аварийные дыхательные аппараты использовались и на первых ПКА.

Впервые предложения и проекты использования герметичных гондол для аэростатов были разработаны около 1870 года (Ж.Л. Тридон, Франция). В России их обосновывали и создавали Д.И. Менделеев, Н.Д. Пильчаков, М.Н. Канищев и др. Герметичная часть первых гондол была небольшой и имела объемы 2–4 куб. метра. Запас кислорода в них в виде газа, как и на подводных лодках, хранился в баллонах. Первые полеты на аэростатах в герметичной металлической гондоле были осуществлены в Германии О. Пикаром в 1931 г. на высоту 15 785 м, а в России на стратостате «СССР-1» конструкции В.А. Чижевского (ЦАГИ) Г.А. Прокофьевым, К.Д. Годуновым, Э.К. Бирнбаумом в 1933 году на высоту 19 000 м.

Первым самолетом, имеющим герметичную кабину, был металлический самолет Х. Юнкера Ю-49, созданный в 1931 году [33]. Его кабина в виде автономного кокона была изготовлена из алюминия. Она была съемной, имела иллюминаторы и помещала двух пилотов. В 1933 году свой первый полет совершил отечественный самолет БОК-1 с герметичной кабиной конструкции В.А. Чижевского. Его кабина имела целый ряд преимуществ перед самолетами немецких и французских предшественников. Главное из них – наличие частично замкнутой по воздуху СЖО. В этой системе газообразный кислород подавался из баллонов, а пары влаги и углекислота, выделяемые человеком, удалялись специальными химическими поглотителями. Впоследствии подобная система обеспечения газового состава использовалась на американских ПКА «Меркурий» и «Джемини». На первых российских ПКА она была более совершенной, поскольку и для получения кислорода, и для удаления углекислоты применялись одни и те же твердые химические компоненты [30].

Первым военным самолетом с герметичной кабиной был американский ХС-35В, а первым пассажирским высотным – «Боинг-307». В СССР гермокабинами для планеров в начале 40-х годов занимался конструктор А.Я. Щербаков. Впервые были созданы гермокабины для самолетов истребителей И-15, И-153

(1939 г.). Позже опыт А.Я. Щербакова оказался востребован в ОКБ-1 С.П. Королева при создании космической техники.

Следующим логическим шагом использования герметических кабин было создание гермоотсеков для полетов животных в космос. В середине 50-х годов была выполнена целая серия полетов с собаками в герметичных контейнерах, устанавливаемых в головных блоках геофизических ракет. В 1957 году на борту второго ИСЗ в течение 7 суток находилась собака Лайка. Наряду с решением фундаментальных проблем биологии, одной из важнейших задач, решаемых на данных ИСЗ, была разработка требований к СЖО ПКА.

Таким образом, еще до начала эры пилотируемых полетов в космос были последовательно созданы и отработаны технологии, сочетающие использование в герметичных конструкциях тканевых, резиновых, металлических, композитных материалов, а также стекол. Кроме того, был разработан комплекс технологий, обеспечивающих прочность конструкции, необходимый тепловой режим, эргономичные способы конструирования и размещения оборудования, а также относительно комфортную среду обитания.

С начала первых пилотируемых полетов в космос гермоотсеки ПКА прошли новый виток развития. Возрастали свободные объемы, приходящиеся на 1 человека, улучшалась комфортность пребывания в них космонавтов, увеличивалась возможность обеспечения длительных безопасных полетов и ВКД на внешней поверхности ПКА. Таблица дает представление об эволюции обитаемого пространства жилых герметичных отсеков ряда отечественных и зарубежных ПКА [22]. На ПКА «Восток» при объеме гермоотсеков  $5,2 \text{ м}^3$  в расчете на 1 чел. максимальная длительность полета космонавта достигала 4 сут 23 ч 07 мин, а на больших ОКС (МИР, «Скайлэб», МКС) при внутреннем объеме гермоотсеков более  $100 \text{ м}^3$  – от одного года до полутора лет.

Таблица

Обитаемые отсеки ПКА

ПКА	Внутренний объем на 1 чел	$T_{\text{полета}}^{\text{max}}$
«Восток»	$5,2 \text{ м}^3$	4 сут 23 ч 07 мин
«Восход»	$1,73 \text{ м}^3$	1 сут 00 ч 17 мин
«Союз»	$3,48 \text{ м}^3$	4 сут 22 ч 40 мин
«Меркурий»	$1,7 \text{ м}^3$	1 сут 10 ч 20 мин
«Джемини»	$1,28 \text{ м}^3$ (min !)	13 сут 19 ч
«Аполлон»	$6,18 \text{ м}^3$	12 сут 13 ч 52 мин
Спейс Шаттл	$9,41 \text{ м}^3$	15 сут 20 ч 29 мин
«Салют» (№ 1)	$27,3 \text{ м}^3$	23 сут 18 ч 22 мин
«Скайлэб»	$117,5 \text{ м}^3$	84 сут
«Салют-7»	$43,3 \text{ м}^3$	168 сут 03 ч 51 мин
«Мир»	$65,0 \text{ м}^3$	365 сут 22 ч 39 мин
	$197,3 \text{ м}^3$ (max !)	193 сут 19 ч 08 мин

Первые примерно 150 лет развития воздухоплавания (1783–1931 гг.) были связаны, в основном, с развитием лишь одной из подсистем комплекса СЖО, а именно системы обеспечения газового состава. Развитие других подсистем (питания, водообеспечения, бытового оборудования и др.) началось в первой четверти XX века в период широкомасштабного использования боевых подводных лодок, а также пас-

сажирских дирижаблей и самолетов. СЖО на запасах расходуемых компонентов (обеспечение атмосферы в обитаемых отсеках, водообеспечение экипажей, питание, удаление отходов) впервые использовались на подводных лодках. Интенсивное строительство и применение военных подводных лодок происходило в 1900–1918 гг. – в канун и в ходе Первой мировой войны. Внедрение СЖО на дирижаблях началось с пассажирского дирижабля «Германия» (1910 г.), когда возникла необходимость обеспечения комфортного пребывания на нем пассажиров в течение длительных перелетов [39]. На самолетах такой отправной точкой можно считать 1914 год, когда был создан «Илья Муромец». В последующие годы началось бурное развитие гражданской авиации как в Европе, так и в Америке [37], что вызвало необходимость совершенствования существующих средств жизнеобеспечения.

Ярким примером заимствования технологий в морском флоте, авиации и космонавтике является история развития вентиляционных скафандров. От создания первого прообраза подводного скафандра Леонардо да Винчи до космического скафандра прошло 479 лет (1480–1959 гг.). От водолазного до авиационного (1480–1931 гг.) – 451 год, от авиационного до космического (1931–1959 гг.) – лишь 28 лет.

На рис. 1 представлена картина эволюционного развития вентиляционных скафандров, используемых человеком в различных агрессивных средах. Можно проследить исторические связи и прогресс технологий водолазных, авиационных и космических скафандров как среди каждого вида (слева направо), так и от вида к виду (снизу вверх).

