

## СОДЕРЖАНИЕ

### 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. Харлапов,

В.И. Ярополов.

### ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС .....4

Основные результаты подготовки  
и деятельности экипажа МКС-48/49  
при выполнении программы космического  
полета. *А.А. Иваншин* .....4

Медицинское обеспечение полета экипажа  
МКС-48/49 (экспресс-анализ).  
*В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова* .....16

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

Тренажерные комплексы. Достоинства  
и недостатки создания и эксплуатации.  
*Б.А. Наумов, В.П. Хрипунов, Д.В. Путилин* .....29

Информационное обеспечение экспертов  
Межведомственной экзаменационной  
комиссии при проведении комплексных  
экзаменационных тренировок на тренажерах  
РС МКС. *В.В. Батраков* .....37

Анализ опыта и методов моделирования  
научно-прикладных экспериментов  
на тренажерах орбитального комплекса  
«Мир». *Е.В. Полунина, В.Н. Саев,  
Л.Е. Шевченко* .....45

Анализ участия космонавтов МКС  
в операциях доставки, хранения  
и возвращения грузов. *Б.И. Крючков,  
В.И. Ярополов, А.Е. Маликов, В.М. Усов,  
Ю.Б. Сосюрка* .....61

Формирование уровней профессиональных  
летных качеств космонавтов в процессе  
специальной летной подготовки.  
*В.Г. Сорокин, М.Н. Бурдаев, М.Р. Халиков* .....82

Реакция гемодинамических показателей на пробу с дозированной физической нагрузкой в зависимости от типа кровообращения. <i>В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева, Т.Г. Шушунова, А.А. Монастырев, М.В. Домрачева, С.А. Горбачева, И.А. Юрченко, С.Н. Мороз</i> .....	94
ОБЗОРЫ.....	104
Инновации в практике подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности. <i>П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной</i> .....	104
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ .....	116
Двойной портрет: Г.Ю. Оберт и Б.В. Раушенбах. <i>Ю.М. Батулин, Б.И. Крючков</i> .....	116
Информация для авторов и читателей .....	134

## CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS .....	4
Main Results of the ISS-48/49 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>A.A. Ivanishin</i> .....	4
Medical Support of the ISS-48/49 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i> .....	16
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS .....	29
Simulator Complexes. Virtues and Shortcomings of Creation and Operation. <i>B.A. Naumov, V.P. Khripunov, D.V. Putilin</i> .....	29
Information Support of Experts of the Interdepartmental Examination Board in the Course of the Complex Exam Trainings on Simulators of the ISS RS. <i>V.V. Batrakov</i> .....	37
Analysis of Experience and Simulation Techniques of Scientific Applied Experiments on Simulators of the Orbital Complex “Mir”. <i>E.V. Polunina, V.N. Saev, L.E. Shevchenko</i> .....	45
An Analysis of Cosmonauts Participation in Cargo Delivery, Storage and Return Operations aboard the ISS. <i>B.I. Kryuchkov, V.I. Yaropolov, A.E. Malikov, V.M. Usov, Yu.B. Sosyurka</i> .....	61
Formation of the Levels of Professional Flying Skills of Cosmonauts in the Process of Special Flying Training. <i>V.G. Sorokin, M.N. Burdaev, M.R. Khalikov</i> .....	82
Reaction of Hemodynamic Parameters to the Test with Controlled Physical Load Depending on the Type of Blood Circulation. <i>V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastyrev, M.V. Domracheva, S.A. Gorbacheva, I.A. Yurchenko, S.N. Moroz</i> .....	94
OVERVIEWS.....	104
Innovations in the Practice of Cosmonaut Training for Extravehicular Activity. <i>P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy</i> .....	104
HISTORY. EVENTS. PEOPLE .....	116
Double Portrait: Hermann Yu. Oberth and Boris V. Rauschenbach. <i>Yu.M. Baturin, B.I. Kryuchkov</i> .....	116
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-48/49 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА А.А. Иванишин

Герой Российской Федерации, космонавт-испытатель 3-го класса А.А. Иванишин (Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-48/49 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС» 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-48/49 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. A.A. Ivanishin.**

The paper considers results of the ISS-48/49 expedition's activity aboard the «Soyuz MS» 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-48/49 в составе:

Иванишин Анатолий Алексеевич	командир ТПК «Союз МС» бортинженер МКС-48 командир экспедиции МКС-49 (Роскосмос, Россия)
Ониши Такуя	бортинженер ТПК «Союз МС» бортинженер МКС-48/49 (ДжАКСА, Япония)
Рубинс Кэтлин Хэллиси	бортинженер-2 ТПК «Союз МС» бортинженер МКС-48/49 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 115 суток с 7 июля 2016 года по 30 октября 2016 года. Позывной экипажа ТПК «Союз МС» – «Иркут».



Экипаж экспедиций МКС-48/49

### Опыт полетов членов экипажа

Иванишин Анатолий Алексеевич в отряде космонавтов с мая 2003 года. До назначения в экипаж совершил один космический полет с 14 ноября 2011 года по 27 апреля 2012 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-22» и бортинженера МКС-29/30. Продолжительность полета 165 сут. 7 ч 31 мин.

Ониши Такуя в марте 2009 года был отобран кандидатом в астронавты Японского аэрокосмического агентства (ДжАКСА). До назначения в экипаж опыта космических полетов не имел.

С февраля 2014 года по декабрь 2015 года проходил подготовку в составе дублирующего экипажа МКС-46/47 в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-19М» и бортинженера МКС-46/47.

С декабря 2015 года проходил подготовку в составе основного экипажа МКС-48/49 в качестве бортинженера ТПК «Союз МС» и МКС-48/49.

Рубинс Кэтлин Хэллиси – астронавт НАСА. Микробиолог по образованию. В июне 2009 года была зачислена в отряд астронавтов НАСА (20-й набор). До назначения в экипаж опыта космических полетов не имела.

С июня 2014 года по декабрь 2015 года проходила подготовку в составе дублирующего экипажа МКС-46/47 в качестве бортинженера-2 ТПК «Союз ТМА-19М» и бортинженера МКС-46/47.

С декабря 2015 года проходила подготовку в составе основного экипажа МКС-48/49 в качестве бортинженера-2 ТПК «Союз МС» и МКС-48/49.

### Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз МС» был осуществлен 7 июля 2016 года с космодрома Байконур (Казахстан).

$T_{\text{КП}} = 04:36:40$ ;  $T_{\text{КО}} = 04:45:28$  декретного московского времени (ДМВ).

Параметры орбиты выведения: период  $T = 88,68$  мин, наклонение  $i = 1,65$  град., высота  $h \times H = 199,03$  км  $\times$  247,13 км.

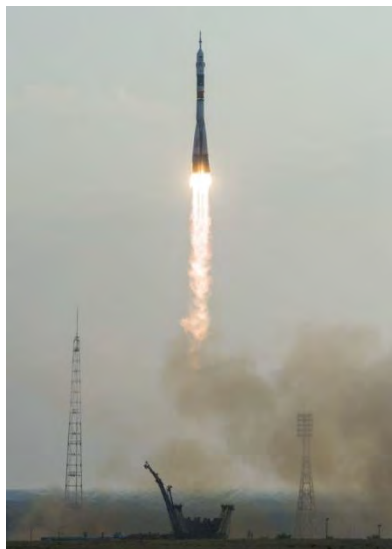
В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-48/49 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 9 июля 2016 года ТПК «Союз МС» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ( $T_{\text{М.З.}} = 07:06:31$  ДМВ);



Экипаж МКС-48/49 перед стартом

- сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по двухсуточной схеме полета;
- стыковка ТК «Прогресс МС-03» к СО1 осуществлена 19 июля 2016 года ( $T_{\text{М.З.}} = 03:29$  ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;
- сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-9 «Dragon» с МКС, захват манипулятором SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС выполнены 20 июля 2016 года ( $T_{\text{Окончания затяжки болтов}} = 17:08$  ДМВ);
- научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИ;
- техническое обслуживание бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы, дооснащение, проведение телевизионных репортажей, видео- и фото-съемок, работы по программе символической деятельности;
- извлечение манипулятором из корабля SpaceX-9 «Dragon» универсального стыковочного агрегата IDA2, перемещение и парковка у герметичного адаптера PMA2 модуля Node2 АС МКС были осуществлены 17 августа 2016 года;
- установка стыковочного агрегата IDA2 на герметичном адаптере PMA2 модуля Node2 выполнена в ходе выхода астронавтов 19 августа 2016 года в открытый космос ВКД-36 по программе АС МКС;
- расстыковка корабля SpaceX-9 «Dragon» от МКС осуществлена 26 августа 2016 года. Время отделения от манипулятора станции – 13:11 ДМВ;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-20М» от стыковочного узла модуля МИМ2 выполнена 7 сентября 2016 года. Время расстыковки – 00:50:00 ДМВ, время посадки СА – 04:14:42 ДМВ;
- расстыковка ТК «Прогресс МС-02» от АО СМ проведена 14 октября 2016 года ( $T_{\text{Расстыковки}} = 12:38:40$  ДМВ);
- стыковка ТПК «Союз МС-02» к стыковочному узлу модуля МИМ2 выполнена 21 октября 2016 года ( $T_{\text{М.З.}} = 12:52:27$  ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;



Старт ТПК «Союз МС» с экипажем МКС-48/49 на борту

– сближение американского грузового корабля «Cygnus OA-5» с МКС, захват манипулятором SSRMS, перемещение и установка корабля на надирный порт модуля Node1 АС МКС осуществлены 23 октября 2016 года ( $T_{\text{стыковки}} = 18:04$  ДМВ);  
– возвращение экипажа МКС-48/49 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз МС» выполнены 30 октября 2016 года. Время расстыковки – 03:35:01 ДМВ, время посадки СА – 06:58:25 ДМВ.



Возвращение экипажа МКС-48/49 на Землю

Состав экипажа корабля «Союз МС» при выполнении спуска:

- Иванишин Анатолий Алексеевич – командир корабля (Роскосмос, Россия);
- Ониши Такуя – бортинженер (ДжАКСА, Япония);
- Рубинс Кэтлин Хэллиси – бортинженер-2 (НАСА, США).

**Основные задачи подготовки экипажа к полету**

Подготовка к полету членов экипажа МКС-48/49 проводилась с 17 февраля 2014 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

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

- подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз МС»;
- 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;
- подготовка членов экипажа к действиям в аварийных ситуациях: пожар, разгерметизация, токсичность атмосферы;
- отработка действий по выполнению срочного спуска с орбиты в случае покидания МКС;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении расстыковки ТПК с неориентированной и нестабилизированной МКС;
- подготовка к выполнению сближения и причаливания ТПК «Прогресс МС» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении срочной расстыковки двух ТПК от МКС в дежурной ориентации;
- подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТПК «Прогресс МС» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-47/48, МКС-49/50;
- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- подготовка командира корабля к использованию планшетного компьютера для информационной поддержки экипажа на этапах предстартового контроля, выведения, сближения и спуска;
- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- подготовка к выполнению технического обслуживания, ремонта и дооснащения систем РС МКС;
- ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;



- подготовка к выполнению программы научно-прикладных исследований на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;
- 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 транспортном пилотируемом корабле «Союз МС»**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз МС» был произведен 7 июля 2016 года с космодрома Байконур.

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 04:36:40$ ;  $T_{КО} = 04:45:28$  ДМВ.

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

9 июля 2016 года на 1-м и 2-м витках полета выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ( $T_{МЗ} = 07:06:31$  ДМВ).

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».

29 октября 2016 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж приступил к подготовке к возвращению на Землю.

На 11-м суточном витке выполнена расконсервация корабля. Переход на автономное питание выполнен экипажем на этом же витке по указанию Земли в 23:39:50 ДМВ. После разрешения ЦУПа в 00:20 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 30 октября 2016 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС (с тестами РО-ДК и РО-АК) с последующим двухимпульсным отводом (первый импульс автоматический, второй – вручную экипажем в РО-АК). Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 03:33:30 ДМВ, время фактической расстыковки – 03:35:01 ДМВ.

После отработки первого импульса на отвод (~03:38:10 ДМВ) экипаж принял управления на себя и приступил к проведению теста в РО-ДК (К1), РО-ДК (К2), РО-АК (К2). После успешного окончания тестов командир выполнил разворот корабля в РО-АК (конфигурация СМ-ФГБ-АС МКС вертикально, СМ наверху, АС МКС внизу) и в 03:44:21 ДМВ включил двигатель на 21 сек (РУД вниз) для отработки второго импульса на отвод.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-м суточном витке в 05:07:30 ДМВ, посадка – на 1-м суточном витке. По указанию ЦУПа в 05:56:30 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 06:06:35 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 127,98 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 06:33:39 ДМВ. Фактический вход в атмосферу в 06:37:57 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +2 секунды. Максимальная перегрузка: 3,5 единицы (по докладу экипажа).

Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе, установили связь с экипажем и визуальный контакт в 06:50 ДМВ.

Посадка спускаемого аппарата осуществлена 30 октября 2016 года в 06:58:25 ДМВ в расчетной точке с координатами 47°24' с.ш., 69°35' в.д.

Промач от расчетной точки посадки составил 8 км по данным ПСС. Двигатели ДМП сработали штатно. Работа по эвакуации экипажа началась в 07:02 ДМВ после взятия СА под охрану. Аппарат находился вертикально, купол парашюта погашен.

### Полет на борту МКС

Экипаж МКС-48/49 работал на борту МКС 113 суток с 9 июля 2016 года по 30 октября 2016 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем РС 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:

- диагностика блока сборных шин (БСШ-2) и блока фильтров (БФ-2) системы СЭС ФГБ;
- заправка ЕДВ из американской емкости CWC, установка ЕДВ на переработку через СРВ-К2М с помощью БПК;
- забор проб с поверхностей оборудования и конструкций в СМ;
- регламентные работы с Laptop ЦП, проведение тестов;
- прошивка ЦВМ1 с использованием комплекта прошивки вычислительных средств;
- регламентное обслуживание клапанов баков системы «Родник» в СМ;
- профилактические работы с файловым сервером FS1 и БРИ в СМ;
- перекачка солевого раствора и урины из ЕДВ-У в бак БВ2 системы «Родник» ТК «Прогресс МС-03»;
- сборка схемы, тестирование REMOTE RS Laptop (удаленного рабочего места) на АС;
- забор проб воздуха пробоотборником АК-1М в модуле ВЕАМ;
- наддув атмосферы МКС воздухом из секции СрПК «Прогресс МС-02».

Выполнены следующие основные ремонтно-восстановительные работы РС МКС:

- замена блока 800А модуля аккумуляторной батареи АБ № 4 СЭС ФГБ;
- замена аппаратуры «Компарус А3» в ФГБ;

- замена комплекта АСУ в СМ;
- замена разделителя БРПК-1, мембранного фильтра-разделителя и блока колонок очистки в СРВ-К2М;
- замена блока фильтров CO<sub>2</sub> газоанализатора ИК0501 в СМ;
- замена ПАС (панель агрегатов сменная) СОТР в СО1;
- ремонтно-восстановительные работы СРВ-К2М;
- ремонт замка панели № 426 ФГБ.



А.А. Иванишин выполняет научно-прикладные исследования

В процессе работ по связям с общественностью проводились ТВ-приветствия участников конкурса «Знамя Мира в Космос – 2016», участников Международной аэрокосмической школы «Вместе в космос», участников форума «Интеллектуальные транспортные системы России», участников и гостей научных чтений памяти К.Э. Циолковского; ТВ-поздравления коллектива Научно-исследовательского института измерительной техники (НИИТ), сотрудников КБ «Химв Автоматики» (КБХА) с 75-летием, участников и гостей Московской международной выставки «Образование и карьера». Проводились видеосъемки жизни на станции экспедиций МКС-48 и МКС-49 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-47/48, МКС-49/50.