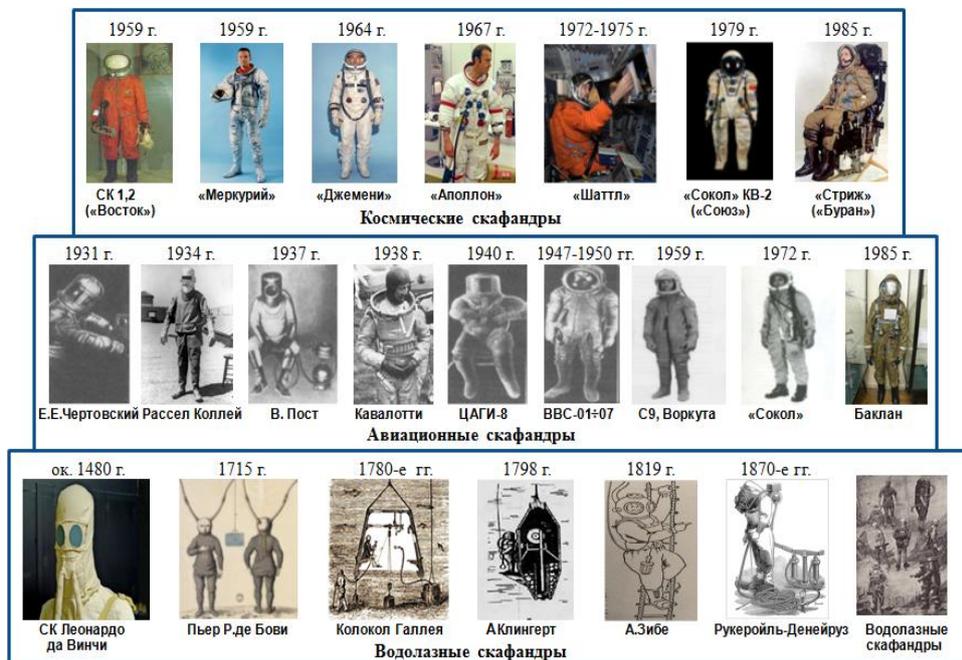


Рис. 1. Эволюция скафандров вентиляционного типа

Самое раннее техническое предложение о создании высотного скафандра принадлежит французскому инженеру А. Андриэ (1900 г.), а первый патент на авиационный скафандр был получен американцем Ф. Сэмплом [8, 30]. Несмотря на эти разработки, а также большое число созданных к началу века водолазных скафандров [25], первые высотные скафандры появились только в конце первой четверти XX века. Первый отечественный авиационный скафандр «Ч1» был сконструирован Е.Е. Чертовским (1931 г). По сути, он явился защитным герметичным костюмом с неполной СЖО. В 1934 году американец В. Пост впервые в мире в скафандре на моноплане Локхид «Вега» достиг высоты 15 240 м. С этих пор авиационные скафандры начали создаваться ускоренными темпами, поскольку появилась реальная возможность покорения больших высот, в том числе и в военных целях. В СССР удачные конструкции скафандров были разработаны в ЦАГИ А. Бойко и А. Хромушкиным. Для улучшения подвижности летчика стали использоваться шарниры и пониженное давление в подскафандровом пространстве. Скафандры имели двухслойную оболочку из прорезиненной ткани и разъем в поясной части. Все эти технологии впоследствии были реализованы в космических скафандрах. Первые космические скафандры СК-1, 2 для ПКА «Восток», «Меркурий» были фактически соответствующими доработанными высотными авиационными скафандрами.

Преемственность технологий в отечественном скафандростроении достаточно убедительно показана авторами [10]. Использование элементов оболочек и СЖО отчетливо прослеживается для всех типов космических скафандров – спасательных (СК-1, «Беркут», «Сокол», «Стриж»), скафандров для ВКД («Ястреб», «Орлан-ЛЗ», «Орлан-Д», «Орлан-М»), лунных («Орел», «Кречет»). Аналогичные подходы были реализованы и при создании зарубежных скафандров [30, 35, 36].

Укажем основные технологии жизнеобеспечения, заимствованные из подводного флота и авиации, адаптированные для пилотируемых космических комплексов различного назначения:

- изготовления и эксплуатации герметичных кабин;
- создания скафандров вентиляционного и регенерационного типов;
- очистки воздуха герметичных отсеков (от вредных примесей с помощью гопкалита, активированного угля, твердых надперикисных соединений, силикагеля);
- осушки воздуха;
- поддержания (регулирования) общего давления;
- создания испарительных систем охлаждения и теплообменных устройств;
- создания воздухопроводов и вентиляции воздуха в обитаемых зонах;
- создания элементов высотного оборудования (клапанов, регуляторов давления и подачи воздуха, датчиков, запорных кранов и др.);
- создания средств борьбы с пожаром, индивидуальных дыхательных аппаратов;
- создания аппаратуры контроля параметров атмосферы;
- электролиза воды;
- получения кислорода при разложении хлоратов;
- средства спасения и выживания в различных климатогеографических зонах;
- управления СЖО.

## Эволюция СЖО ПКА

Системы жизнеобеспечения ПКА с 1961 года прошли большой путь развития от простых узлов на запасах расходных компонентов до широкого внедрения регенерационных систем (рис. 2). В период с 12 апреля 1961 года (полет Ю.А. Гагарина на корабле «Восток») по январь 1975 года (ОКС «Салют-4») на отечественных и зарубежных ПКА использовались только системы жизнеобеспечения на запасах. Первая экспериментальная отработка в космическом полете систем, построенных на физико-химических принципах, была осуществлена экипажем А.А. Губарева и Г.М. Гречко на орбитальной станции «Салют-4».

Первой такой системой была система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги (СРВ-К), созданная в НИИХИММАШе. Впервые были решены задачи разделения в невесомости водовоздушной смеси, очистки воды от примесей и доведения ее до питьевой кондиции. Этот же экипаж, используя питьевую воду из СРВ-К, впервые провел апробацию сублимированных продуктов питания [21, 47].

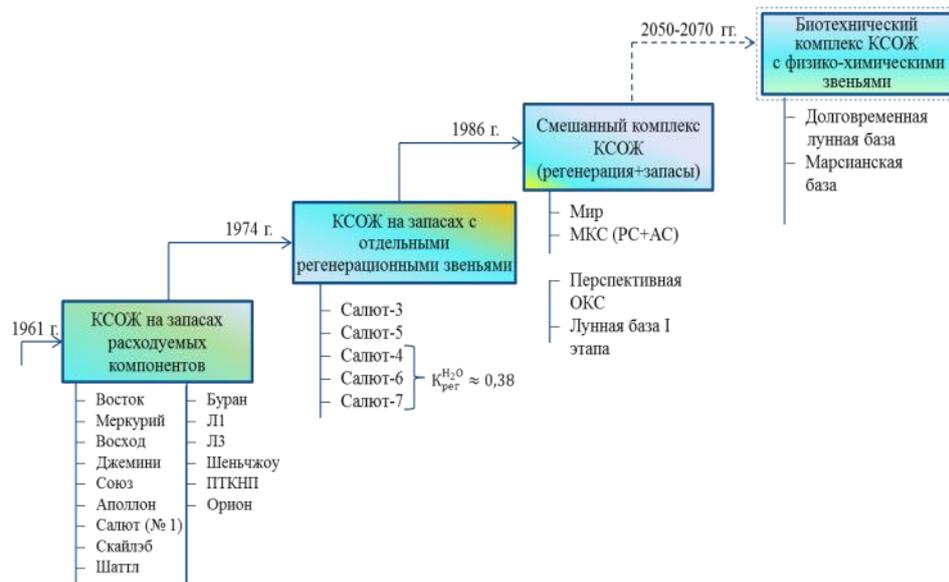


Рис. 2. Этапы развития СЖО на ПКА

На ОКС «Мир» в период с 16.03.1986 г. по 28.09.1999 г. впервые прошли летные испытания и другие регенерационные системы – регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ) и урины (СРВ-У). Экономия массы доставок по воде при этом составила 22,65 т.