С 9 июля 2016 года по 7 сентября 2016 года – совместный полет с экипажем МКС-47/48 в составе:

- Овчинин Алексей Николаевич (бортинженер МКС-47/48, Роскосмос, Россия);
- Скрипочка Олег Иванович (бортинженер МКС-47/48, Роскосмос, Россия);
- Уильямс Джеффри (бортинженер экспедиции МКС-47, командир экспедиции МКС-48, НАСА, США).



Совместный полет с членами экипажа МКС-47/48

С 21 октября 2016 года по 30 октября 2016 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 МКС-49, командир МКС-50, 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 два выхода в открытый космос.

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

В процессе выхода выполнены следующие работы:

– установка международного стыковочного адаптера IDA2 на PMA2 модуля Node2 АС МКС;

– дооснащение адаптеров IDA2 и PMA2: установка крышки плоского отражателя на PMA2, установка крышки полусферического отражателя на PMA2, установка полусферического отражателя на IDA2, установка ЭВТИ на IDA2;

– прокладка и подстыковка силовых и информационных кабелей к IDA2;

– прокладка кабеля IDA3;

– прокладка и подключение кабеля Ethernet MDM EPIC.

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

неисправность левого наушника шлемофона скафандра оператора Джеффри Уилльямса.

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

Во время выхода выполнено:

- складывание радиатора системы терморегулирования TTCR, крепление стяжками и установка защитного кожуха;
- фотографирование подкосов интерфейсной конструкции шарнира альфа (AJIS);
- установка внешних камер высокого разрешения на портах CP08 и CP09 группы оборудования ETVCG (External Television Camera Group);
- замена лампы светильника на порту CP09;
- снятие и укладка на хранение ЭВТИ агрегата PFCS (блока насосов и регулирования расхода) системы охлаждения СБ АС;
- фиксация тормозной рукоятки тележки СЕТА по левому борту.

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

Научные эксперименты в период полета экспедиции выполнялись в соответствии с «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период сорок седьмой и сорок восьмой пилотируемых экспедиций МКС-47 и МКС-48» и «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период сорок девятой и пятидесятой пилотируемых экспедиций МКС-49 и МКС-50».

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

- КПП-21 (ТЕХ-20) «Плазменный кристалл».

*Исследование Земли и космоса:*

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

*Человек в космосе:*

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-26 «Мотокард» (упаковка);
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;

---

\* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- РБО-3 «Матрешка-Р».

*Космическая биология и биотехнология:*

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-16 «Электронный нос»;
- БИО-19 «Феникс»;
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- БТХ-49 «Фаген» (фото).

*Технологии освоения космического пространства:*

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

*Образование и популяризация космических исследований:*

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

*Новые эксперименты:*

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

Всего 52 эксперимента, из них 9 экспериментов без участия экипажа.

## **Заключение**

Уровень подготовленности экипажа МКС-48/49 по транспортному кораблю «Союз МС» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить



Встреча А.А. Иванишина на аэродроме Чкаловский

запланированную программу космического полета и высказать много важных замечаний и предложений по ТПК.

Полет экипажа МКС-48/49 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-48/49  
(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-48/49. 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-48/49 Crew Members (Express Analysis).****V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-48/49 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 МКС-48/КЭ МКС-49/КК ТПК № 731 – Иванишин Анатолий Алексеевич;

БИ-5 МКС-48-49/БИ ТПК № 731 – Ониши Такуя (JAXA);

БИ-6 МКС-48-49/БИ-2 ТПК № 731 – Рубинс Кэтлин (НАСА)

состоялся в период с 07.07.16 г. по 30.10.16 г.

*Этапы полета*

07.07.16 г. – выведение ТПК «Союз МС» № 731 – 04:36:40 ДМВ/01:36:40 GMT.

09.07.16 г. – стыковка корабля «Союз МС» № 731 к МИМ1 – 04:06:36 GMT/  
07:06:35 ДМВ.30.10.16 г. – расстыковка ТПК «Союз МС» № 731 от МИМ1 –  
00:35 GMT/03:35 ДМВ.

Время посадки – 06:58:25 ДМВ.

*Основные динамические операции*

17.07.16 г. – выведение ТГК «Прогресс МС» № 433 – 00:41:45 ДМВ.

18.07.16 г. – выведение корабля Space X-9 – 04:45 GMT/07:45 ДМВ.

19.07.16 г. – стыковка ТГК «Прогресс МС» № 433 к СО1 – 00:20 GMT/  
03:20 ДМВ.

20.07.16 г. – стыковка корабля Space X-9 «Dragon». Установка на надирный порт Node2 МКС с помощью манипулятора SSRMS, ОПЛ.

25.08.16 г. – отстыковка Space X-9 «Dragon» от Node2 – 21:02 GMT.



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

14.10.16 г. – расстыковка ТГК № 432 от АО СМ – 09:38 GMT/12:38 ДМВ.

17.10.16 г. – выведение корабля Orb-5 Cygnus – 23:46 GMT.

19.10.16 г. – выведение ТПК «Союз МС-02» № 732 – 11:05:16 ДМВ/ 08:05:16 GMT.

21.10.16 г. – стыковка ТПК «Союз МС-02» № 732 к МИМ2 – 09:56 GMT/ 12:56 ДМВ.

23.10.16 г. – стыковка Orb-5 Cygnus – 15.04 GMT/18:04 ДМВ. ОПЛ – 19.40 GMT.

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

Старт экипажа ТПК «Союз МС» № 731 в составе КК Анатолия Иванишина, БИ Такуя Ониши и БИ-2 Кэтлин Рубинс состоялся 07.07.16 г. в 04:36:40 ДМВ.

Стыковка планировалась и проводилась по 2-суточной схеме. Время работ экипажа ТПК № 731 в автономном полете не превышало 6,5 часа.

09.07.16 г. после выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 731 с МКС в автоматическом режиме в 07:06:35 ДМВ.

В сутки стыковки время работы у КК составило 1 час 10 минут, а зона бодрствования – 19 часов 10 минут.

После ОПЛ в 09:54 ДМВ экипаж перешел на станцию и приступил к выполнению служебных операций. По прибытии на станцию на КК «Союз МС» № 731 А. Иванишина были возложены функции БИ-4; на астронавта Такуя Ониши – БИ-5 и на астронавта Кэтлин Рубинс – БИ-6. После окончания работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для сна и отдыха с 14:30 (09.07.16 г.) до 06:00 GMT (10.07.16 г.) продолжительностью 16,5 часа.

В день отдыха 10.07.16 г. БИ-4 по своей инициативе дополнительно затратил 5 часов на разгрузку ТПК № 731 «Союз МС». Фактическое время работ в этот день у него составило 5 часов 55 минут.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 10.07.16 г. рабочая зона у БИ-4 сокращена на 1 час, это время планировалось ему на адаптацию и ознакомление со станцией.

На 2-й неделе полета российским космонавтам, в том числе и БИ-4, пришлось работать в условиях измененного РТО в связи с предстоящей стыковкой с ТГК № 433 в ночь с 18 на 19.07.16 г. Стыковка с ТГК была проведена штатно в 00:20 GMT/03:20 ДМВ (19.07.16 г.). Основная часть рабочих операций проводилась в ночное время суток. После завершения работ экипажу было предоставлено время для сна и отдыха с 10:00 (19.07.16 г.) до 06:00 GMT (20.07.16 г.) продолжительностью 20 часов.

С 20.07.16 г. экипаж перешел на штатный режим сна–бодрствования.

В последующие недели (3–8-я недели) космонавты занимались разгрузкой ТГК № 433, укладкой грузов в ТГК № 432 и другими работами.

На 9-й неделе полета, накануне расстыковки ТПК № 730, на станции была проведена церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на космонавта А. Иванишина. После ухода экипажа ТПК № 730 06.09.16 г. оставшимся космонавтам на станции, в том числе и А. Иванишину, было предоставлено время для отдыха (сна) с 02:00 до 12:00 GMT продолжитель-

ностью 10 часов. При реализации недельных планов отмечались отдельные эпизоды увеличения времени у КЭ на выполнение плановых работ на 2 и более часов как в рабочие, так и в выходные дни. На общем состоянии и деятельности космонавта это негативно не сказывалось.

На 13-й неделе полета 28.09.16 г. КЭ планировался эксперимент «Электронный нос» продолжительностью 4,5 часа. Первую часть эксперимента КЭ выполнил, затем в связи с возникшими трудностями (ошибки в радиограммах) эксперимент по согласованию с Землей был прекращен. А оставшиеся 1,5 часа КЭ по указанию с Земли использовал для тестового измерения напряжения в шинах питания ТПК «Союз». И чтобы завершить эксперимент «Электронный нос», по согласованию с Землей эта работа была запланирована в день отдыха 01.10.16 г. в рамках программы Task List. По докладу КЭ, он выполнил эту работу, затратив 1 час 40 минут.

В последующие недели КЭ, в основном, занимался укладкой удаляемого оборудования в ТПК № 432, выполнением научных экспериментов.

13.10.16 г. была проведена расстыковка ТПК № 432.

В связи с завершением полета и согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 17.10.16 г. (15-я неделя) рабочая зона у КЭ была сокращена на 1 час, а это время планировалось на подготовку к возвращению на Землю. Это требование не всегда соблюдалось в связи с изменением программы полета (перенос даты старта ТПК № 732, сокращение времени на передачу смены, необходимость выполнения научных экспериментов и др.).

На 16-й неделе полета 23.10.16 г. в 12:56 ДМВ состоялась стыковка ТПК № 732 с МКС в автоматическом режиме. После ОПЛ прибывшему экипажу проведен инструктаж по безопасности, космонавты приступили к выполнению служебных операций.

КЭ продолжил подготовку и укладку возвращаемых грузов в ТПК № 731. 28.10.16 г. на станции был подписан акт о передаче смены по РС от КЭ к БИ-2 (А. Борисенко), а также проведена церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на Р. Кимброу, а функции БИ-4 – на космонавта А. Иванишина.

В сутки проведения расстыковки ТПК космонавты работали в условиях измененного РТО: отбой 28.10.16 г. в 22:00, подъем 29.10.16 г. в 12:20 GMT. После укладки грузов в ТПК № 731 и проведения необходимых рабочих операций была проведена расстыковка ТПК «Союз» в 00:35 GMT/03:35 ДМВ. Расстыковка и посадка СА проходили в ночное и утреннее время (06:58 ДМВ) 30.10.16 г. Таким образом, 115-суточный полет был успешно завершён.

Общее полетное время у КЭ составило 115 суток, из которых планировались 82 рабочих и 33 выходных дня, из них 2 дня были неполными днями отдыха (отдых полдня).

По сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у КЭ было 16 полных дней отдыха, 12 неполных дней отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от 2 до 4 часов, и 5 дней были рабочими днями, время работы составляло 5 и более часов.

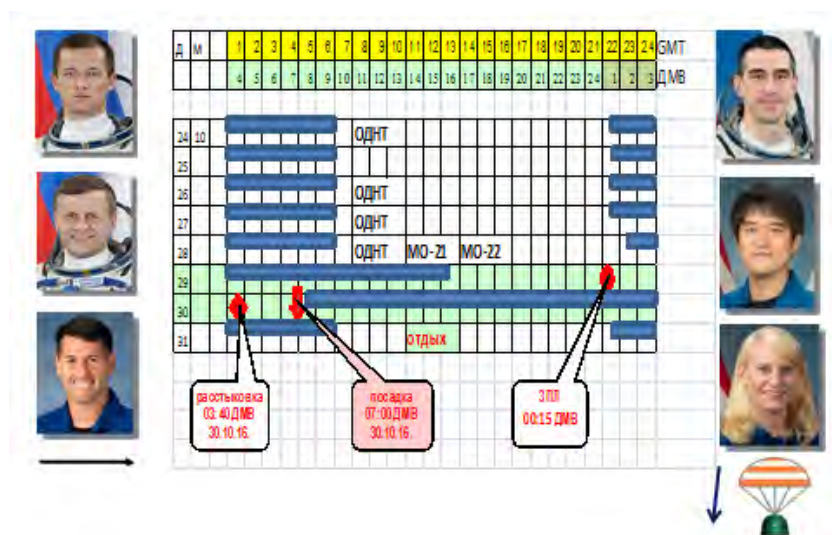
За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у КЭ составила 38 часов 40 минут. Фактически в дни отдыха КЭ на выполнение рабочих операций затратил 55 часов.

На работы по Task List планировалось 55 часов, фактически на эти работы КЭ затратил 25,5 часа. Общее время работ в дни отдыха, с учетом экспериментов по Task List, составило 81,5 часа.

За весь полет на выполнение дополнительных работ, включая Task List, по инициативе космонавта, по указанию с Земли и сверх плана на рабочие операции КЭ затратил 117,5 часа, что равноценно 18 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 часа в день.

Во время полета продолжительность сна в среднем составляла порядка 6 часов. По словам КЭ ложился спать в полночь, а подъем был в 6 часов утра. Иногда отход ко сну был на 1–1,5 часа позже полуночи. Тем не менее проблем не испытывал. КЭ отмечал, что на начальном этапе полета испытывал трудности засыпания, принимал таблетки, после 3–5 дней этих трудностей со сном не было.

РТО экипажа по своей структуре и рабочей нагрузке в основном соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный с отдельными элементами напряженности, обусловленными повышенной рабочей нагрузкой при выполнении рабочих операций.



Режим труда и отдыха на заключительном этапе полета

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

Самочувствие по ежедневным докладам экипажа на всех этапах полета оставалось хорошим.

10.07.16 г. БИ-4 жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Общее самочувствие и настроение было хорошим, отмечал некоторую сонливость. Доклады-вал, что после автономного полета в ТПК «Союз МС» № 731 уже восстановился. Внешне выглядел спокойным. Усталости не отмечал. Времени на отведенные рабочие операции было достаточно. Отметил, что период адаптации к невесомости продолжается: имеется незначительное затруднение носового дыхания, незначительное покраснение склер глаз. Голос не изменен, отечность лица отсутствовала. В автономном полете на ТПК спал около 8 часов.

18.07.16 г. БИ-4, после занятий на тренажере ARED и водных процедур, почувствовал дискомфорт в мышцах спины при движениях (наклонах). Этот дискомфорт не влиял на работоспособность. Общее самочувствие было хорошим.

При сдвиге сна на дневное время просил перед следующими изменениями РТО с дневным сном направлять ему рекомендации по использованию медикаментозных средств для быстрого засыпания.

18.10.16 г. КЭ докладывал, что чувствует себя хорошо. Жалоб нет. Эмоциональный настрой позитивный, настроение деловое, сосредоточен на выполнении процедур заключительного этапа полета. С 18.10.16 г. проводился цикл ОДНТ-тренировок. Сон достаточный, без пробуждений, приносит чувство отдыха, не нуждается в медикаментозной коррекции. РТО расценивает как штатный, ритм работ комфортный. Основное время дней отдыха использовал по своему усмотрению и на выполнение небольших по объему плановых работ.

### Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

#### Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Параметры микроклимата были в нормальных пределах. Общее давление в СМ, по данным мановакуумметра, колебалось в пределах 735–764 мм рт. ст.

В некоторых местах станции на нескольких витках температура воздуха превышала нормальные величины. Отмечалась пониженная относительная влажность воздуха.

Повышение температуры воздуха 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.

Во время частных медицинских конференций с российским врачом экипажа БИ-4 тепловой режим оценивал как комфортный, хороший.

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

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

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

Параметры микроклимата ТПК «Союз МС» № 731 на участке выведения, орбитального полета и стыковки с МКС (07–09.07.16 г.)

Параметры	Минимально	Максимально	Норма
ДСА мм рт. ст.	807	857	660–860
ДБО мм рт. ст.	817	853	660–860
Р <sub>О<sub>2</sub></sub> мм рт. ст.	161	189	140–200
Р <sub>СО<sub>2</sub></sub> мм рт. ст.	1,5	3,5	< 8
РН <sub>2</sub> О мм рт. ст.	13,4	19,1	5–20
ОВ %	53	80	40–75
ТСА, °С	23,7	28,2	18–25
ТБО, °С	19,3	25,1	18–25

Замечаний на температурно-влажностный дискомфорт в сеансах радиосвязи от экипажа ТПК не поступало. Во время частной медицинской конференции с российским врачом экипажа 10.07.16 г. БИ-4 отметил, что в СА ТПК было несколько холодно.