Кроме того, был получен уникальный опыт, который позволил приступить к созданию более совершенных регенерационных СЖО, имеющих большие перспективы и для полетов за пределы земных орбит. Реактор Сабатье для переработки углекислого газа был впервые использован на американском сегменте МКС, хотя наземный аналог этой системы был разработан в РФ (НИИХИММАШ) за много лет до этого. Электролизеры, позволяющие получать кислород из воды, успешно применяются на ОКС «Мир» и МКС [23]. При этом используются раз-

личные электрохимические технологии: в российской системе «Электрон» применяется щелочной электролит, в американской – твердый электролит на основе ионообменных мембран.

Достаточно хорошо отработанные в космосе СЖО на запасах будут использоваться и в перспективных ПКА, поскольку имеют свою нишу эффективного применения при краткосрочных (до 1 мес.) пилотируемых полетах. Основными задачами совершенствования физико-химических СЖО в ближайшие годы будут создание единого регенерационного комплекса с высокой степенью замкнутости по воде и газу, внедрение в структуру регенерационных комплексов витаминных оранжерей, разработка технологий, минимизирующих энергопотребление систем и их массу на единицу вырабатываемого продукта, а также трудозатраты экипажа на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Применение на ПКА физико-химических СЖО стало одним из важнейших достижений современной науки и техники. Однако подобные системы обладают одним серьезным неустранимым недостатком – они не позволяют осуществлять синтез пищевых продуктов. Решение данной проблемы возможно только за счет использования биотехнических (биолого-технических) систем жизнеобеспечения (БТ СЖО).

### **Этапы исследований и перспективные разработки биотехнических СЖО**

По мере продвижения человека в дальний космос пополнение рационов питания с Земли будет все менее реальным. В таких полетах только БТ СЖО могут обеспечить полную автономность пребывания экипажа на ПКА или напланетных базах.

Зачастую ученые, изучающие проблемы организации круговоротных процессов в БТ СЖО, обращаются к подобным процессам в природе. Однако слепой перенос природных циклов на борт ПКА невозможен, поскольку они включают в массообмен огромные количества разнообразных веществ и могут длиться сотни лет [48]. Круговорот веществ в БТ СЖО должен ориентироваться на физиологические потребности человека в кислороде и съедобной пище.

Впервые идея использования биологических процессов в системах регенерации среды обитания была высказана К.Э. Циолковским в 1895 году в работе «Грезы о Земле и Небе и эффекты всемирного тяготения». Начало исследованиям по БТ СЖО было положено Ф.А. Цандером в 1915 году. Затем наступил почти 40-летний перерыв в проведении целенаправленного изучения БТ СЖО, пока в США не начались работы по культивированию водорослей (N.J. Bowman).

Многочисленные и долгие исследования одноклеточных водорослей показали, что они могут использоваться в целях регенерации атмосферы и воды и не могут применяться в пищу. Иными словами, только с помощью низших растений – одноклеточных водорослей (типа хлореллы, спирулины) можно добиться, как и с помощью физико-химических систем, создания лишь частично замкнутых СЖО. Для перспективных высокозамкнутых обитаемых ПКА становится необходимым использование высших растений как обязательной составной части БТ СЖО.

Основные этапы выполненных работ по БТ СЖО представлены на рис. 3. Базовые исследования по фундаментальным проблемам создания систем были проведены в период 1953–1962 гг.

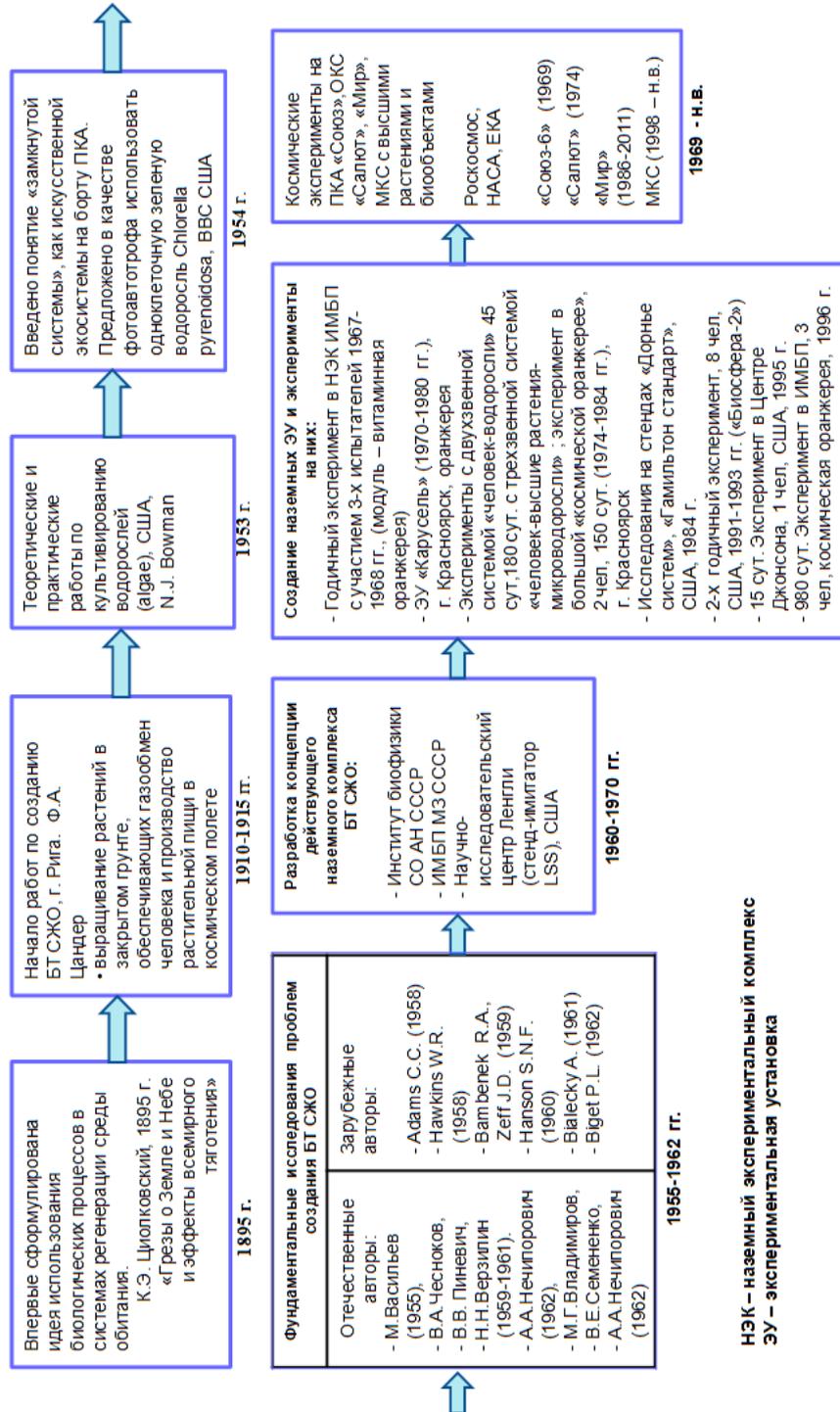


Рис. 3. Этапы работ по биотехническому СЖО

С 1960 года в СССР и США проводились активные работы по созданию наземных установок и комплексов для экспериментальной отработки биотехнических СЖО, в том числе и с участием людей в качестве испытателей. Результаты этих экспериментов и сегодняшних исследований [48] не позволяют надеяться на появление в ближайшие десятилетия летных образцов полноценных высокозамкнутых БТ СЖО. Предстоит еще длительный период поиска новых технологических решений, которые приведут к созданию штатных систем. Можно ожидать, что биотехнический комплекс СЖО с физико-химическими звеньями будет разработан в период 2050–2070 гг. Перед использованием в марсианских экспедициях [29] такой комплекс мог бы быть апробирован на долговременной лунной базе.