Для снижения уровня влажности ХСА (холодильно-сушильный агрегат) в СА и БО периодически переводились в максимальный режим работы.

Параметры микроклимата ТПК «Союз МС» № 731  
на этапе расстыковки (29–30.10.16 г.)

Параметры	Минимально	Максимально	Норма
ДСА мм. рт. ст.	756	842	450–970
ДБО мм рт. ст.	716	797	450–970
Р <sub>О<sub>2</sub></sub> мм рт. ст.	137	198	140–310
РС <sub>О<sub>2</sub></sub> мм рт. ст.	2,4	3,5	< 10
РН <sub>2</sub> О мм рт. ст.	10,2	13,2	< 20
ОВ %	42	52	30–75
ТСА, °С	22,3	27,6	18–25
ТБО, °С	13,5	23,5	18–25

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

08.08.16 г. во время регламентного осмотра насоса МНР-НС (в АСУ СМ) экипаж доложил о кристаллических образованиях на воздушном клапане. После анализа полученных с борта фотографий, экипажу было рекомендовано убрать загрязнение с соблюдением мер защиты. После выполненных работ замечаний к работе МНР-НС не было, АСУ функционировало штатно.

09.08.16 г. (в 07:58 GMT) экипаж доложил о наличии запаха дыма в районе рабочего стола в СМ. При осмотре места нахождения подогревателя пищи и за расположенными рядом панелями очагов возгорания не было выявлено. Показатели атмосферы (по результатам замеров CSA-CP) в норме.

При отборе пробы воздуха 26.10.16 г. пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиака не было обнаружено.

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

У БИ-4 замечаний по среде обитания не было. В автономном полете на ТПК спал в СА, на МКС расположился в левой каюте модуля СМ.

26.07.16 г. у БИ-4 замечаний по среде обитания не было. Постоянно использовал индивидуальные средства профилактики нарушений слуха: в рабочее время использовал наушники с активным шумоподавлением, в ночное время – одноразовые беруши для сна.

15.08.16 г. в 11:17 GMT экипаж сообщил, что в районе АСУ появился посторонний запах, похожий на запах масляной краски. В районе наиболее интенсивного запаха были взяты пробы воздуха пробоотборниками АК-1М (по рекомендации ГМО) и GSC (рекомендация ЦУПа-Х). В 15:43 GMT на 1 час был включен фильтр очистки атмосферы А2. По сообщению экипажа, к вечеру запах уменьшился и практически не ощущался. 16.08.16 г. был проведен забор проб воздуха с помощью CMS на NO<sub>2</sub>, HCL и HCN – все показатели были в пределах нормы.

**Питание и водопотребление**

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

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа у БИ-4 прием пищи в ТПК «Союз МС» был по потребности; на МКС – аппетит нормальный, водопотребление нормальное.

В дальнейшем на протяжении полета аппетит не был нарушен, вкусовые ощущения не изменились. Продуктов питания на станции было достаточно. Качество питьевой воды хорошее.

**Результаты акустических измерений**

01.07.16 г. проводились исследования в модулях Node2, ФГБ, Airlock Node3 (при работе Т2 до и после установки шумозаглушающих матов).

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

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

Результаты анализа полученных данных показали, что:

– на рабочих местах в ФГБ уровни звука превышали допустимые значения на 1,9–5,2 дБА, с максимальным значением в районе панели 206. По сравнению с предыдущими замерами от 29.03.2016 г. эти значения выше на 0,9–4,6 дБА;

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

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

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

02–04.08.16 г. проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки у членов экипажей за дневной и ночной периоды времени.

Место сна БИ-4 – левая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка у российских космонавтов за дневной период превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) на 7,3–13,7 дБА.

**Рекомендации по снижению акустической нагрузки БИ-4**

1. В связи с превышением допустимых значений акустической нагрузки за дневной период времени на 7,3–13,7 дБА, рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты слуха (беруши или наушники с активным шумоподавлением) при работе в местах расположения шумящего оборудования, в том числе центрифуга, спортивные тренажеры, пылесос и др.

2. Продолжать использовать во время сна средства индивидуальной защиты слуха (беруши).

Плотное закрытие двери левой каюты СМ на период сна способствовало значительному (12,3 дБА) снижению акустической нагрузки у БИ-4 за ночной период.

16–17.09.16 г. проводились статические измерения эквивалентных уровней звука за дневной и ночной периоды времени в районе расположения СОА «Воздух»

(СМ) и американской беговой дорожки Т2 (Node3, район головы оператора) с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы Noise Pro).

Статические измерения эквивалентных уровней звука за 12,5 часа дневного периода времени в районе расположения СОА «Воздух» (СМ) и американской беговой дорожки Т2 (Node3, район головы оператора) проводились дважды: на 72-е сутки полета (16.09.16 г.) и 73-и сутки полета (17.09.16 г.) после сна, а за ночной период однократно в течение 8 часов.

*Результаты анализа полученных данных*

Эквивалентный уровень звука за дневной период в районе расположения СОА «Воздух» (СМ) превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) на 10,2–10,9 дБА, а за ночной период – на 9,2 дБА. Сравнение эквивалентных уровней за дневной и ночной периоды в районе СОА «Воздух» с предыдущими замерами выявило их повышение на 1,0–1,7 дБА и на 1,9 дБА соответственно.

Эквивалентный уровень звука за дневной период в районе расположения тренажера Т2 (Node3) превышает ПДУ на 6,4–6,7 дБА, а за ночной период превышений ПДУ в указанном районе не выявлено.

Проведение годового ТО тренажера Т2 способствовало снижению уровней звука в районе головы оператора при выполнении ФУ на 1,5 дБА и 3 дБА на высоких и низких скоростях соответственно.

28.09.16 г. проводилось исследование по замеру шума в модулях Node3 (при различных режимах работы основного оборудования), USLab и СМ РС с использованием шумомера SLM.

Результаты анализа полученных данных показали, что на рабочих местах в СМ РС уровни звука превышали допустимые значения на 1,0–5,1 дБА, с максимальным значением в КТ5 (район медицинского шкафа).

По сравнению с предыдущими замерами от 29.03.16 г. уровни звука на рабочих местах понизились на 2,4–2,9 дБА практически во всех контрольных точках, за исключением КТ3, где отмечено повышение уровня звука на 2,1 дБА.

В каютах СМ РС уровни звука превышали допустимые значения на 5,3–5,4 дБА.

По сравнению с предыдущими замерами от 29.03.2016 г. уровни звука в левой каюте понизились на 4,7 дБА.

На рабочих местах в USLab уровни звука не превышали допустимые значения во всех контрольных точках.

На рабочих местах в Node3 уровни звука не превышали допустимые значения практически во всех исследованных контрольных точках при различных режимах работы оборудования. Исключение составила КТ3, где наблюдались единичные превышения уровней звука на 1,4–2,3 дБА.

***Радиационная обстановка в РС МКС***

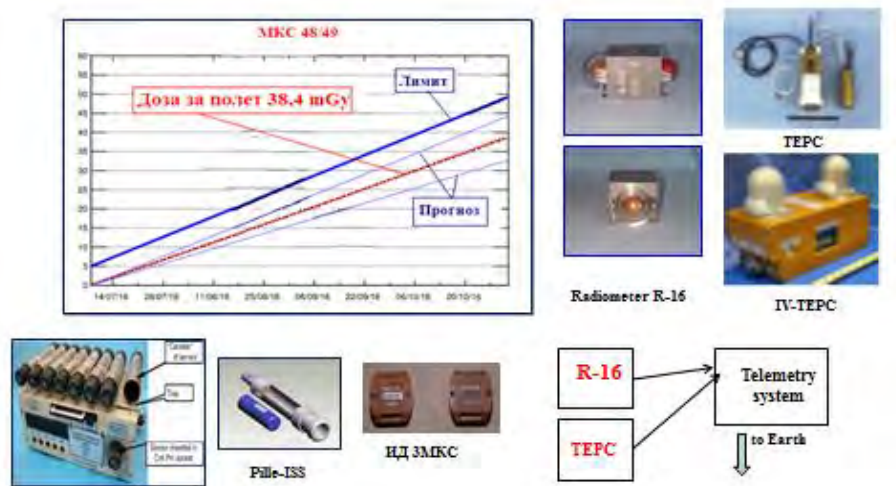
За время полета РО внутри станции оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у КЭ составила 3,21 сГр (3120 мрад), что не превысило допустимых значений.

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

Наименьшая мощность поглощенной дозы регистрировалась в каюте модуля NODE2, на панели 435 в районе рабочего стола, на панели 327 РОБД.

Наибольшая мощность поглощенной дозы – в каютах около иллюминаторов. Все датчики находились в работоспособном состоянии. Значения измеренной



Мониторинг радиационной безопасности на МКС

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

### Система профилактики в полете

11–12.07.16 г. БИ-4 планировалось по одной ознакомительной тренировке на БД-2 и ВБ-3М, ознакомление с процедурами ФУ на ARED.

С 13.07.16 г. физические тренировки ему планировались по российской программе общей продолжительностью 2,5 часа, в основном 2 раза в день (периодически блоком) на БД-2 и ВБ-3М/ARED (с чередованием).

С 10.10.16 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке БД-2 и ОДНТ-тренировки.

Профилактическое изделие «Браслет» не использовал.

Примерка и подгонка изделия «Кентавр» 19.10.16 г. у КЭ была проведена без замечаний.

По ежедневным докладам 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 рекомендациями специалистов.

Во время частных конференций со специалистами по физическим тренировкам (28.07.16, 25.08.16, 06.10.16 г.) БИ-4 докладывал, что тренировки на бегущей дорожке БД-2 выполняет в соответствии с протоколами, рекомендованными бортовой документацией.

Высказывал пожелание увеличить длительность тренировки на БД-2 более одного часа.

Специалисты по физическим тренировкам периодически получали расшифрованные файлы в виде таблиц с данными по физическим тренировкам на ARED. Проводилась оценка объема рекомендованных упражнений, давались рекомендации по изменению структуры тренировок и комплексов упражнений.



Каждую неделю специалисты по физическим тренировкам получали записи выполнения ФТ на бегущей дорожке БД-2.

Специалисты оценивали продолжительность отдельных тренировочных занятий и объем локомоторной нагрузки в отдельных тренировочных занятиях.

Практически все ФТ БИ-4 выполнялись по протоколам, рекомендованным БД.

ФТ БИ-4 выполнялись по четырехдневному микроциклу и по личным протоколам и состояли из чередующихся между собой интервалов бега в активном и пассивном режимах работы полотна бегущей дорожки.

В качестве примера можно привести заключение о выполнении КЭ ФТ на БД-2 в период с 21.09.16 г. по 10.10.16 г. (77–95-е сутки полета).

Получено 5 записей выполнения ФТ на бегущей дорожке БД-2. Продолжительность отдельных тренировочных занятий составляла от 46 до 70 минут. Объем локомоторной нагрузки в отдельных тренировочных занятиях составлял от 6297 до 7247 метров, что соответствовало от 203,1 до 233,8 % от норматива.

Все ФТ КЭ выполнялись по личным протоколам с использованием пассивного и активного режимов работы полотна БД. ФТ за 21, 27.09, 03.10.16 г. выполнялись по схожей схеме: вначале ФТ в течение 14–15 минут выполнялся бег в пассивном режиме со скоростью 6–7 км/ч, затем следовало 6 интервалов быстрого бега в активном режиме со скоростью 15 км/ч и продолжительностью 2 минуты, между интервалами быстрого бега выполнялся бег в активном режиме со скоростью 10 км/ч продолжительностью 2 минуты. 03.10.16 г. в конце ФТ выполнялся бег в пассивном режиме в течение 2 минут. 09.10.16 г. ФТ была выполнена полностью в активном режиме работы полотна БД и состояла из 4 интервалов бега со скоростью 10 км/ч и продолжительностью 4–17 минут.

10.10.16 г. выполнялся штатный локомоторный тест – МО-3.

Общий объем локомоторной нагрузки на БД-2 за указанный период составил 27 699 метров (972 м – ходьба в пассивном режиме, 21 350 м – бег в активном режиме дорожки со скоростью 9,1–14,0 км/ч, 589 м – бег в активном режиме дорожки со скоростью 5,6–7,6 км/ч, 4788 м – бег в пассивном режиме). Объем тренировочной нагрузки, выполненной в пассивном режиме бегущей дорожки, составил 20,8 % (из них 3,5 % – ходьба, 17,3 % – бег).

Величина осевой нагрузки на тело перед началом ФТ составляла 57–63 кг, что составляет 67,4–74,5 % от веса тела КЭ. Максимальная скорость бега в ФТ в активном составила 14 км/ч, в пассивном – 7 км/ч. Максимальное значение ЧСС за тренировку колебалось в пределах от 157 до 170 уд/мин.

Вывод: уровень физической тренированности КЭ оценивается как хороший.

Рекомендации: не использовать в тренировочных протоколах длительные отрезки бега с невысокой скоростью, так как они способствуют снижению ортостатической устойчивости. Приблизить тренировочные протоколы к рекомендованным в бортовой документации. На заключительном этапе полета рекомендуется ежедневно выполнять локомоторные тренировки, дополняя их по самочувствию через день локомоторной тренировкой по первому дню микроцикла или тренировкой на силовом тренажере.

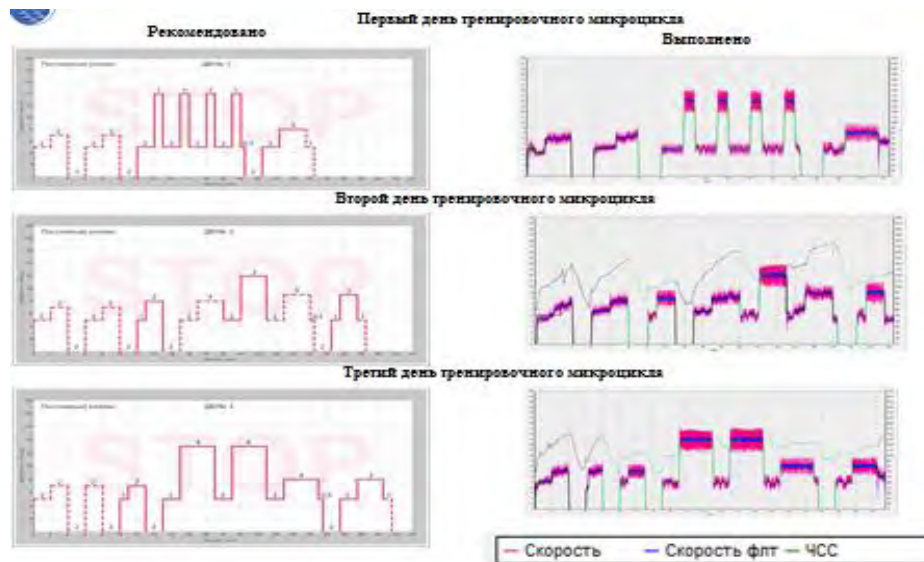
Оценка уровня физической тренированности проводилась и по результатам локомоторной пробы МО-3. БИ-4 выполнял локомоторную пробу МО-3 на дорожке БД-2. Временные характеристики и структура теста полностью соответствовали требованиям бортовой документации.

На заключительном этапе полета (106, 110, 112 сутки), проводились предварительные ОДНТ-тренировки.