### **Пионеры создания технологий космических СЖО**

Решение задач практического создания СЖО стало возможным благодаря достижениям в области фундаментальных наук, разработке технологий получения новых материалов, развитию мощной наземной экспериментальной базы. Основной вклад в решение фундаментальных проблем создания СЖО внесли следующие отечественные ученые: К.Э. Циолковский, В.И. Вернадский, Ф.А. Цандер, Л.А. Орбели, А.В. Лебединский, В.В. Парин, О.Г. Газенко, В.И. Яздовский, А.М. Генин, А.Д. Серяпин, И.И. Гительзон, И.А. Терсков, А.А. Нечипорович, Е.Я. Шепелев.

В когорту зарубежных ученых, внесших базовый вклад в разработку теоретических основ создания СЖО, входят: Г. Оберт, Х.Г. Армстронг, Л.И. Бауэр, К. Белл, П.А. Кемпбелл, Л. Хилл, О.Х. Гауэр, С.Д. Гератеволь, А. Грейбил, Т. Найт, В.Х. Метьюз, П.А. Пиорри, Ч.А. Берри, Д. Тальбот, М. Дель Дека, Д.Н. Филлипс, Д.Е. Мейерс, Н.Д. Боуман.

Создание собственно технологий и штатных образцов СЖО для ПКА осуществлялось, как правило, в ведомственных НИИ и на головных предприятиях-разработчиках ПКА. Для экспериментальной отработки СЖО использовались крупные авиационно-космические центры и наземно-экспериментальные комплексы базовых организаций. Первыми отечественными учеными и конструкторами, создавшими штатные образцы СЖО, успешно использовавшиеся на ПКА, стали: Г.И. Воронин, И.В. Лавров, Г.И. Северин, С.М. Алексеев, М.А. Семенов, В.К. Новиков, Е.И. Зайцев, А.И. Бойко, А.И. Хромушкин, И.П. Абрамов, А.Ю. Стоклицкий, Е.Е. Чертовский, В.И. Сверщек, Н.М. Самсонов, Л.С. Бобе, А.С. Гузенберг, А.М. Рябкин, А.С. Барер, Н.Л. Уманский, Б.А. Адамович, С.В. Чижов, В.П. Зинченко, Ю.Е. Синяк, В.С. Никифоров, Н.Н. Протасов, Д.В. Кучевичский, Ю.Г. Нефедов, Н.С. Фарафонов, В.Н. Правецкий, Э.Г. Завадовский, В.Н. Серебряков, Л.А. Мохов.

За рубежом в пионерских работах по СЖО для экипажей ПКА участвовали следующие ученые и конструкторы: Р.С. Армстронг, Д.Р. Барнет, Д.К. Бегге, Ч.А. Берри, Р.К. Бриз, У.Гай, С.С. Гальдерон, Р. Граф, К.В. Джексон, У.Л. Джонс, Р.С. Джонстон, Г.Л. Дрейк, К.Д. Кинг, Ю. Конеччи, К.С. Лич, Д.Л. Мезон, М.В. Реймонт, Е.Н. Рот, Д.А. Смайли, А.И. Скуг, Д.А. Стил, Д.Л. Хобарт, Д.В. Форбек, Д. Хьюз, В. Эллис, Р.Фрай, Д.Аллен, П. Моллер, В. Вэй, Шен Лепинг.

### **Развитие отечественной экспериментальной базы для отработки технологий СЖО ПКА**

В 1948 году Правительством СССР было принято решение о проведении серии экспериментов с животными на борту космических объектов. В Институте авиационной медицины (НИИ АМ ВВС) была создана лаборатория космических СЖО под руководством В.И. Яздовского. С этого момента в нашей стране начались системные исследования в интересах разработки технологий космических СЖО. В последующие годы был принят целый ряд организационно-управленческих решений по созданию отечественной экспериментально-производственной базы по данному направлению. Отдельные специализированные предприятия, разрабатывающие СЖО для авиации, были сориентированы и на космическую технику. Во исполнение соответствующего Решения Правительства СССР (позже оно было оформлено как Постановление Совмина СССР от 06.02.1953 г.) Приказом МАП был создан опытный завод № 918 в п.г.т. Томилино (ныне ОАО «Звезда») [40]. В структуре госавиазавода № 34 (г. Москва) было сформировано ОКБ-34, выросшее позже в агрегатный завод «Наука» (ныне ОАО НПП «Наука») [41]. Постановлением СМ СССР от 13.02.1965 г. «О создании системы экспериментального комплекса по медико-биологическому обеспечению космических полетов» было образовано СОКБ при НИИХИММАШе для разработки физико-химических СЖО [47].

Необходимая база была создана и на головных предприятиях по космической технике ОКБ-1 (ЦКБМ, ныне ПАО «РКК «Энергия» г. Королев), ЦКБМ (НПО «Машиностроение» г. Реутов) [42], машиностроительном заводе им. М.В. Хруничева (ныне ФГУП «ГК НППЦ» им. М.В. Хруничева, г. Москва) [43], НПО «Молния» (ныне ОАО НПО «Молния», г. Москва) [46].

В интересах разработки отдельных компонентов СЖО (агрегатов, приборов, других элементов СЖО) на ряде предприятий и институтов АН СССР были созданы специализированные отделы, лаборатории, цеха. К ним можно отнести: СКБ АП АН СССР (г. Ленинград) [45], ВНИЭКИПродмаш (г. Москва), НИИАО (г. Жуковский), СКБ-КДА (г. Орехово-Зуево), НИХИ (г. Тамбов), Прибалтийский химкомбинат (г. Таллин), Бирюлевский экспериментальный завод РАСХН, Институт биофизики СО АН СССР и др.

Для комплексной экспериментальной отработки СЖО и проведения их межведомственных испытаний соответствующим образом были оснащены такие организации как ИМБП МЗ СССР, ГНИИАиКМ МО СССР в г. Москве и Чкаловский филиал ГЛИЦ ВВС [44]. Наземные моделирующие комплексы СЖО для подготовки космонавтов и сопровождения космических полетов разрабатывались ОКТБ «Орбита» (ныне ООО «ЦТ и ПП», г. Новочеркасск, г. Москва). Подготовка космонавтов была возложена на ЦПК ВВС (ныне ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»). Кроме того, ученые, космонавты и другой персонал Центра участвовали в наземных, морских и летных испытаниях СЖО, а также экспертизе соответствующих проектных документов. Летная отработка и эксплуатация СЖО осуществляются космонавтами под руководством Центров управления полетами (до 1975 г. ЦУП, г. Евпатория, после – ЦУП ЦНИИМАШ, г. Королёв).

В СССР (РФ) создана стройная система, включающая НИИ, проектные организации, производственные предприятия, наземную экспериментальную базу (экспериментальные установки с натурными макетами ПКА, моделирующие и барокамерные комплексы, самолетные и морские средства и др.), программы, методы и средства испытаний СЖО (рис. 4), а также высококвалифицированный

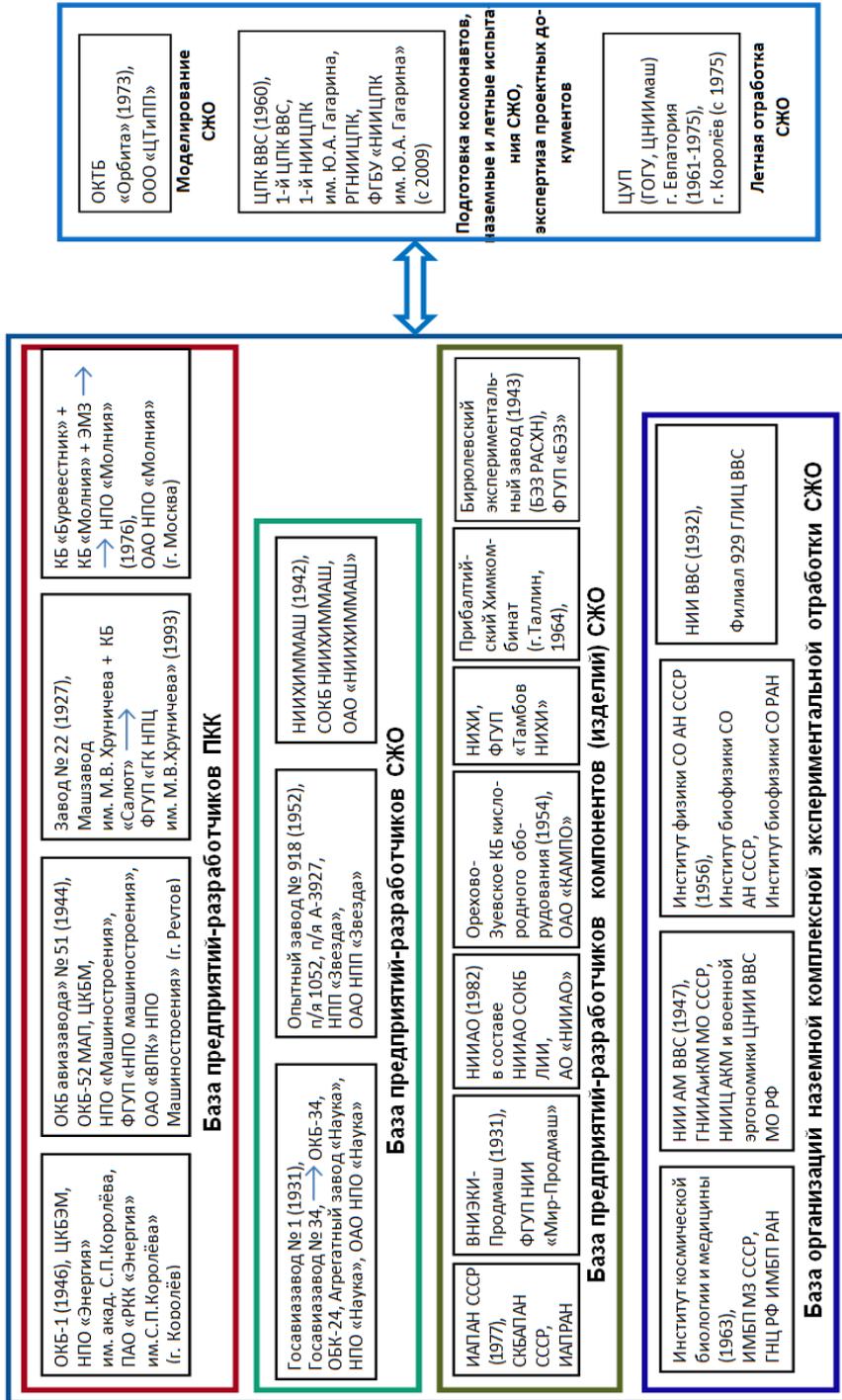


Рис. 4. Отечественная экспериментальная база для отработки технологий СЖО

персонал. Отечественная система исследований, испытаний и эксплуатации СЖО отвечает современным достижениям мировой науки и техники и способна адаптироваться под перспективные космические программы.

Значимое место в данной системе занимает НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина (рис. 5). Основная роль, возлагаемая на Центр при создании СЖО, отводится от разработке человеко-машинного интерфейса, методик работы экипажей с системами жизнеобеспечения в штатных режимах и нештатных ситуациях, натурным наземным и летным испытаниям СЖО.



Рис. 5. Роль НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина в развитии технологий СЖО

## Заключение

1. Первые опыты освоения человеком экстремальных условий связаны с развитием подводных работ и стратосферными полетами. В процессе их осуществления были созданы первые средства жизнеобеспечения, существенно увеличившие возможности человека по расширению сферы своей деятельности.

2. Необходимость длительного автономного подводного плавания, создания высотной авиации, полетов в космос привели к появлению новых отраслей наук (подводная медицина, авиационная медицина, космическая медицина), обеспечивших фундамент для успешной разработки СЖО ПКА.

3. Эволюция развития СЖО для ПКА проходила от простых систем на запасах расходимых компонентов к появлению одиночных регенерационных звеньев и, наконец, созданию комплекса регенерационных подсистем. Отмечается высокая преимущество технологий создания СЖО, разработанных для смежных областей применения, особенно в авиации и подводном флоте. Современный этап развития технологий СЖО характеризуется разработкой и использованием на ПКА эффективных регенерационных подсистем по воде и газу, построенных на физико-химических принципах функционирования.

4. Около ста лет прошло с начала первых работ по исследованию возможностей использования биотехнических СЖО для обеспечения длительного и незави-

симого от поставок с Земли пребывания человека в космосе. За прошедшие годы за рубежом и в нашей стране выполнен большой объем соответствующих фундаментальных исследований, однако существенного прогресса в создании летных образцов биотехнических СЖО пока не достигнуто.