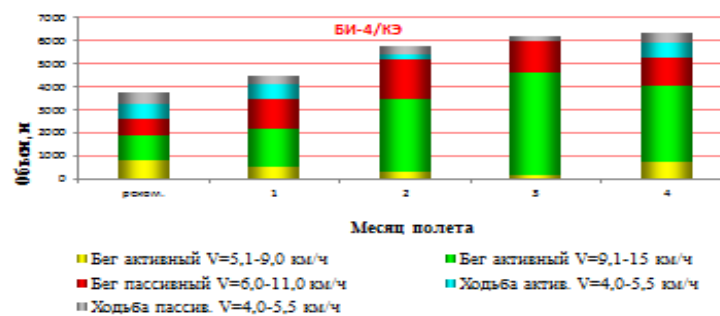
Самочувствие КЭ до, во время и после воздействия ОДНТ оставалось хорошим. Жалоб на самочувствие не предъявлял. Тренировки проведены в полном объеме по схеме: [P]0, [P]5, [P]0, [P]5 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима.

На 113, 114-е сутки полета проведены заключительные ОДНТ-тренировки.

Тренировки проведены по схеме: 1-й цикл –25, –30 мм рт. ст. по 5 минут каждого режима, –35 мм рт. ст. – 10 минут, 2-й цикл – –25, –30 мм рт. ст. – по 10 минут каждого режима, –20 мм рт. ст. – 10 минут.



Схемы тренировок БИ-4/КЭ МКС-48/49



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку

### Медико-биологические эксперименты

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

МБИ-13 «Спланх»: 07–08.08.16 г.; 21–22.09.16 г.;

МБИ-26 «Мотокард» – не проводился в связи с неисправностью аппаратуры. 27.10.16 г. подготовка карт памяти к возвращению;



Медико-биологические эксперименты

- МБИ-27 «УДОД»: 29.07.16 г.; 30.08.16 г.; 12.10.16 г.;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»: 25–26.08.16 г.; 17–18.10.16 г.;
- МБИ-31 «Кардиовектор»: 13.07.16 г.; 18.08.16 г.; 14.09.16 г.; 20.10.16 г.;
- МБИ-33 «Биокард»: 26.07.16 г.;
- МБИ-34 «Космокард»: 19–20.09 г.;
- МБИ-35 «Альгометрия»: 18.07.16 г.; 24.08.16 г.; 15.09.16 г.; 17.10.16 г.;
- МБИ-36 «Контент»: 15.07.16 г.; 27.07.16 г.; 09.08.16 г.; 24.08.16 г.; 09.09.16 г.; 20.09.16 г.; 04.10.16 г.; 20.10.16 г.;
- МБИ-37 «Пилот-Т»: 12.07.16 г.; 25.07.16 г.; 10.08.16 г.; 23.08.16 г.; 08.09.16 г.; 21.09.16 г.; 07.10.16 г.; 19.10.16 г.;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»: 22.07.16 г.; 02.08.16 г.; 20.08.16 г.; 01.09.16 г.; 14.09.16 г.; 29.09.16 г.; 14.10.16 г.; 25.10.16 г.;
- МБИ-39 «ДАН»: 27.07.16 г.; 25.08.16 г.;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей» / FluidShift (с ОДНТ): 16.08.16 г.; 17.08.16 г.;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»: 14–16.07.16 г.; 30.08–01.09.16 г.; 24–26.10.16 г.;
- МБИ-42 «Коррекция»: 12–15.07.16 г.; 28–31.08.16 г.; 22–25.10.16 г.

С использованием американского оборудования:

- «FluidShift»: 05.08.16 г.; 09.08.16 г.; 10.08.16 г.; 15.08.16 г.; 04.10.16 г.; 05.10.16 г.; 06.10.16 г.

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

### **Заключение**

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-48/49 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-48/49 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 629.78:629.7.08

### ТРЕНАЖЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Б.А. Наумов, В.П. Хрипунов, Д.В. Путилин

Докт. техн. наук, доцент Б.А. Наумов; канд. техн. наук, доцент В.П. Хрипунов;  
Д.В. Путилин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены вопросы создания и эксплуатации тренажерных комплексов. Представлен вариант декомпозиции тренажера на структурные модули. Показано, что применяемая технология создания тренажерных комплексов позволяет устранить основные недостатки, присущие технологии создания автономных тренажеров. Выявлены основные достоинства и недостатки тренажерных комплексов, проявляемые при их создании и эксплуатации.

**Ключевые слова:** автономный тренажер, тренажерный комплекс, структура тренажерного комплекса, технология построения тренажерных комплексов.

#### **Simulator Complexes. Virtues and Shortcomings of Creation and Operation. B.A. Naumov, V.P. Khripunov, D.V. Putilin**

The paper deals with the creation and operation of simulator complexes. It presents a variant of the decomposition of the simulator into structural modules. It is shown that the technology applied for creating the simulator complexes allows removing the shortcomings inherent in the technology of creating the autonomous simulators. Also, the paper shows the basic virtues and shortcomings of simulator complexes revealed in the course of their creation and operation.

**Keywords:** autonomous simulator, simulator complex, structure of simulator complexes, technology of building of simulator complexes.

В области космического тренажеростроения от применяемой технологии создания тренажера зависят затраты, сроки создания, методические возможности тренажерных средств, удобство их модернизации и эксплуатации. С точки зрения структурной организации программно-аппаратных средств космические тренажеры разделяются на два вида: автономные тренажеры и тренажерные комплексы. В соответствии с этим различаются технологии построения космических тренажеров.

В настоящее время автономные тренажеры составляют 85 % от общего количества технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина [6]. Необходимо отметить, что автономные тренажеры разрабатываются как уникальные самостоятельные изделия и функционируют с использованием ресурса систем, входящих в состав только данного тренажера. Анализ создания и эксплуатации автономных тренажеров [1, 2, 4] позволил выявить ряд существенных недостатков. К основным недостаткам автономных тренажеров относятся:

1. В силу сложности бортового оборудования и необходимости обеспечения высокой точности и полноты моделирования работы всех бортовых систем и фи-

зических факторов космического полета, время, необходимое на создание тренажера составляет несколько лет. При этом для каждого тренажера создаются свои структурные модули (рабочее место оператора, вычислительная система, система имитации внешней обстановки, пульт контроля и управления, система психофизиологического контроля и т.д.).

2. В процессе эксплуатации космических тренажеров постоянно возникает необходимость изменить его функциональные, технические параметры и характеристики, обеспечить возможность совместной его работы с другими средствами подготовки космонавтов. Прогнозировать такие изменения на этапе проектирования тренажера очень сложно. В силу этого, например, вычислительная мощность моделирующего комплекса в ряде случаев может оказаться недостаточной (либо завышенной, что не рационально с экономической точки зрения, либо заниженной, что не позволит совершенствоваться и улучшать технические характеристики тренажеров). Необходимо отметить, что проведение любых доработок и модернизаций автономного тренажера в процессе его эксплуатации неизбежно приводит к длительным перерывам в тренировках космонавтов, что недопустимо.

3. Стоимость космических тренажеров в силу их сложности и высокой адекватности реальным объектам соизмерима со стоимостью летного изделия. В то же время степень эффективного использования его средств, как правило, недостаточна. Большая часть автономных тренажерных средств используется менее 50 % рабочего времени [2], а после завершения эксплуатации тренажера его компоненты даже при их удовлетворительном техническом состоянии использоваться не могут.

4. При создании автономных тренажерных средств привлекается большое количество различных организаций. Исходя из этого, автономные тренажерные средства строятся на различных технических принципах и зачастую большой номенклатуре уникальных технических средств (вычислители, средства имитации внешней визуальной обстановки, устройства сопряжения с объектами и др.), что, в свою очередь, приводит к усложнению и существенному удорожанию процесса эксплуатации автономных тренажеров.

**Тренажерным комплексом** называется совокупность программно-аппаратных средств, образующих единую для всех тренажеров систему коллективного пользования, единых принципов и технологий формирования тренажеров на его базе, а также собственно тренажеров, входящих в его состав.

Технология построения тренажеров на основе унифицированных модульных средств впервые была принята в нашей стране в 1978 году и успешно использована для создания тренажеров по программам долговременной орбитальной станции «Салют», орбитального комплекса «Мир» и Международной космической станции. За рубежом, несмотря на опережающие в целом темпы работ в области тренажеростроения, концепция модульного построения тренажеров была принята позже (в вооруженных силах США в 1984–1985 гг.; в Германии и Франции – в 1987–1988 гг.) [2].

Основным посылом для создания тренажерных комплексов было желание уйти от недостатков автономных тренажеров, а именно: длительные сроки создания тренажеров, большая стоимость, невозможность проведения тренировок при проведении доработок и модернизации, необходимость совместной работы нескольких тренажеров и т.д.

Специфика области применения тренажера, особенности выполняемых операторами задач, используемых в процессе управления конкретным объектом, при-

водят к тому, что каждый тренажер несет в себе особенности управляемого объекта. Создаваемые разными разработчиками тренажеры существенно отличаются по уровню сложности, составу, способам построения систем тренажера.

В то же время можно говорить о достаточно высоком уровне сходства всех тренажеров, общности их структуры и основного перечня задач, решаемых с их помощью. Это создает предпосылки для унификации технических и программных средств тренажеров.

Рассматривая перспективы наиболее эффективного построения тренажерной техники, предлагается исходить из концепции унификации и модульного построения тренажеров и тренажерных комплексов.

Для того чтобы определить рациональный состав и структуру тренажерного комплекса, рассмотрим состав отдельного тренажера, выделяя две группы его аппаратных и программных средств. На рисунке 1 представлена схема, отражающая вариант декомпозиции тренажера, в основе которого лежит выделение структурных модулей тренажера и их взаимосвязей.



Рис. 1. Вариант декомпозиции тренажера на структурные модули

Анализируя рисунок 1, видно, что структура космического тренажера состоит из двух групп структурных модулей:

1. Идентичные и повторяющиеся структурные модули, которые в различных по назначению космических тренажерах могут быть либо одинаковыми, либо отличаться возможностями для разных по сложности объектов. Такими унифицированными структурными модулями могут быть вычислительные системы, системы имитации внешней обстановки, система энергоснабжения, системы, пульта контроля и управления тренировкой и др. Структурные модули этой группы можно унифицировать и изготавливать заблаговременно.

2. Специализированные структурные модули, которые отражают характер операторской деятельности и с учетом их специфики используются только в одном тренажере. К специализированным структурным модулям относятся оснащенные оборудованием полномасштабные макеты или рабочие места операторов, которые воспроизводят условия реальной деятельности экипажа, устройства согласования с объектом, математические модели бортовых систем.

Математические модели динамики движения подвижных объектов, а также математические модели, которые воспроизводят поведение типовых объектов внешней среды, также могут быть в значительной степени унифицированы и, следовательно, отнесены к первой группе.

Унифицированные структурные модули первой группы могут рассматриваться как распределенный ресурс тренажерного комплекса, который многократно используется в различных тренажерах, входящих в этот комплекс (рис. 2).

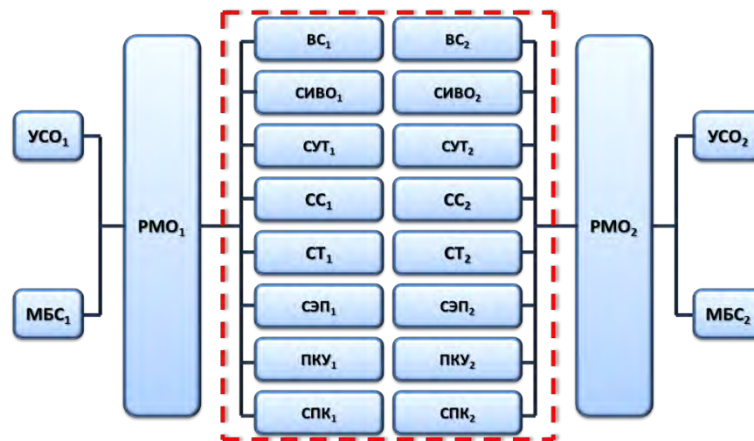


Рис. 2. Вариант объединения унифицированных структурных модулей 1-й группы двух тренажеров

Унифицированные системы, элементы и узлы выполняются в виде типовых модулей. Система является модульной, если она спроектирована и реализована в соответствии со следующими принципами:

1. Система полностью построена из отдельных блоков (модулей), которые можно достаточно просто вводить в состав системы, заменять и модифицировать без потери ее работоспособности; модули должны быть максимально независимы друг от друга с точки зрения процессов их разработки, изготовления, тестирования, обслуживания и модернизации.

2. Интеграция модулей в систему и взаимодействие между модулями осуществляется на основе унифицированных системных интерфейсов.

Основными преимуществами концепции модульности являются гибкость в применении и легкость модернизации тренажера. Модульная система технологична как с точки зрения ее разработки, так и на этапе ее эксплуатации и модернизации. Изготовление модульной системы легко разбивается на параллельные процессы. Структурные модули разрабатываются и отлаживаются независимо. При квалифицированном проектировании трудоемкость этапа комплексирования становится минимальной. Кроме того, модули, составляющие систему, могут подвергаться модернизации без необходимости перестройки других модулей и системы в целом.

Важнейший класс модульных систем составляют открытые модульные системы. Их отличают гибкость структуры и способность к наращиванию. Открытые модульные системы предъявляют дополнительные требования к степени унификации межмодульных интерфейсов. Открытые модульные системы имеют



заведомо более длительный жизненный цикл, поскольку позволяют не только модернизировать свои модули, но и включать в свой состав новые модули, расширяющие функции системы.

На рисунке 3 показано, как на тренажерном комплексе собирается необходимая конфигурация конкретного тренажера для проведения конкретной тренировки. Видно, что одни и те же структурные модули (ВС, СИВО, ПКУ и т.д.) могут использоваться в различных тренажерах, что при оптимальном расписании тренировок космонавтов позволяет существенно уменьшить общее количество аппаратных программных модулей не менее чем на 40 % [1, 3].

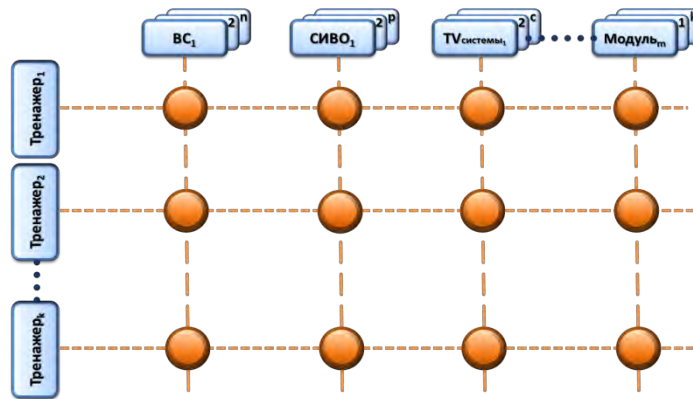


Рис. 3. Вариант объединения функциональных систем тренажерного комплекса

В настоящее время в Центре подготовки космонавтов находится тренажерный комплекс орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) (рис. 4). Он предназначен для отработки экипажем и наземным персоналом действий по эксплуатации систем и полезной нагрузки РС МКС, а также по обеспечению безопасности объединенного экипажа и живучести МКС. Разработка тренажерного комплекса РС МКС началась в декабре 1995 года [2, 3].

Он разрабатывался и создавался с учетом опыта создания предшествующих тренажерных комплексов с применением новейших технологий и современных аппаратно-программных средств [1, 2].

В соответствии с технологией создания тренажерных комплексов была создана инфраструктура тренажерного комплекса РС МКС, состоящая из типовых унифицированных модулей и специализированных элементов и систем.

Унифицированные системы в тренажерном комплексе РС МКС разрабатывались в виде типовых модулей как открытые системы и в последующем дополнялись и расширялись с учетом конкретного применения. К унифицированным структурным модулям в тренажерном комплексе относятся:

- вычислительная система (ВС);
- система имитации визуальной обстановки (СИВО);
- система управления тренировками (СУТ);
- система психофизиологического контроля (СПК);
- система имитации связи «Борт–Земля» (СИСБЗ);
- система электропитания (СЭП);



Рис. 4. Общий вид тренажерного комплекса РС МКС

- система ремонтно-технологической связи (СРТС);
- система телевидения (СТ).

К специализированным структурным модулям относятся:

- рабочие места операторов (РМО);
- устройство сопряжения с макетом (УСО);
- математические модели бортовых систем (ММБС);
- пульта контроля и управления тренировкой (ПКУ);
- системы кондиционирования (СК).

В настоящее время в состав тренажерного комплекса РС МКС входят:

1. Комплексный тренажер «ФГБ» функционально-грузового блока «Заря».
2. Комплексный тренажер «СМ» служебного модуля «Заря».
3. Комплексный тренажер «СО1» стыковочного отсека «Пирс».
4. Комплексный тренажер «МИМ1» малого исследовательского модуля № 1 «Рассвет».
5. Комплексный тренажер «МИМ2» малого исследовательского модуля № 2 «Поиск».
6. Комплексный тренажер «МЛМ» многофункционального лабораторного модуля «Наука».
7. Комплексный тренажер «УМ» узлового модуля «Причал».
8. Учебно-тренировочный макет «УТМ» транспортного грузового корабля «Прогресс».
9. Модель (тренажер) бортовой вычислительной системы «МБВС-СМ» орбитального модуля СМ.
10. Имитатор (тренажер) американского сегмента «AST».
11. Модель (тренажер) бортовой вычислительной системы «МБВС-МЛМ» модуля МЛМ.
12. Тренажер информационно-управляющей системы «ИУС».
13. Тренажер системы поддержки экипажа «SSC».

Все структурные модули тренажерного комплекса: ВС, СИВО, СИСБЗ, ТВА, СРТС, а также модели «МБВС СМ», «МБВС-МЛМ» и имитатор американского сегмента «AST» разработаны на базе вычислительной техники. На время тренировки системы (структурные модули) комплекса объединяются в единую вычислительную сеть. В процессе тренировки управление системами тренажерного комплекса ведется централизованно с ПКУ «СМ», а «МБВС» и «AST» – с использованием собственных средств управления.

Тренажеры комплекса включаются и загружаются автономно, имеют свой интерфейс разработки и отладки программного обеспечения, контроля, управления режимами работы и тестирования оборудования и могут работать как в автономном варианте, так и в составе тренажера. Благодаря этому на тренажерном комплексе РС МКС одновременно можно проводить:

1) тренировку на комплексе (в выбранной конфигурации), автономную тренировку на тренажере «МЛМ» и два практических занятия на «МБВС СМ» и «МБВС МЛМ»;

2) тренировку на комплексе (в полной конфигурации) и два практических занятия: на «МБВС СМ» и на «МБВС МЛМ» тренажера «МЛМ», или одно практическое занятие на «МБВС СМ» совместно с «МБВС МЛМ»;

3) до шести практических занятий по конструкции и компоновке, бортовым системам и полезной нагрузке.

Тренировки и практические занятия могут проводиться в 16 различных конфигурациях программных и аппаратных средств тренажерного комплекса. На время тренировки программные и аппаратные средства комплекса объединяются в единую вычислительную сеть в соответствии с выбранной конфигурацией. Экзаменационные тренировки проводятся в полной конфигурации тренажерного комплекса по программе типовых полетных суток, таким образом имитируя работу всего орбитального комплекса МКС.

Анализ создания и эксплуатации трех тренажерных комплексов по программам долговременной орбитальной станции «Салют», орбитального комплекса «Мир» и Международной космической станции позволил выявить следующие достоинства тренажерных комплексов по отношению к автономным тренажерам [2]:

1. Возможность проведения совокупности автономных тренировок и проведение многосегментных тренировок.

2. Высокие методические возможности комплекса для эффективной подготовки космонавтов. Это связано, прежде всего, с новыми функциональными возможностями по управлению процессом тренировок космонавтов на всех этапах подготовки, что достигается наличием систем управления тренировками, автоматизированного контроля операторской деятельности, системы психологического контроля операторов, моделирования нештатных ситуаций, системы записи и воспроизведения состояний, а также использованием удобной системы форматов инструктора и рациональным построением пультов контроля и управления.

3. Интеграция средств нескольких тренажеров и возможность их работы в комплексе для отработки взаимодействия экипажей при совместном выполнении общих задач. Открытая архитектура вычислительной системы тренажерного комплекса РС МКС позволила успешно интегрировать в состав тренажерного комплекса вновь вводимые тренажеры орбитальных модулей и тренажер американского сегмента МКС.

4. Экономичность достигается за счет использования по мере необходимости одних и тех же аппаратно-программных средств в различных тренажерах и, как следствие, уменьшается количество сложных и дорогих устройств (ЭВМ, ПКУ, имитаторов визуальной обстановки и др.). Экономический эффект, достигнутый при создании тренажерного комплекса по программе «Мир», составил более 9 млн долларов [2].

5. В связи с сокращением количества различных технических средств требуется значительно меньшая площадь помещений, необходимых для размещения

тренажерного комплекса. На РС МКС (в соответствии с проведенными расчетами) экономия по площадям составила более 15 %.

6. Экономичность достигается рациональной организацией вычислительных процессов. Для сравнения отметим, что вычислительная система комплекса тренажеров американского сегмента МКС SSTF для решения аналогичных задач требует более чем в 100 раз больше вычислительных ресурсов с соответствующим удорожанием процесса разработки [2].

7. Наблюдается высокая технологичность разработки. Принятые структурные решения обеспечили создание гибкой, развиваемой, легко наращиваемой системы. Ввод в эксплуатацию тренажеров орбитальных модулей производился поэтапно без длительных перерывов в работе ранее созданных тренажеров. ВС тренажерного комплекса РС МКС обеспечивает непрерывный цикл работ по проведению доработок и модификаций тренажеров. При этом в каждый момент времени тренажеры были готовы к проведению тренировок.

8. Сокращение сроков создания тренажеров достигается за счет исключения этапа проектирования и изготовления системных средств и большей части типовых устройств коллективного пользования, возможности использования модулей, ранее изготовленных для других изделий.

9. Высокие эксплуатационные характеристики достигаются за счет однородности состава унифицированных технических средств.

К недостаткам тренажерного комплекса можно отнести следующие:

– тренажерный комплекс представляет собой более сложную систему, чем парк автономных тренажеров;

– создание первого тренажера тренажерного комплекса, с учетом создания средств коллективного пользования всего тренажерного комплекса, менее экономично, чем создание аналогичного автономного тренажера.

Выводы:

1. Технология создания тренажерных комплексов позволяет устранить основные недостатки автономных тренажеров, проявляемых при их создании и эксплуатации.

2. Это положение рекомендуется использовать при формировании новых комплексов технических средств подготовки космонавтов по перспективным космическим программам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В.Е. Шукшунов, Г.В. Безруков, А.Г. Душенко, Е.И. Жук, Н.Е. Зубов, А.М. Макаров, Б.А. Наумов, С.И. Потоцкий, В.В. Фоменко, В.В. Циблиев. Под ред. В.Е. Шукшунова. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [2] Наумов Б.А. Космические тренажеры. – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013. – 214 с.
- [3] Наумов Б.А., Циблиев В.В. Технические средства подготовки космонавтов // Полет. – 2008. – № 4. – С. 7–14.
- [4] Опыт создания и эксплуатации вычислительных систем космических тренажеров / Лункин К.С., Виноградов Ю.А., Саев В.Н. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(15). – 2015. – С. 102–111.

УДК 629.78.072

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРТОВ МЕЖВЕДОМСТВЕННОЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ КОМИССИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ТРЕНИРОВОК НА ТРЕНАЖЕРАХ РС МКС**

В.В. Батраков

В.В. Батраков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассмотрен состав тренажерного комплекса РС МКС, обозначены места для персонала, участвующего в экзаменационных тренировках, условия и особенности работы экспертов Межведомственной экзаменационной комиссии при проведении комплексной экзаменационной тренировки. Разработаны предложения по составу информации, необходимой для их работы.

**Ключевые слова:** космический тренажер, тренажерный комплекс, комплексная экзаменационная тренировка, Межведомственная экзаменационная комиссия.

### **Information Support of Experts of the Interdepartmental Examination Board in the Course of the Complex Exam Trainings on Simulators of the ISS RS. V.V. Batrakov**

The paper considers the configuration of the simulator complex of the ISS RS, determines workplaces for the personnel involved in exam trainings as well as the conditions and peculiarities of work of experts of the interdepartmental examination board during complex exam training. Proposals on the content of information required for their work are developed.

**Keywords:** space simulator, simulator complex, complex exam training, interdepartmental examination board.

### **Введение**

Основная подготовка к космическим полетам проводится на космических тренажерах, где осуществляется оперативный контроль действий экипажей различными специалистами (инструкторы, инженеры, врачи) с использованием программно-аппаратных средств пульта контроля и управления (ПКУ), входящего в состав тренажера [1]. Заключительным этапом в программе подготовки экипажей к предстоящему полету является комплексная экзаменационная тренировка (КЭТ).

Для проведения комплексной экзаменационной тренировки создается Межведомственная экзаменационная комиссия (МЭК).

### **Задачи и порядок проведения экзаменационной тренировки**

Задачами экзаменационной тренировки являются:

- оценка навыков комплексной эксплуатации экипажа МКС бортовых систем в штатных и нештатных ситуациях;
- оценка навыков выполнения программы научных исследований и экспериментов;
- оценка навыков выполнения суточного плана работ экипажа;
- оценка навыков взаимодействия с наземной группой управления и между членами экипажа;
- подготовка данных для формирования заключения о готовности экипажа к выполнению программы полета на РС МКС.

План тренировки состоит из перечня работ для каждого члена экипажа со ссылками на бортовые инструкции, радиограммы, светотеневой обстановки, расписания сеансов связи, плана радиообмена между экипажем и ЦУПом, плана выдачи на борт командной информации и приема с борта данных. Перечень нештатных ситуаций, выносимых на экзаменационную тренировку, содержит расчетные нештатные ситуации, действия по выходу из которых изложены в бортовой документации или радиограммах.

В процессе тренировки инструкторско-преподавательский состав, проводящий тренировку, и члены экзаменационной комиссии осуществляют контроль действий экипажа и их результат с использованием системы отображения информации пульта контроля и управления (СОИ ПКУ) [3] тренажера и оценивают выполнение экипажем отдельных полетных операций, режимов, действий в нештатных и аварийных ситуациях. Любое несоответствие действий экипажа требуемым действиям, предписанным бортовой документацией, радиограммами или иной документацией, определяется как отклонение от нормы штатной деятельности.

После завершения тренировки экзаменационная комиссия на основе апостериорного анализа зафиксированных в процессе тренировки показателей вырабатывает заключение, в котором отражаются:

- полнота выполнения программы тренировки;
- введенные нештатные ситуации, действия экипажа по их обнаружению, локализации и устранению;
- положительные моменты в деятельности экипажа при выполнении тренировочного задания;
- отклонения экипажа от норм деятельности с анализом их причин и последствий;
- итоговая оценка деятельности экипажа во время ЭКТ.

### **Структура космического тренажера**

Подготовка космонавтов к космическим полетам представляет собой процесс, включающий в себя комплекс организационных, учебно-методических, летных, научно-технических, медико-биологических и других мероприятий, направленных на формирование у космонавтов необходимых знаний, умений и навыков для совершения полета на пилотируемых космических аппаратах (ПКА) [1].

Основным видом непосредственной подготовки к полету в составе экипажа являются комплексная и специализированная подготовки на космических тренажерах (КТ). В результате тренировок на космических тренажерах у космонавтов формируются навыки и умения по управлению и эксплуатации ПКА в штатных и нештатных режимах функционирования бортовых систем, организации комплексной деятельности экипажа на борту ПКА, а также по отработке взаимодействия между членами экипажа и экипажа с Главной оперативной группой управления (ГОГУ).

Типовая структура космического тренажера включает в себя следующие функциональные подсистемы (рис. 1): полномасштабный макет космического аппарата – рабочее место оператора (РМО), пульт контроля и управления тренировкой (ПКУ), вычислительную систему (ВС), устройство сопряжения оборудования макета с вычислительной системой (УСО), систему медицинского контроля (СМК), систему электропитания (СЭП), систему имитации связи «Борт–Земля» (СИСБЗ), систему имитации визуальной обстановки (СИВО), телевизионную аппаратуру

(ТВА),

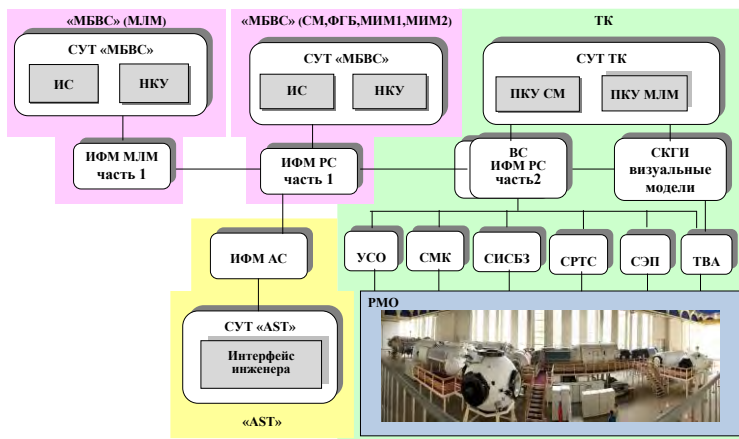


Рис. 1. Структура космического тренажера

а также сетевые средства, интегрирующие элементы тренажера в подсистемы и подсистемы в тренажер [4].

### Описание ПКУ тренажерного комплекса РС МКС

Пульт контроля и управления (ПКУ) является центральным звеном в системе управления космическим тренажером при проведении тренировок космонавтов [5]. На рис. 2 изображен ПКУ, в составе которого разработаны тренажеры орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

ПКУ представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, объединенных единой целью (отображение и управление информационной моделью управляемого объекта) и общим алгоритмом функционирования, преобразующим воспроизведенную информацию в команды управления или сообщения, которые отображаются на мониторах и сигнальных устройствах в системе отображения информации (СОИ) ПКУ.



Рис. 2. Внешний вид ПКУ космического тренажера

Основными средствами для отображения информации о ходе тренировки, моделируемых ситуациях и действиях экипажа являются мониторы. ПКУ предусматривает трехуровневое расположение средств управления и отображения информации.

В нижнем ряду располагаются семь мониторов. Левый крайний монитор принадлежит рабочему месту инженера. На этом мониторе отображаются форматы управления тренировкой, общесистемные форматы и форматы автоматизированного контроля операторской деятельности (АКОД). По запросу инженера на этом же мониторе могут отображаться и специализированные форматы по моделируемым бортовым системам и текущим значениям параметров этих систем. Шесть других мониторов относятся к рабочему месту инструкторов. На этих мониторах отображаются специализированные форматы контроля процесса тренировки для предоставления информации по моделируемым бортовым системам и текущим значениям параметров этих систем. В этом же ряду расположены пульт ремонтно-технологической связи (слева) и панель управления имитацией пожарной обстановки и бортовой аппаратурой (справа).

В среднем ряду располагаются мониторы, отображающие форматы приборов-повторителей наблюдения за внешней обстановкой станции, бортовых Laptop (российских и американских), Laptop системы SSC (системы инвентаризации обслуживания станции), Laptop AST (имитатора американского сегмента).

В верхнем ряду располагаются мониторы – видеоконтрольные устройства (ВКУ), на которых отображается модель внешней визуальной обстановки системы компьютерной генерации изображения (СКГИ), наблюдаемой операторами в средствах наблюдения РМО, и сюжеты от нештатных камер наблюдения, расположенных в РМО, для визуального контроля состояния и действий экипажа.

Пространство ПКУ, в котором расположены средства управления и отображения информации и пространство для размещения персонала, условно разделены на две рабочие зоны: одно рабочее место инженера и два рабочих места для инструктора и инженера.