5. Прогресс развития технологий СЖО для ПКА во второй половине XX века в существенной степени определялся своевременным созданием соответствующей экспериментально-производственной базы, которая, как правило, развивалась на основе авиационных предприятий, построенных в предшествующие годы. На уровне государства был принят ряд важнейших решений по реорганизации отечественных предприятий, созданию новых конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов, что в значительной мере обеспечило приоритет нашей страны в выполнении длительных пилотируемых космических полетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рожнов В.Ф. Космические системы жизнеобеспечения. Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. – 344 с., ил.
- [2] Космонавтика 21 века / Под ред. акад. Б.Е. Чертока. – М.: Изд-во «РТСофт», 2010. – 864 с.
- [3] Концепции, направления и перспективы развития мировой пилотируемой космонавтики / Крючков Б.И., Курицын А.А., Ярополов В.И. – Звездный городок, НИИ ЦПК, 2013. – 257 с.
- [4] Афанасьев И.Б., Батулин Ю.М., Белозерский А.Г. и др. Мировая пилотируемая космонавтика. История. Техника. Люди. Под ред. Ю.М. Батурина. – М.: «РТСофт», 2005. – 732 с.
- [5] Морозов Г.И. Проектирование биотехнических систем жизнеобеспечения космонавтов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2010. – 188 с.
- [6] Скафандры и системы для работы в открытом космосе/ Абрамов И.П., Северин Г.И., Стоклицкий А.Ю. и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
- [7] Серебряков В.Н. Основы проектирования СЖО экипажа космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
- [8] Морозов И.В. К заоблачным глубинам. История высотных полетов. – Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2015. – 240 с.
- [9] Дятчин Н.И. История развития техники. – Ростов-на-Дону: Изд. «Феникс», 2001. – 320 с.
- [10] Космические скафандры России / Абрамов И.П., Дудник М.Н., Сверщек В.И. и др. – М., 2005. – 360 с.
- [11] Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов / Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Пращецкий В.Н. – М.: Машиностроение, 1986. – 584 с.
- [12] Шибанов Г.П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. – М.: Машиностроение, 2007. – 544 с.
- [13] Адамович Б.А., Горшенин В.А. Жизнь вне Земли. – М.: Издание Межгосударственного финансово-промышленного концерна «Технология–Индустрия», 1997. – 591 с.
- [14] Внекорабельная деятельность космонавтов / Юзов Н.И., Крючков Б.И., Шувалов В.А. – Звездный городок: Издание РГНИИЦПК, 1998. – 375 с.
- [15] Воронин Г.И., Поливода А.И. Жизнеобеспечение экипажей космических кораблей. – М.: Машиностроение, 1967.
- [16] История развития отечественной пилотируемой космонавтики. Под ред. Бармина И.В. – М.: ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. – 752 с.
- [17] Werner Buedeler. Geschichte der Raumfahrt. Sigloch Buchbinderei, Kunzelsau. ISBN: 3-89393-194-5, 2001. -506 s.
- [18] Wolfgang Engelhardt. Enzyklopadie Raumfahrt. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main. ISBN: 3-8171-1401-X, 2001. – 693 s.
- [19] Чэнчжи Ли. Развитие китайских космических технологий / Под ред. Бао Хан Ихуа, Ю.М. Батурина и др. – СПб.: Нестор–История, 2013. – 236 с.
- [20] Высотное оборудование самолетов / Быков А.Т., Егоров М.С., Тарасов П.В. – М.: Государственное изд-во оборонной промышленности, 1958. – 392 с.

- [21] Перспективы развития регенерационного водоснабжения пилотируемых космических станций / Бобе Л.С., Кочетков А.А., Андрейчук П.О. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 2 (11). – С. 51–60.
- [22] Ярополов В.И. Внутренний объем обитаемого пространства ПКК, необходимый для выполнения полета определенной длительности // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 1 (3). – С. 85–96.
- [23] Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А. Электрохимические системы регенерации среды обитания для экипажа космической станции: анализ и оптимизация общей массы // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 1 (14). – С. 77–91.
- [24] Космическая биология и медицина. Т. I–V (совместное российско-американское издание). – М.: Изд-во «Наука», 1994–1997.
- [25] Энциклопедический словарь. – 7-е издание Т-ва Братьев Гранат. – М., 1912.
- [26] На пути к Марсу / Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Наука в России. – № 1 (199). – 2014. – С. 11–18.
- [27] Войтов Д.В. Подводные обитаемые аппараты. – М.: ООО «Изд. АСТ», 2002. – 303 с.
- [28] Платонов К.К. Человек в полете. – М.: Воениздат, 1957. – 285 с.
- [29] Прогноз развития систем жизнеобеспечения в XXI веке / Крючков Б.И., Бобе Л.С., Сияк Ю.Е., Андрейчук П.О. // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2009. – 171 с.
- [30] Исторический опыт использования передовых технологических решений в области создания космических систем жизнеобеспечения / Крючков Б.И., Усов В.М. / Тезисы докладов. 8-й Международный Аэрокосмический конгресс IAC, 15. – М., 2015. – С. 375.
- [31] Hermann Oberth. Die Rakete zu den Planetenraumen. – Nurnberg.; Uni-Verlag Feucht, 1984. – 92 s.
- [32] История отечественной космической медицины / Под ред. Ушакова И.Б., Бедненко В.С., Лапаева Э.В. – М.: Воронеж, 2001. – 320 с.
- [33] Крючков Б.И. Хуго Юнкерс // Аэрокосмический курьер. – 2003. – № 2. – С. 94–96.
- [34] В.И. Яздовский. На тропях Вселенной. – М.: Слово, 1996. – 288 с.
- [35] А.И. Скуг, С. Бертъе, У.Оливье. Европейский космический скафандр // Acta Astronautica, 1991, 23, С. 207–216.
- [36] Maxim A. Fadet, Walter W. Guy. Space Shuttle Life Support Systems A Status Report. XXXII Congress of IAF, 1981, Italy, Sept. 6–12, 44 pp.
- [37] Р. Дж. Грэнт. Авиация. 100 лет. – М.: ООО Изд-во «Росмэн-Пресс», 2004. – 440 с.
- [38] Д. Спарроу. История космических полетов. Люди, события, триумфы, катастрофы. – М.: ЗАО «БММ», 2010. – 320 с.
- [39] Mike Flynn. Hindenburg und Die Grose Zeit Der Luftschiffe. – Wien.: «Print Company Verlagsgesellschaft mbH», 1999. – 96 s.
- [40] <http://www.npp-zvezda.ru>
- [41] <http://npo-nauka.ru>
- [42] <http://www.npomash.ru>
- [43] <http://www.khrunichev.ru>
- [44] <http://voenchast.ru/vch15650.html>
- [45] <http://iairas.ru>
- [46] <http://www.npomolniya.ru>
- [47] <http://www.niichimmash.ru>

# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.7

### КОСМОНАВТЫ – ВЫПУСКНИКИ СПЕЦШКОЛ ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ

М.Н. Бурдаев

Докт. техн. наук, профессор М.Н. Бурдаев  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье кратко изложена история создания специальных средних школ Военно-воздушных сил, рассказано об их выпускниках, вошедших в основной состав двух первых наборов космонавтов.

**Ключевые слова:** спецшколы, выпускники, космонавты.

#### **Cosmonauts – Graduates of the Air Force’s Special Schools.**

**M.N. Burdaev**

The paper briefly describes the history of establishing the special secondary schools of Air Force, narrates about their graduates who were selected as cosmonaut candidates during two first recruitments.

**Keyword:** special schools, graduates, cosmonauts.

6 ноября 2017 года исполнилось 77 лет со дня создания в нашей стране специальных средних школ Военно-воздушных сил.

Перед Великой Отечественной войной стало очевидным, что военная техника становилась все более сложной, а этой техникой должны управлять более грамотные и умелые люди.

Нашлись в нашем государстве в то время умные и прозорливые руководители, которые сумели убедить правительство в необходимости начинать обучение военных специалистов с более раннего возраста, когда у человека способность восприятия и усвоения знаний и навыков существенно выше, чем в зрелом возрасте. По решению правительства от 5 мая 1937 года пять московских средних школ Наркомата просвещения в экспериментальном порядке приступили к обучению юношей восьмых–десятых классов по специальной программе, согласно которой математика, физика, химия, черчение и военное дело изучались приближенно к программам военных училищ.