Программные средства системы управления тренировкой (СУТ) обеспечивают информационный интерфейс между пользователями ПКУ и системами тренажерного комплекса. Интерфейс строится на основе форматов, выводимых на мониторы рабочих станций ПКУ. В настоящее время для тренажерного комплекса РС МКС разработано более 500 форматов.

### **Работа экспертов Межведомственной экзаменационной комиссии**

ПКУ тренажерного комплекса РС МКС является техническим средством коллективного пользования. В процессе тренировки эксперты МЭК осуществляют контроль деятельности экипажа посредством СОИ ПКУ, оценивают выполнение экипажем отдельных действий, полетных операций, режимов, действия в штатных и нештатных ситуациях.

Для проведения комплексной экзаменационной тренировки, подводящей итог подготовки экипажей к космическому полету, создается Межведомственная экзаменационная комиссия [2]. Количество экспертов комиссии достигает 40 человек и более. Это специалисты из числа сотрудников Центра подготовки космонавтов, опытных космонавтов, представителей организаций-разработчиков летного изделия и космических тренажеров (КТ), организаций-постановщиков космических экспериментов (КЭ).



Комиссия использует информацию с устройств отображения ПКУ, что и бригада специалистов, осуществляющих оперативный контроль и управление экзаменационной тренировкой. Контроль выполнения циклограммы экзаменационной тренировки и действий экипажа осуществляется с помощью приборов-повторителей, форматов работы бортовых систем, монитора событий и визуально с помощью камер видеосюжета, установленных в объеме учебно-тренировочных макетов тренажерного комплекса РС МКС.

Рабочее место экзаменационной комиссии – это произвольно выбранное экспертом место рядом с пультом контроля и управления, сам ПКУ и соответствующие ему средства поддержки деятельности пользователей ПКУ (устройства отображения информации, органы управления, средства связи и др.).

На работу экспертов МЭК влияют объективные факторы: аппаратурные, зависящие от функционирования технических средств, и средовые, зависящие от рабочей среды, в которой действует экзаменационная комиссия. Аппаратурные факторы определяют организацию рабочего места комиссии, форму и вид предоставления рабочей информации. Средовые факторы определяют: условия обитаемости (рабочее пространство), рабочую обстановку, нагрузку, организацию деятельности Межведомственной экзаменационной комиссии [6].

На ПКУ тренажерного комплекса не предусмотрены рабочие места для МЭК. Вследствие этого эксперты, как правило, располагаются рядом с обучающим персоналом ПКУ (инструкторы и методисты) и могут получать необходимую для анализа информацию по запросу через инструктора. Однако возможность направлять запросы через инструктора на отображение информации ограничена и по оперативности, и по информационному приоритету, и объясняется это двумя основными причинами: занятостью инструктора основной деятельностью и недостатком средств отображения на ПКУ, предназначенных для специальных запросов экспертов [7].

Проведенные исследования комплексных тренировок показали, что отсутствие рабочего места МЭК увеличивает время экспертам на анализ операторской деятельности экипажа. На рис. 3 изображена гистограмма времени выполнения

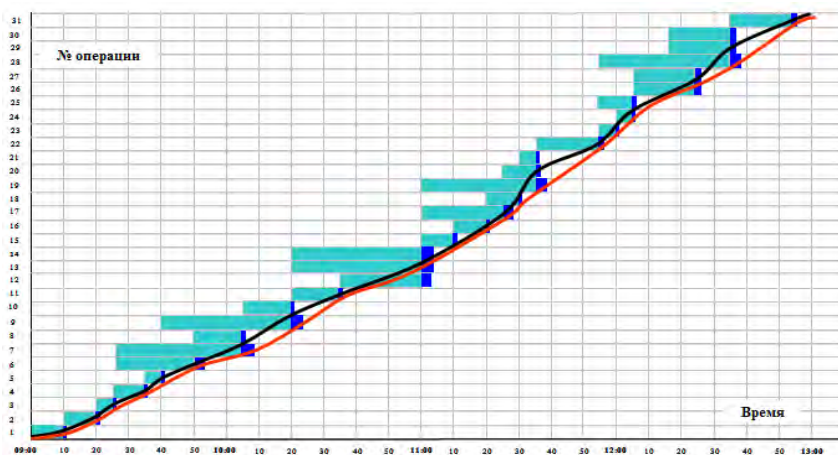


Рис. 3. Хронометраж времени выполнения операций членами экипажа и времени для анализа их деятельности экспертами МЭК

операций экипажем и контроль его специалистами МЭК. Бирюзовым цветом обозначено время, отведенное экипажу на выполнение операции в соответствии с циклограммой комплексной экзаменационной тренировки, синим – прирост времени экспертов при ведении мониторинга деятельности космонавтов. В идеальном варианте можно считать время одновременной работы космонавтов и контроль экспертов. Однако практика проведения КЭТ показывает, что время предварительного анализа деятельности экипажа комиссией увеличивает их время мониторинга в зависимости от выполняемой космонавтом операции на 7 %–10 % (синий цвет на гистограмме).

Идеальный вариант – «параллельная работа» (во времени) космонавтов и экспертов – черная кривая. Красная кривая – прирост времени на мониторинг экспертов [8].

### **Предложение рабочего места для экспертов МЭК**

Повышение качества экспертной оценки в ходе экзаменационной тренировки требует не только полного и удобного доступа экспертов к выводимой на устройства отображения ПКУ информации о ходе тренировки, но и дополнительного, специального информационного обеспечения для комиссии. Это можно обеспечить путем создания персонального рабочего места для МЭК [9].

Рабочее место должно быть оборудовано:

- посадочными местами;
- тремя ПЭВМ;
- устройствами отображения информации;
- связью;
- средствами документирования.

Интерфейс должен обеспечивать:

- беспрепятственный доступ к текущей информации о ходе ЭТ и деятельности экипажа, располагаемой инструктором на ПКУ в любой момент времени;
- получение специализированной информации (по ведомствам) экспертам комиссии.

Исходя из целей, задач, порядка проведения КЭТ на тренажерном комплексе РС МКС, используемых методик оценки действий экипажа в процессе тренировки, была определена информация рабочего места МЭК, необходимая для качественной и эффективной работы МЭК [10]:

1. Документы, используемые МЭК в процессе контроля и оценки деятельности экипажа и при определении итоговой оценки:

- план тренировки;
- документы, регламентирующие деятельность экипажа в процессе выполнения плана тренировки: пункты бортовой документации (БД), радиограммы, методики и иные документы;
- расчетные нештатные ситуации, выносимые на комплексную тренировку, с указанием условий их проявления и пунктов бортовой документации, в которых изложены действия экипажа по выходу из НшС;
- перечень отклонений от норм деятельности с указанием начисляемых штрафных баллов;
- методика расчета итоговой оценки деятельности экипажа на тренировке.

2. Ход выполнения плана тренировки:
    - выполненные на данный момент времени полетные операции с указанием времени их начала и окончания;
    - полетные операции и режимы, выполняемые в настоящий момент;
    - зарегистрированные к данному моменту времени отклонения от норм деятельности.
  3. Текущая полетная ситуация:
    - московское время;
    - светотеневая обстановка: день/ночь, время до смены светотеневой обстановки;
    - время до начала очередного сеанса связи/время до окончания сеанса связи;
    - введенные НшС;
    - стационарный режим;
    - начальные условия, циклограмма и процесс выполнения режима (для динамических режимов станции).
  4. Оперативная информация о деятельности экипажа:
    - текущая информационная обстановка, наблюдаемая оператором в РМО (состояние органов управления и индикации, внешняя визуальная обстановка, информация, отображаемая на мониторах бортовых Laptop);
    - выполняемые членами экипажа действия;
    - реакция модели управляемого объекта на действия экипажа;
    - переговоры экипажа с ЦУПом в сеансе связи;
    - форматы автоматизированного контроля и оценки операторской деятельности.
  5. Информация, регистрируемая в процессе тренировки и используемая после окончания тренировки для анализа и определения итоговой оценки:
    - реально выполненный план тренировки;
    - список отклонений от нормы деятельности;
    - результаты автоматизированного контроля и оценки выполнения отдельных полетных операций и режимов;
    - монитор событий, регистрируемый исполнительной средой тренажера;
    - журнал событий управляющего Laptop PC;
    - видеозапись с аналогового выхода управляющего Laptop PC;
    - видеозаписи ручных динамических режимов;
    - видеозаписи внешней визуальной обстановки;
    - видеозаписи с камер наблюдения;
    - запись переговоров экипажа с ЦУПом в сеансах связи.
- Эта информация должна поступать экспертам МЭК в реальном времени и обеспечивать любой запрос.

## **Заключение**

Отсутствие рабочего места и специального информационного обеспечения для экспертов Межведомственной экзаменационной комиссии является объективным фактором, снижающим эффект их деятельности при проведении комплексных экзаменационных тренировок на тренажерном комплексе РС МКС.

Следует более детально подойти к вопросу информационного обеспечения экспертов экзаменационных комиссий для обеспечения удобства в получении

информации при анализе действий экипажа и оценки его подготовленности на конечном этапе обучения. Доступ к информации должен быть обеспечен с рабочего места МЭК. Интерфейс должен обеспечивать информацией каждого эксперта и потребности каждой рабочей группы экспертов в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Климук П.И. Учебник по курсу «Российская система подготовки космонавтов». – РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, 2003. – 110 с.
- [2] Положение по организации и проведению экзаменационной комплексной тренировки с экипажами на комплексном тренажере РС МКС. – РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок, 2008.
- [3] Шевченко Л.Е., Батраков В.В. Пути совершенствования структуры СОИ ПКУ тренажерного комплекса РС МКС // Труды IX Международной конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014». – 3–5 июля 2014 года, Санкт-Петербург. – С. 390–395.
- [4] Полунина Е.В. Комплексный тренажер российского сегмента Международной космической станции // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 5. – С 40–45.
- [5] Тренажерные комплексы и тренажеры / Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. Под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [6] Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта. Эволюция, психология, информатика. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
- [7] Батраков В.В., Шевченко Л.Е. Анализ состава операторов в контуре управления комплексного тренажера РС МКС // XLII общественно-научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2011. – С. 209–215.
- [8] Батраков В.В., Саев В.Н. Факторы, влияющие на работу экспертов Межведомственной экзаменационной комиссии // XLII общественно-научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2015. – С. 219–224.
- [9] Батраков В.В. Модификация пульта контроля и управления космического тренажера для проведения экзаменационных тренировок экипажей // Труды Международной конференции «Пилотируемое освоение космоса». – Королев, 2016 (в печати).
- [10] Сапежинская А.М., Полунина Е.В. Представление информации для экспертов Межведомственной экзаменационной комиссии на комплексном тренажере российского сегмента МКС // Труды второй Международной научно-практической конференции. «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах». – Санкт-Петербург, 2016. – С. 348–354.

УДК 629.78.072

## **АНАЛИЗ ОПЫТА И МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТРЕНАЖЕРАХ ОРБИТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МИР»**

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

Докт. техн. наук Е.В. Полунина; докт. техн. наук В.Н. Саев;  
канд. техн. наук Л.Е. Шевченко (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье проведен анализ методов моделирования научно-прикладных исследований и экспериментов на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир». В результате проведения исследований получены исходные данные для решения научной проблемы создания моделей космических экспериментов для тренажеров российского сегмента Международной космической станции.

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

### **Analysis of Experience and Simulation Techniques of Scientific Applied Experiments on Simulators of the Orbital Complex “Mir”. E.V. Polunina, V.N. Saev, L.E. Shevchenko**

The paper analyzes the simulation techniques of scientific applied research and experiments on the simulators of special-purpose modules of the Orbital Complex “Mir”. Carried out studies allowed obtaining the initial data for solving the scientific problem of creating models of space experiments designed for simulators of the ISS Russian Segment.

**Keywords:** simulation, space experiments, simulators for cosmonaut training, mathematical modeling, full-scale modeling.

Уже на первых орбитальных станциях «Салют» проводились исследования по различным научным программам, но только на орбитальном комплексе «Мир», состоящем из базового блока и пяти унифицированных целевых модулей, они приняли характер широкомасштабных исследований. С выводением каждого целевого модуля возрастала энергетика комплекса, предоставляемая в обеспечении программы научных исследований, орбитальный комплекс пополнялся научной аппаратурой для проведения исследований. В общей сложности на орбитальном комплексе «Мир» при проведении исследований было использовано более 240 наименований научной аппаратуры общей массой порядка 14 тонн. Данный комплекс научной аппаратуры позволял выполнять фундаментальные и научно-прикладные исследования по девяти направлениям в различных областях науки и техники [1].

### **Состав и размещение моделей научной аппаратуры на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир»**

Модели научной аппаратуры были реализованы на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир»: «Квант», «Квант-2», «Кристалл», «Спектр» и «Природа».

Основная часть установленной на модуле «Квант» (3 апреля 1987 года) научной аппаратуры (ультрафиолетовый и два рентгеновских телескопа, спектрометры ультрафиолетового и жесткого рентгеновского излучения, визуально-измерительное и фотографическое устройство) предназначалась для проведения астрофизических и геофизических экспериментов.

Модуль «Квант-2» (6 декабря 1987 года) был оснащен шлюзовым отсеком для выхода космонавтов в открытый космос со средством передвижения космонавтов. Целевое оборудование модуля «Квант-2» состояло из телеуправляемого видеоспектрометрического комплекса, предназначенного для проведения астрофизических и геофизических экспериментов, многозональной фотокамеры для фотографирования участков земной поверхности, а также биологической установки для отработки выращивания птиц в невесомости и ряда технических установок, осуществляющих контроль прочностных, деформационных характеристик корпуса и терморегулирующего покрытия модуля, фиксирование воздействия космического пространства на радиоэлектронные элементы, композиционные, полимерные и ферромагнитные материалы.

На модуле «Кристалл» (10 июня 1990 года), называемом также стыковочно-технологическим модулем (модуль был оснащен стыковочным узлом для стыковки американских кораблей «Спейс Шаттл» с орбитальным комплексом «Мир»), основную часть научной аппаратуры составляли технологические и биотехнологические установки для получения новых высококачественных полупроводниковых материалов, лекарственных препаратов и отработки технологий выращивания культурных растений в условиях невесомости.

Научная аппаратура, устанавливаемая на модулях «Спектр» (1 июня 1995 года) и «Природа» (26 апреля 1996 года), предназначалась для измерений, визуализации и регистрации спектров разнообразных природных и искусственных объектов с одновременным фотографированием и слежением за исследуемым объектом, а также для дистанционного зондирования океана, атмосферы и суши в интересах народного хозяйства.

На тренажере модуля «Природа» моделировалась дополнительно и вся научная аппаратура, установленная на внешней поверхности модуля и функционирующая полностью в автоматическом режиме управления и контроля. Такая избыточность моделирования была вызвана тем, что на тренажере использовалось штатное программное обеспечение дискретной части системы управления бортовым комплексом (СУБК), осуществляющей управление научной аппаратурой, и математические модели научной аппаратуры были необходимы для обеспечения штатной работы СУБК.

В таблице приведена научная аппаратура, моделируемая на тренажерах целевых модулей с указанием:

- состава и размещения аппаратуры;
- способов управления и контроля;
- режимов функционирования;
- количества команд управления; наличия визиров, видеоконтрольных устройств, визуализации исследуемых процессов;
- основных задач экипажа при работе с аппаратурой;
- способа моделирования.

Как видно из таблицы, на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир» моделировалась практически вся стационарно установленная научная аппаратура, контролируемая и управляемая экипажем в процессе проведения экспериментов.

При реализации моделей на тренажерах были приняты математический принцип моделирования, натурный принцип моделирования и их комбинация. При этом в основу решения, какую научную аппаратуру моделировать по тому или иному принципу, были положены требования ТЗ на тренажер и комплектация макетов орбитальных модулей штатными приборами и устройствами.

Таблица

## Научная аппаратура, моделируемая на тренажерах орбитального комплекса «Мир»

N п/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
<b>Тренажер модуля «КВАНТ»</b>							
1	Телеуправляемый видеоспектрометрический комплекс (ТВК)	Автоматическая стабилизированная платформа АСП-Г-М. НА, установленная на платформе и внешней поверхности модуля: – телекамеры цветного и черно-белого изображения ВУР-30, КЛ-103, КЛ-140СТ; – телескоп-спектрометр ИТС-7Д; – многоканальный спектрометр МКС-М2; – анализатор рентгеновского излучения «Ариз»; – датчик измерения координат Солнца; – телеспектрометр «Фаза». Внутри модуля: цветное и черно-белое ВКУ; видеоматригофон; система управления платформой и научной аппаратурой «Сигма-Б»; ручка управления, пульт управления; пульт управления МКС-М2; пульт дистанционного управления телекамерой ВУР	Автоматический – по программе, заложенной ПУПом в БЦВМ СУ Сигма. Телескопический – на фоне автоматического при помощи органов управления наземного ПУ Сигма-Н. Полуавтоматический – на фоне автоматического при помощи органов управления бортового ПУ Сигма-Б, ПВКМ, ПКСМ. Режим непосредственного управления от РУ	108	Есть	Управление, контроль, ремонтные работы	Технология: ручка управления, ВКУ, видеоматригофон. Тренажерный вариант: ПУ Сигма, ПУ МКС-М2. Математические модели: АСП, СУ СИГМА, МКС-М2, модель относительного движения объектов наблюдения, модель внешней визуальной обстановки
2	УФ-телескоп ГЛАЗАР	Телескоп, фотокамера на внешней поверхности модуля Пульт управления в ПГО	СУБК и экипажем с ПУ, контроль по ТМ и ПУ КМ-2	35 11 НшС	Нет	Управление, контроль, ремонтные работы	Тренажерный ПУ, математическая модель логки работы комплекса

Продолжение таблицы

N п/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы экипажа	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
3	Оптический визир ОД-5	Стационарно устанавливается в ПГО на специальный инклинометр	Управление осуществляет экипаж		Есть	Работы по методике проведения эксперимента	Тренажерный вариант ОД-5, имитатор ВВО
4	Инжектор электронов ИСТОЧНИК	На внешней поверхности модуля	СУБК, ПВКМ, Символ, контроль на ПКПМ и Символе	24	Нет	Управление, контроль	Математическая модель
5	Плазменный инжектор АРИЭЛЬ	На внешней поверхности модуля	СУБК, ПВКМ, Символ, контроль на ПКПМ и Символе	24	Нет	Управление, контроль	Математическая модель
6	Аппаратура ЗОНД-ЗАРЯД	На внешней поверхности модуля	СУБК, ПВКМ, Контроль на ПКПМ	6	Нет	Управление, контроль	Математическая модель
7	Электрофлуоресцентная установка СВЕТИЛАНА	Установка, пульт управления в ПГО	Экипажем с ПУ		Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Штатная установка
<b>Тренажер модуля «КВАНТ-2»</b>							
1	Многоканальный кинорегистратор	Многоканальный кинорегистратор, пульт управления, блок электроники. Все блоки в ПГО, рама с МКФ	СУБК, экипажем с ПУ, контроль по ТМ и ПУ	26	Нет	Управление, контроль, ремонтные работы	Технология МФК, Тренажерный ПУ
2	Унифицированный бортовой приемник ВЕГА	Антенно-волноводные устройства на внешней поверхности модуля. Приемоответчики и пульт управления	СУБК, экипажем с ПУ ВЕГА	8	Нет	Управление, контроль, ремонтные работы	Тренажерный ПУ, математическая модель, логика управления аппаратурой
3	Инкубатор для переселенных яиц	Блок автономного контроля. Пульт контроля и управления, камера животных, вольтер, датчик расхода газа, блок вентиляции и очистки	Управление и контроль проводит экипаж с использованием ПУ	14	Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Штатная установка, ПУ тренажерный, Математическая модель работы установки



Продолжение таблицы

N п/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
<b>Тренажер модуля «КРИСТАЛЛ»</b>							
1	Комплекс ГЛАЗАР-2	Телескоп, фотокамера на внешней поверхности модуля. Пульт управления в ПГО	СУБА, экипаж с ПУ, контроль по ТМ и экипажем	35	Нет	Управление, контроль, ремонт	ПУ тренажерный. Математическая модель логики работы комплекса
2	Оранжерея СВЕТ	Оранжерея для выращивания редиса и салата, пульт управления	СУБК, экипаж с пульт управления, контроль по ТМ и ПУ	8	Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Штатная установка
3	Бюустановка ПРИРОДА-5	Установка для выращивания овощных культур, ПУ	СУБК, экипаж с ПУ	11	Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Штатная установка ПУ тренажерный. Математическая модель логики пульт
4	Аппаратура УКТФ-2	Беговая дорожка	Управление и контроль проводит экипаж		Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Штатная
5	Зеркальная печь ОПТИЗОН	Электровакуумная многослойная печь, система управления и пульт управления «Онникс»	Работа по программе вводимой экипажем с ПУ «ОНИКС», контроль по ТМ и на ПУ	23 14 НпС	Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Печь-технология, ПУ и СУ – штатные
6	Установки ЗОНА 01, ЗОНА 03	Электровакуумные печи, блок управления	Управление и контроль проводит экипаж с БУ	29 14 НпС	Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Печь-технология, ПУ тренажерный. Математическая модель СУ и процесса функционирования установки
7	Технологическая печь КРАТЕР-ВМ	Электропечь, пульт управления	Управление и контроль проводит экипаж	33 16 НпС		Работы по методике проведения эксперимента	Печь-технология, ПУ тренажерный. Математическая модель работы установки
<b>Тренажер модуля «СПЕКТР»</b>							
1	Полусферический радиометр БУТОН	Радиометр на внешней поверхности модуля, БУ – в ПГО	СУБК, экипаж с БУ БУТОН	4	Нет	Управление, контроль, ремонт	БУ тренажерный. Математическая модель логики управления радиометром

Продолжение таблицы

N п/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
2	Оптический приборный комплекс (ОПК)	Автоматизированная поворотная платформа на внешней поверхности модуля. НА, установленная на платформе: дальномер, фототид, датчик измерения координат Солнца, телекамера черно-белого изображения, ИК-модуль. Внутри модуля: система управления платформой, ручка управления, пульт управления. Пульты: ПВН, ПВ, ПР, ПС, БУ ИК-модуля, ВКУ, информационный окуляр, кинофоторегистратор	СУБК, дистанционный режим, экипажем с помощью пультов и ручек управления в ручном режиме	207 24 НПС	Есть	Управление, контроль, ремонт, экспресс-анализ результатов и хим. обработка кино-фотопленки	Технология: РУ, ВКУ, видеоманитофон. Тренажерный вариант: пульты управления, БУ ИК-модуля, информационный окуляр. Математические модели: модель платформы, системы управления относительного движения объектов наблюдения. Синтезированная модель внешней визуальной обстановки
3	Управляемая приборная платформа (УПП)	Управляемая приборная платформа на внешней поверхности модуля. На УПП: – спектрометры Волков-2, Свет; – радиометры Яуза-100, КР-05; – ТВ аппаратура Чайка-17. Внутри модуля: система управления платформой, центральный пульт управления, ручка управления, ВКУ, БУ КР-05, видеоманитофон КЛ-119, ПУ Волков-2, Жестко на внешней поверхности модуля рама с фоновыми приборами: спектрометр Волков-1, радиометры Нева 50-3, Нева 50-5	СУБК, дистанционный режим, экипажем с помощью пультов и ручек управления в ручном режиме	256 32 НПС	Есть	Управление, контроль, ремонт	Технология: ручка управления, ВКУ, видеоманитофон. Тренажерный вариант: пульт управления центральный, БУ КР-05, БУ Волков-1, БУ Волков-2. Математические модели: платформы, СУ платформой, относительного движения объектов наблюдения. Синтезированная модель внешней визуальной обстановки. Имитатор ВВО
4	Атмосферный лидар БАЛКАН-1	Приемо-передатчик (на время эксперимента устанавливается на иллюминатор) и БУ в ППО	СУБК, экипажем с ППУ-20, ПВКМ	32 19 НПС	Нет	Монтаж, управление, контроль, ремонт	Приемопередатчик – технология ППУ-20 тренажерный. Математическая модель логики пульта

Продолжение таблицы

N п/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
<b>Тренажер модуля «ПРИРОДА»</b>							
1	Радиовысомер ГРЕБЕНЬ	СВЧ моноблок на внешней поверхности модуля. Приемник, БУС и др. блоки в ПГО	СУБК, автоматический, контроль по ГМ	18	Нет	Ремонт	Математическая модель логики функционирования системы
2	СВЧ-радиометрическая система ИКАР	Радиометры РП-225, РП-600, Р-600, блок ИКАР-Н. Антенные и сканирующие устройства на внешней поверхности модуля, остальные блоки в ПГО	СУБК, ПВКМ, автоматический, контроль по ГМ и ПКСМ	38	Нет	Контроль состояния, ремонт	Математическая модель логики функционирования системы ИКАР
3	Многоканальный сканирующий радиометр ДЕЛЬТА-2П	АФУ с приводом на внешней поверхности модуля. Приемно-усилительное и обрабатывающее устройство в ПГО	СУБК, автоматический, контроль по ГМ	19	Нет	Ремонтные работы	Математическая модель логики функционирования системы
4	Спектрометрическая система ИСТОК-1	ОМБ на внешней поверхности модуля, Электронные блоки в ПГО	СУБК, автоматический, контроль по ГМ	20	Нет	Ремонтные работы	Математическая модель логики функционирования системы
5	Спектрометрическая система МОЗ «ОБЗОР»	ОЭБ, устанавливаемый экипажем на иллюминатор, БВУ, блок процессора, блок питания, пульт управления в ПГО	СУБК, ПВКМ, ПУ, контроль на ПУ автоматический и с участием экипажа	23	Есть	Монтаж, управление, контроль, ремонт	ОЭБ-технология, ПУ тренажерный, Имгатор ВВО – МОЗ-ОБЗОР
6	Радиолокатор бокового обзора ГРАБЕРС	АФУ на внешней поверхности модуля, остальные блоки в ПГО	СУБК, ПВКМ, Контроль ПКСМ и ГМ, автоматический и с участием экипажа	45	Нет	Управление, контроль, ремонт	Математическая модель логики функционирования системы
7	Система КЕНТАВР	Антенна на внешней поверхности модуля, РПУ в ПГО	СУБК, ПВКМ, Контроль ПКСМ и ГМ, автоматический и с участием экипажа	7	Нет	Управление, контроль, ремонт	Математическая модель логики функционирования системы
8	Спектрометрическая система ОЗОН-М	ОМБ на внешней поверхности модуля БЭ, БП в ПГО	СУБК автоматический	6	Нет	Ремонт	Математическая модель логики функционирования системы
9	Спектрометрические системы МСУ-СК и МСУ-Э	На внешней поверхности модуля	СУБК автоматический	12	Нет	Ремонт	Математическая модель логики функционирования системы
10	Спектрометрическая аппаратура ФАКТ	Опτικο-электронный блок, блок анализа, блок управления, контроля и согласования (БУКС) в ПГО	СУБК, ПВКМ, БУКС, контроль по ГМ и экипажем на БУКС	8	Нет	Монтаж, управление, контроль, ремонт	БУКС тренажерный, Математическая модель логики работы аппаратуры

Окончание таблицы

N ш/п	Наименование аппаратуры	Состав и размещение аппаратуры	Управление, контроль и режимы работы	Число команд	Наличие визиров, ВКУ	Основные задачи экипажа	Модель научной аппаратуры
11	Аппаратура СИНУС	Контейнер-пантограф, система КИП на внешней поверхности модуля; блок управления в ПГО	СУБК или экипаж с БУ КИП, контроль по ТМ и БУ системы КИП	6	Нет	Управление, контроль, ремонт	БУ тренажерный. Математическая модель логики работы системы
12	Аппаратура ИНДИКАТОР	Блок входного преобразователя на внешней поверхности модуля, блок управления в ПГО	СУБК или экипаж с БУ, контроль по ТМ и индикации на БУ	7	Нет	Управление, контроль, ремонт	Математическая модель логики работы аппаратуры
13	Фотометр ДК-33	Устройство приемное, блок электроники в ПГО	СУБК, ПВКМ, контроль по ТМ и экипажем по индикации на ПКСМ	4	Нет	Управление, контроль, ремонт	Математическая модель логики работы аппаратуры
14	Аппаратура КАНПУС	Анализатор, спектрометр, дозиметр в ПГО	СУБК, ПВКМ, контроль по ТМ и экипажем по индикации на ПКСМ	8	Нет	Управление, контроль, ремонт	Математическая модель логики работы аппаратуры
15	Аппаратура МАРИНА-2	Детекторы радиационного излучения, блок электроники наружный на внешней поверхности модуля, блок электроники внутренний в ПГО	СУБК, контроль по ТМ автоматический	23	Нет	Ремонт	Математическая модель логики работы аппаратуры
16	Аэрозольный лидар АЛСА	Оптический блок, БЭ, блок управления, система охлаждения. Все блоки в ПГО, оптический блок устанавливается на иллюминатор	СУБК, ПКСМ и экипаж с блока управления	17	Есть	Монтаж, юстировка, управление, контроль	Технология
17	Спектрометр СКНФ	Переносная аппаратура. Все блоки в ПГО. Оптический блок устанавливается на кронштейне на иллюминатор	Управление осуществляет экипаж		Есть		Технология
18	Аппаратура ГАЛЛАР	Электропечь КОРУНД-1МП, система управления ОНИКС	Работа по программе, вводной экипажем, контроль по ТМ и на ПУ			Монтаж, юстировка, управление, контроль	Технология
19	Аппаратура УРОВЕНЬ	Импulseный излучатель на внешней поверхности модуля. Приемный блок, блок управления и пульт управления в ПГО	СУБК или экипаж с ПУ, контроль по ТМ и экипажем по индикации на ПУ	6	Есть	Монтаж, юстировка, управление, контроль	Технология
20	Установка ТРАПЕЦИЯ	Культивационные камеры для выращивания шляпочных грибов, биофиксатор, фотоаппарат КИЕВ-88	Установка с бортовыми системами не связана, эксперимент проводит экипаж		Нет	Работы по методике проведения эксперимента	Технология

Как правило, блоки научной аппаратуры поставлялись на тренажеры в штатном или технологическом исполнении и затем, при необходимости, дорабатывались под задачи тренажеров. Так, например, на тренажер модуля «Спектр» был поставлен технологический образец лидара «Балкан-1», предназначенный для дистанционного зондирования атмосферы Земли, состоящий из приемопередатчика, на время эксперимента устанавливаемого на иллюминатор, блока управления и пульта управления, содержащего 30 органов управления и индикации. Натурная модель позволяла отрабатывать действия по управлению аппаратурой в штатных режимах работы, но не позволяла отрабатывать действия экипажа при расчетных нештатных ситуациях (НшС) работы аппаратуры (19 НшС). В результате была разработана полунатурная модель аппаратуры «Балкан-1»: на базе штатного пульта был создан тренажерный пульт управления – электрически действующий макет со штатной лицевой панелью, сопрягаемый через устройство согласования (УСО) с математическими моделями логики работы пульта и блока управления в штатных и расчетных нештатных ситуациях, что позволило вести подготовку экипажей к выполнению экспериментов с аппаратурой «Балкан-1» в полном объеме [2].

### **Анализ методов моделирования космических экспериментов на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир»**

#### **Моделирование биологических и медицинских установок**

На тренажерах ОК «Мир» были установлены:

- медицинская установка – беговая дорожка УКТФ-2;
- биологический комплекс «Инкубатор-2» для отработки выращивания птиц (японских перепелов) в невесомости (модуль «Квант»);
- оранжерейная установка «Свет» – первое в мире автоматическое устройство для выращивания растений в условиях микрогравитации [3] (модуль «Квант-2»);
- установка «Природа-5» для выращивания овощных культур (модуль «Кристалл»);
- установка «Трапедия» для выращивания шляпочных грибов (модуль «Природа-5»).