Школы комплектовались учащимися, которые успешно окончили 7 классов и были годны по состоянию здоровья для поступления в военные училища. В соответствии с Положением о специальных школах их выпускники могли после десятого класса поступать в любые военные училища.

Однако уже в ноябре 1937 года в Положение было внесено уточнение, по которому все спецшколы становились артиллерийскими, а их выпускники шли на комплектование артиллерийских училищ. Часть ребят, мечтавших стать моряками или летчиками, покинула спецшколы.

В то же время сама жизнь подсказывала, что такие спецшколы были нужны для обучения и воспитания летчиков. Это проистекало из самой специфики летного труда.

Был поднят вопрос о создании специальных школ для Военно-воздушных сил. Большую роль в организации таких школ сыграл наш прославленный летчик Михаил Михайлович Громов, крупнейший знаток проблем обучения высококлассных пилотов, прошедший путь от «учлета» до командующего авиационным объединением в годы Великой Отечественной войны и начальника Главного управления боевой подготовки фронтовой авиации. При его непосредственном содействии в мае 1940 года руководство ВВС обратилось в правительство с просьбой «организовать... авиационные спецшколы Наркомпроса по типу артиллерийских с обязательным ежегодным выходом в лагерь, с организацией общежитий (интернатов) для иногородних учеников».

В ноябре 1940 года по этому вопросу правительство приняло решение:

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ М 2276 Совета народных комиссаров Союза ССР**

6 ноября 1940 г., г. Москва, Кремль.

**Об организации специальных средних школ Военно-воздушных сил**

Совет народных комиссаров Союза ССР постановляет:

1. В целях подготовки кадров для комплектования военно-авиационных училищ летчиков и летчиков-наблюдателей ВВС Красной Армии предложить Совнаркомам РСФСР, УССР, БССР, Грузинской ССР и Армянской ССР организовать в системе народных комиссариатов просвещения 20 специальных средних школ Военно-воздушных сил (в составе восьмого, девятого и десятого классов) в следующих городах: Москве, Ленинграде, Воронеже, Горьком, Саратове, Сталинграде, Иваново, Курске, Свердловске, Ростове-на-Дону, Казани, Краснодаре, Киеве, Ворошиловграде, Харькове, Днепропетровске, Одессе, Минске, Тбилиси и Ереване.

2. Установить общее количество учащихся во всех трех классах каждой специальной средней школы Военно-воздушных сил 500 человек.

3. Утвердить Положение о специальных средних школах Военно-воздушных сил.

4. Предложить народным комиссариатам просвещения РСФСР, УССР, БССР, Грузинской ССР и Армянской ССР совместно с Народным комиссариатом обороны:

а) произвести прием учащихся в специальные средние школы Военно-воздушных сил к 1 января 1941 г.; в восьмые классы (параллельные) каждой школы 200 человек из числа обучающихся в этих классах средней школы, в девятые и десятые (параллельные) классы каждой школы по 150 человек из числа обучающихся соответственно в девятых и десятых классах средней школы;

б) не позднее 10 декабря 1940 г. утвердить учебные планы и программы специальных средних школ Военно-воздушных сил и, в частности, переходные учебные планы и программы всех трех классов этих школ на 1941 учебный год;

в) обеспечить начало занятий в специальных средних школах Военно-воздушных сил со 2 января 1941 г.

*Зам. председателя Совета народных комиссаров Союза ССР А. Микоян*

*Управляющий делами Совета народных комиссаров СССР М. Хломов*

*Утверждено Советом народных комиссаров 6 ноября 1940 г.*

Желающих попасть в спецшколы оказалось довольно много. Молодых людей влекла романтика авиационной службы, чувство долга по защите Отечества.

Структура спецшколы была подобна армейским подразделениям со своими ротами, взводами, воинской дисциплиной, командирами и распорядком. Обучение, обмундирование, питание, а для некоторых и жилье, оплачивались государством. Спецшкольники или «спецы», как они себя называли, носили особую форму одежды, которая была установлена приказом Наркома обороны.

Учащиеся, окончившие спецшколы ВВС, приходили в авиационные училища со знанием уставов Красной армии, основ воинской службы, имели понятия о самолетах, летной профессии и других премудростях армейской жизни. По сравнению с курсантами, окончившими 10 классов обычной средней школы, «спецы» были намного лучше подготовлены к изучению не только военных предметов, но и общеобразовательных дисциплин. Кроме того, они выделялись физическим развитием, дисциплинированностью и крепкой товарищеской сплоченностью.

Как показало время, главным итогом работы специальных школ ВВС и несомненным их вкладом в укрепление и развитие наших Военно-воздушных сил и авиации в целом, авиационной техники и промышленности были люди. Они выросли из юных питомцев спецшкол и на протяжении нескольких десятилетий составляли костяк самых надежных кадров в ВВС, ПВО и в других видах Вооруженных сил.

В годы Великой Отечественной войны и в послевоенный период технического перевооружения нашей авиации выпускники спецшкол с честью оправдали надежды, которые возлагали на них правительство и командование ВВС. Многие из них отличились на полях сражений в годы Великой Отечественной войны и отдали свои жизни, защищая нашу великую Родину. Воевали «спецы» мужественно, смело, проявляя в бою находчивость и самоотверженность.

Анализ сохранившихся документов и живых свидетельств участников многочисленных событий из истории не только самих спецшкол ВВС, но и военных училищ, академий, НИИ, КБ авиапромышленности, боевых частей и соединений ВВС убедительно показывает, что выпускники спецшкол ВВС были впереди по результатам своей работы, по уровню знаний, по долголетию их последующей службы в войсках и верности лучшим традициям российской авиации, в том числе традиции беззаветной преданности военному долгу, бескорыстной дружбы и взаимопомощи, наконец, замечательной традиции регулярных встреч с однокашниками, братьями и воспитанниками других лет. Большинство из них было влюблено в авиацию до самозабвения, многие отдали ей все силы, знания, энергию и даже жизнь.

Специальные средние школы ВВС существовали до 1955 года. Среди выпускников спецшкол четверо стали дважды Героями Советского Союза и 23 – Героями СССР и РФ. По всем документам, которые нам удалось «поднять» и опросить живых свидетелей, за время своего существования специальные школы Военно-воздушных сил выпустили около 40 000 учеников, многие из которых стали командирами, политическими руководителями и инженерами авиационных воинских частей, соединений и объединений, руководителями институтов Министерства обороны и их подразделений, Управлений Минобороны, Главкоматов ВВС и ПВО, руководителями и работниками гражданской авиации, крупными специалистами авиационно-космической промышленности.

Среди выпускников спецшкол ВВС:

министр гражданской авиации маршал авиации А.Н. Волков;

министр станкостроительной и инструментальной промышленности СССР, Герой Социалистического Труда Б.В. Бальмонт;

заместитель начальника Главного штаба ВВС, главнокомандующий ВВС, Герой России генерал армии П.С. Дейнекин;  
главнокомандующий войск ПВО генерал армии В.А. Прудников;  
начальник Главного разведывательного управления Генерального штаба Вооруженных сил генерал-полковник Ф.И. Ладыгин;  
член Военного совета ВВС генерал-полковник авиации Л.Л. Батехин;  
заместитель главнокомандующего Объединенными вооруженными силами стран-участниц Варшавского договора по ВВС генерал-полковник авиации В.К. Андреев;  
первый заместитель министра гражданской авиации А.М. Горяшко;  
заместители главнокомандующего ВВС генерал-полковники авиации А.И. Аюпов, А.Н. Закревский;  
генерал-полковник авиации, начальник Военно-воздушной инженерной академии им. Н.Е. Жуковского В.Я. Кремлев;  
председатель Научно-технического комитета ВВС генерал-лейтенант авиации А.С. Клягин;  
летчики-испытатели – Герои Советского Союза генерал-майоры авиации А.О. Бежевец, Э.И. Кузнецов, А.В. Федотов, полковники Б.Л. Грузевич, Э.В. Елян, Г.К. Мосолов, В.П. Хомяков, подполковник В.П. Борисов, майоры С.Т. Агапов, Э.П. Княгиничев, В.А. Нефёдов, капитаны Н.Е. Кульчицкий, А.Г. Фастовец.

Когда в нашей стране начала создаваться пилотируемая космонавтика, выпускники спецшкол ВВС составили основу двух первых наборов космонавтов.

В первом наборе (март–апрель 1960 года) из одиннадцати человек было четверо спецшкольников ВВС: Д.А. Заикин, В.М. Комаров, М.З. Рафиков, Г.С. Шонин. Во втором наборе (10.01.1963 г.) спецшкольников ВВС было шестеро: Л.В. Воробьев, Л.С. Демин, Г.Т. Добровольский, А.П. Куклин, А.В. Филипченко и В.А. Шаталов. Из двадцати пяти первых космонавтов их было десять – 40 % от общего количества. После четвертого набора, в котором пришел в отряд одиннадцатый «спец» М.Н. Бурдаев, больше спецшкольников ВВС в отряде космонавтов не появлялось.

В создании российской космонавтики принимал участие выпускник 1-й Московской спецшколы ВВС, Герой Социалистического Труда, заместитель генерального конструктора НПО «Молния» Г.П. Дементьев. Он был главным конструктором орбитального самолета «Буран» и подписал разрешение на его первый полет.

Судьбы космонавтов-спецшкольников ВВС сложились по-разному. Три раза летал в космос дважды Герой Советского Союза генерал-лейтенант авиации В.А. Шаталов, по два раза – дважды Герои Советского Союза генерал-майор авиации А.В. Филипченко и полковник В.М. Комаров. По одному космическому полету совершили Герои Советского Союза генерал-майор авиации Г.С. Шонин, полковник-инженер Л.С. Демин, подполковник Г.Т. Добровольский – всего шестеро из одиннадцати. Двое из шести, В.М. Комаров и Г.Т. Добровольский, погибли в космических полетах. Еще двоих, Л.С. Демина и Г.С. Шонина, через несколько лет после полетов унесли из жизни болезни. Пять космонавтов-спецшкольников – почти половина их числа – по разным причинам не летали в космос.

Ветераны-выпускники спецшкол ВВС по-прежнему в строю, активно трудятся в различных сферах народного хозяйства, продолжают передавать славные традиции старших поколений. Они всегда были и остаются образцом нравственности, патриотизма, носителями высокой духовности, что является основой российской офицерской традиции.



В 2006 году в Военно-воздушной инженерной академии им. Н.Е. Жуковского прошла встреча выпускников средних специальных школ ВВС. В ней приняли участие несколько десятков ветеранов спецшкол. Вел встречу выпускник Харьковской спецшколы ВВС, бывший главком Военно-воздушных сил генерал армии Петр Степанович Дейнекин. В своем вступительном слове при открытии встречи он сказал: «Когда я был главкомом, я не знал, что все генералы в моем штабе – спецшкольники ВВС».

В 2009 году в Москве состоялась Учредительная конференция представителей спецшкол ВВС. На ней присутствовали делегаты от 9 спецшкол. На конференции была создана общественная организация – «Союз воспитанников спецшкол ВВС», принят устав, утверждено удостоверение и знак, избран исполком.

Вклад специальных школ ВВС в укрепление и развитие наших Военно-воздушных сил был значительным и полезным. Но только через двадцать лет после их закрытия об этом вспомнили. По постановлению Совета Министров СССР от 25 мая 1988 года стали создаваться средние общеобразовательные школы с дополнительными программами по первоначальной летной (штурманской, инженерно-технической подготовке) несовершеннолетних граждан. В 1990 году первыми открылись Барнаульская и Ейская школы, воспитанники которых предназначались для военных училищ летчиков истребительной и истребительно-бомбардировочной авиации. Затем к обучению приступили школы-интернаты: в 1994 г. – Ахтубинская, в 1995 г. – Неклиновская (г. Таганрог) и Оренбургская, в 1997 г. – Тамбовская и Челябинская. Все они до 1998 года руководствовались Положением о специальной школе-интернате с первоначальной летной подготовкой. Сейчас таких школ девять. Структурно они входят в состав образовательных учреждений, работающих в системе Минобороны России. Срок обучения – два года. После первого курса воспитанники проходят летную практику – до 50 часов на самолете Як-52 или вертолете Ми-2. Ежегодно большинство выпускников поступают в учебные заведения ВВС.

Со времени создания новых спецшкол прошло более четверти века. За это время ни один из их выпускников не пришел в отряд российских космонавтов. Традиция связи спецшкол ВВС и отряда космонавтов прервана и ждет своего возрождения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Егулов Н.Д., Пупков К.А. и др. Спецшколы Военно-воздушных сил: люди, годы, жизнь. Малоизвестные страницы истории авиации глазами выпускников спецшкол ВВС: летчиков истребительной и бомбардировочной авиации, летчиков-испытателей, летчиков-космонавтов, офицеров ПВО и ПРО, сотрудников внешней разведки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 417 с.
- [2] Толмачев Е.П. Организовать авиационные спецшколы...по типу артиллерийских // Молодежный военно-исторический журнал, специальный выпуск. – № 1. – 2006.
- [3] Крылья нашей юности: Воспоминания выпускников специальных средних школ ВВС. – М.: Рус. панорама, 2006. – 736 с.
- [4] <http://www.vlad.aif.ru/society/details/63545>. Выпускник ивановской спецшколы ВВС Авиард Фастовец испытывал секретные космические аппараты. Газета «Аргументы и Факты» – № 15, 11/04/2012.

## 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;

05.07.00 – авиационная и ракетно-космическая техника.

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.

#### *Заголовки*

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. Рисунки 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 – подрисуночную подпись. Рисунки, диаграммы, схемы, таблицы делать в черно-белом варианте, если цвет на них не несет нагрузку.

#### *Список литературы*

Набирается шрифтом «Times New Roman», 9 пунктов, интервал между строками «одинарный». Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

За автором сохраняется право копирования своей публикации.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в двух экземплярах. На первом экземпляре располагается подпись автора статьи. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Материалы, предоставленные для публикации в редакцию журнала, авторам не возвращаются.

**Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.**

#### **Вниманию читателей**

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редколлегия вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

#### **To the Attention of Readers**

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

#### ***Наши координаты для контактов***

***(по вопросам публикации, рекламы и деловых предложений)***

**Кальмин Андрей Валентинович** (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

**ПИЛОТИРУЕМЫЕ  
ПОЛЕТЫ В КОСМОС**  
(научный журнал)

Научный редактор *Л.К. Васильева*  
Редактор *С.Г. Токарева*  
Технический редактор *Н.В. Волкова*  
Корректор *Т.И. Лысенко*  
Перевод *С.Б. Беляковская*

Подписано в печать 12.12.17.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 783-17.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»