На тренажерах отрабатывались действия экипажей по управлению научной аппаратурой во время проведения биологических экспериментов. Действия с биообъектами, исследуемыми в ходе эксперимента, не отрабатывались.

На основе натурального моделирования были реализованы модели медицинской установки УКТФ-2 и биологических установок «Свет» и «Трапедия».

На принципах полунатурного моделирования были реализованы модели комплекса «Инкубатор» и установки «Природа-5». Все блоки комплекса «Инкубатор» (блок автономного контроля, камера птиц, вольер, датчик расхода газа, блок вентиляции и очистки) и установка «Трапедия», за исключением пультов управления, были установлены в штатном исполнении. Пульты управления комплекса «Инкубатор» (14 команд управления) и установки «Природа-5» (11 команд управления) были установлены в тренажерном виде – электрически действующие макеты штатных пультов со штатными лицевыми панелями, подключаемые через УСО к вычислительной системе тренажера. На вычислительной системе тренажера реализовывались математические модели логики управления и процессов функционирования установок.

**Моделирование технических и технологических экспериментов**

На тренажере модуля «Кристалл» моделировались 4 технологические установки для получения новых материалов в условиях микрогравитации:

- «Оптизон» – электровакуумная многозонная печь, система управления и пульт управления «Оникс»;
- «Зона-02», «Зона-03» – электровакуумные печи, блок и пульт управления;
- «Кратер-В» – электропечь и пульт управления.

Все установки обеспечивали автоматическое проведение технологических процессов по заданной циклограмме. Циклограмма техпроцесса вводилась оператором вручную с пульта управления – время начала, фазы процесса, время и скорость вращения установки, времена и температуры стабилизации (всего до 18 параметров). На пульт управления выводилась цифровая индикация для контроля вводимой оператором циклограммы и параметров, характеризующих ход технологического процесса, условий проведения процесса и работоспособности аппаратуры. Эксперименты длительные, штатно могли быть более суток. В установках «Оптизон», «Зона-02», «Зона-03» перед включением проводилось вакуумирование камеры печи и наполнение ее газом.

На тренажере были использованы 2 варианта – натурное и полунатурное моделирование электровакуумных печей. «Оптизон»: печь – технология, блок системы управления и пульт управления – штатные. «Зона-02», «Зона-03», «Кратер-В»: печь – технология, но не действующая, пульт управления тренажерный, система управления и процесс функционирования печи – математические модели.

Для сравнения рассмотрим модели установок «Оптизон» и «Зона-02», «Зона-03».

Модель установки «Оптизон» представляла собой действующую штатную установку, доработанную под задачи тренажера. Для возможности использования установки на тренировках и отработки нештатных ситуаций были проведены следующие доработки штатного изделия под задачи тренажера:

- доработка штатных программ системы управления «Оникс» с целью ускорения нагрева печи;
- для ввода нештатных ситуаций по перегреву и недогреву была реализована возможность занесения в систему управления «Оникс» технологических констант «перегрев», «недогрев»;
- для ввода нештатных ситуаций «невыполнение команд» между системой управления «Оникс» и электропечью использовался нештатный кабель, позволяющий осуществлять разрыв цепей всех команд и сигналов между системой управления «Оникс» и электропечью по командам от вычислительной системы, поступающим через УСО.

Для контроля правильности задания оператором программы техпроцесса использовалась телеметрическая информация, выдаваемая системой управления «Оникс» и поступающая через УСО в вычислительную систему тренажера, на которой осуществлялась расшифровка телеметрической информации и ее передача на пульт и управления тренировкой.

Модель установки «Оптизон» в результате доработки была свободна от ряда недостатков, присущих натурным моделям – в модели возможно ускорение процессов в определенных рамках, введение основных нештатных ситуаций. Но остаются следующие недостатки натурального моделирования на тренажере. Во-первых, невозможно приостановить тренировку, проиграть в ускоренном масштабе времени технологический процесс, прервать процесс, повторить наиболее тру-

доемкие операции. Во-вторых, ресурсы технических установок ограничены, они не рассчитаны на нагрузки, которые несет аппаратура на тренажере. А так как блоки аппаратуры изготавливаются целенаправленно в ограниченном количестве, то выход из строя любого блока приводит к перерыву в тренировках по данному виду подготовки на длительное время, а иногда и к их прекращению. Недостатком в данном конкретном случае являлось и то, что работающая установка должна быть подключена к системе охлаждения.

Модели установок «Зона-02», «Зона-03» [4]. Установки штатные, но действующим оборудованием являлись только пульта управления, связанные через УСО с математическими моделями, реализованными на вычислительной системе тренажера и обеспечивающими имитацию процессов вакуумирования, заполнения камеры инертным газом [5], функционирования печи в различных режимах. В каждом режиме модель обеспечивала штатную технологическую последовательность отработки фаз эксперимента: нагрева, выдержки, плавки, регулируемого охлаждения и остывания. В модели были приняты несколько нестандартных вариантов длительности экспериментов – 1,5 часа для 2-часовых занятий на тренажере и 6 часов для 8-часовых тренировок. Кроме того, модель могла работать как в реальном времени, так и в ускоренном масштабе времени 1:10, вводимом по команде инструктора с ПКУ. Модели установок «Зона-02», «Зона-03» не имели недостатков, присущих натурному моделированию. Они позволяли максимально использовать обучающие свойства тренажера – приостанавливать тренировку, проигрывать в ускоренном масштабе времени технологический процесс, прерывать процесс, повторять наиболее трудоемкие операции. Часто решение об использовании на тренажере штатной аппаратуры продиктовано стремлением отработать на ней все выполняемые оператором операции. В результате из-за недостатков, присущих натурному моделированию, модели зачастую оказываются невостребованными. Поэтому, прежде чем делать выбор метода моделирования научной аппаратуры, необходимо определить приоритеты обрабатываемых на тренажере упражнений и, исходя из них, осуществлять выбор.

### **Модели космических экспериментов, направленных на исследование Земли, околоземного и космического пространства**

Модели космических экспериментов, направленных на исследование Земли, околоземного и космического пространства, в общем случае включают в себя:

- модели научной аппаратуры, используемой при проведении эксперимента;
- модели измерительной информации, полученной при проведении эксперимента;
- модели систем управления поворотных платформ, на которых установлена научная аппаратура;
- модели относительного движения объектов наблюдения в полях зрения оптических и телевизионных приборах наблюдения;
- модели внешней визуальной обстановки, наблюдаемой экипажем в иллюминаторах и приборах наблюдения.

#### **Модели научной аппаратуры**

Основная часть стационарно установленной на модулях орбитального комплекса «Мир» научной аппаратуры (спектрометры, телескопы, радиометры и пр.) для исследования Земли, околоземного и космического пространств размещалась либо жестко на внешней поверхности модуля, либо на внешних поворотных

платформах. Часть научной аппаратуры была установлена стационарно на иллюминаторах внутри модулей на специальных кронштейнах (МКФ-6МА, ОД5), либо устанавливалась на иллюминаторы на время проведения эксперимента (КФР, оптические блоки лидаров). Внутри модуля находились ручные средства контроля и управления (пульты, органы управления и индикации) и блоки аппаратуры (оптические блоки, видеоконтрольные устройства, вычислительные средства и др.), с которыми непосредственно работал экипаж.

Модель научной аппаратуры, не имеющей собственных пультов, представляла собой математическую модель логики функционирования аппаратуры при штатной работе и предполагаемых нештатных ситуациях в соответствии с командами управления, поступающими от СУБК. Модель научной аппаратуры, имеющей собственный пульт управления, представляла собой полунатурную модель, состоящую из пульта управления в штатном или тренажерном исполнении и математической модели логики функционирования аппаратуры.

Недостатком большинства штатных пультов является также необходимость разработки дополнительных согласующих устройств пульта со стандартными модулями УСО. Поэтому для небольших пультов со стандартными органами управления и индикации пульта в качестве тренажного пульта использовался электрически действующий макет пульта со штатными лицевыми панелями.

Как видно из таблицы, на тренажерах орбитального комплекса «Мир» во всех моделях научной аппаратуры, имеющих собственные пульты управления, за исключением аэрозольного лидара «Алиса» и аппаратуры «Галлар» и «Уровень», использовались тренажерные пульты.

В 90-е годы появился новый тип аппаратуры для дистанционного зондирования Земли и атмосферы – лидары, оптические блоки которых содержат твердотельные лазеры с высокими энергиями накачки. Использование на тренажере таких штатных оптических блоков требует принятия определенных мер безопасности. Так, например, для обеспечения безопасности при работе с лазерным излучателем аэрозольного лидара «Алиса» даже при установке в оптическом блоке одного штатного лазера вместо четырех, в тренажерном макете модуля «Природа» иллюминатор, на котором размещался оптический блок, с внешней стороны должен был быть оборудован устройством, поглощающим лазерное излучение. Кроме того, при использовании штатного излучателя требовалось охлаждение оптического блока.

Для решения данной проблемы на тренажерах РС МКС предлагается применять тренажерные варианты оптических блоков, повторяющие оптические схемы штатных, но с использованием лазеров с безопасными энергиями накачки и в импульсе.

#### **Модели систем управления движением поворотных платформ**

На орбитальном комплексе «Мир» были установлены 3 поворотные платформы с размещенной на ней научной аппаратурой:

- автоматизированная стабилизированная платформа, входящая в состав телеуправляемого спектрометрического комплекса (ТВК) (модуль «Квант-2»);
- автоматизированная поворотная платформа, входящая в состав оптического приборного комплекса (ОПК) (модуль «Спектр»);
- управляемая приборная платформа, входящая в состав управляемого приборного комплекса (УПК) (модуль «Спектр»).

В системы управления поворотными платформами ТВК и ОПК были включены специализированные вычислительные машины (СВМ), решающие задачи стабилизации в орбитальной и инерциальной системах координат, навигации по



звездам, слежения за точкой на Земле и объектами звездного неба, определения координат (геофизических, астрономических) визируемых объектов.

Первоначально рассматривался вариант включения в модель системы управления платформой ОПК штатной СВМ. При рассмотрении этого вопроса выяснилось, что по включении СВМ автоматически вызывается режим определения точного положения системы координат платформы в инерциальном пространстве по координатам двух звезд, и пока режим не будет выполнен, невозможно перейти на отработку остальных режимов. В этом режиме оператор должен был выбрать из имеющегося в бортовой документации списка пару звезд, ввести с пульта управления СВМ в ОЗУ номер выбранной пары, затем последовательно навести оптический визир на первую и вторую звезду с заданной точностью, нажимая при удержании звезд в центре визира клавишу «отметка явления» на пульте управления СВМ.

На технических средствах подготовки космонавтов в ЦПК в то время в основном применялись штатные бортовые вычислительные средства. Основное преимущество данного подхода – обеспечение высокой точности моделирования. Существенный недостаток – низкая управляемость модели (большие времена выставки начального состояния, выхода из нештатных ситуаций, трудность реализации таких, присущих только тренажеру особенностей, как выдача команд на приостановку тренировки, возвращение в исходное положение, переход на ускоренный масштаб времени), существенно снижающая качество тренажера и эффективность подготовки экипажей на нем.

Использование в модели системы управления платформой функциональной модели СВМ [7] позволило снизить требования к точности моделирования звездного неба и согласовать их с требованиями, предъявляемыми оператору при отработке данного режима. При этом признак правильности идентификации оператором выбранной пары звезд вводился в модель БЦВМ инструктором с ПКУ.

Учитывая положительный опыт функционального моделирования штатных бортовых вычислительных средств (БВС) в контуре управления поворотной платформы на тренажере модуля «Спектр», на тренажерах РС МКС предлагается использовать функциональные модели БВС, входящие в состав системы управления научной аппаратуры.

**Модели относительного движения объектов исследования** в плоскости наблюдения визирных устройств в общем случае включают в себя:

- модель относительного движения объектов в базовой системе координат;
- блок пересчета координат объекта из базовой системы координат в системы координат визирных устройств;
- блок пересчета начальных параметров движения из заданных систем координат в базовую систему координат.

Основное отличие моделей относительного движения заключается в способе задания исходных данных для моделирования относительного движения объектов в полях зрения приборов наблюдения. Объектами наблюдения могут быть объекты земной поверхности, звездного неба, летательные аппараты, движущиеся в околоземном пространстве и на ближних с модулем орбитах и пр.

Как правило, перед выполнением эксперимента оператор должен выполнить определенную ориентацию орбитального комплекса «Мир» на орбите и развернуть платформу с приборами наблюдения так, чтобы в заданный с Земли момент времени (момент прицеливания) объект находился по линии визирувания платформы. При входе объекта в поле зрения прибора наблюдения космонавт должен в ручном режиме управления движением платформы привести объект в заданную

градусную зону прибора наблюдения и либо удерживать в ней объект во время работы регистрирующей аппаратуры, либо переключиться в режим автосопровождения объекта системой управления платформой (если такой режим имеется).

На тренажере «Квант-2» при моделировании телеуправляемого видеоспектрометрического комплекса относительное положение станции и района наблюдения Земли на момент прицеливания задавалось номером суточного витка, по которому на основе баллистической информации заранее, до тренировки, проводился расчет положения орбиты в геоцентрической системе координат и положение района наблюдения относительно станции. При таком способе задания начальных условий эксперимента инструктор на тренировке имеет заранее определенный ограниченный набор вариантов относительного движения объектов наблюдения.

На тренажере модуля «Спектр» при моделировании экспериментов, проводимых с использованием приборного комплекса «Октава» [6, 7, 8], в качестве исходных данных эксперимента задавались параметры положения района наблюдения Земли относительно станции на момент прицеливания: дальность, параллакс, и указывался тип витка орбиты – нисходящий или восходящий, по которым затем определялись начальные параметры орбиты в геоцентрической системе координат и положение центра масс станции на орбите. Это дало возможность инструктору на тренировке в зависимости от степени подготовленности космонавта задавать различные по сложности выполнения варианты упражнений.

**Имитация внешней визуальной обстановки.** На тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир» моделировалась внешняя визуальная обстановка, наблюдаемая экипажем в полях зрения:

– прибора ОД-5 – визирно-фотографического устройства, предназначенного для детального наблюдения и регистрации объектов в космическом пространстве и на поверхности Земли, определения координат наблюдаемых объектов (тренажер модуля «Квант»);

– телевизионных средств наблюдения (цветной и двух черно-белых телекамер) телеуправляемого видеоспектрометрического комплекса, предназначенного для проведения научных исследований и экспериментов, предусматривающих поиск, наведение и сопровождение объектов наблюдения на земной поверхности, небесной сфере и в околоземном пространстве (тренажер модуля «Квант-2»);

– оптическом и телевизионных средствах наблюдения приборного комплекса «Октава», предназначенного для проведения научных исследований и экспериментов, предусматривающих поиск, наведение и сопровождение объектов наблюдения на земной поверхности и движущихся в околоземном пространстве (тренажер модуля «Спектр»).

Все три имитатора внешней визуальной обстановки – уникальные, разрабатывались под конкретные приборы наблюдения.

Имитатор «Тополь» соответствовал уровню разработки прибора ОД-5 и в целом имел высокую степень адекватности по параметрам и условиям применения приборов серии ОД. Адекватность имитации внешней обстановки в части представления изображений подстилающей поверхности реализовалась для конкретных условий космической фотосъемки объектов, изображения которых были использованы в имитаторе изображений. Однако оперативное изменение фоноцелевой и облачной обстановки не представлялось возможным, т.е. отсутствовала управляемость параметрами имитируемой внешней обстановки. Кроме того, изготовление новых носителей изображений было связано со значительными трудностями.

Имитация визуальных каналов оптического приборного комплекса (ОПК) и управляемой приборной платформы (УПП) комплекса «Октава» осуществлялась путем формирования на телевизионном индикаторе целевой и фоновой обстановки с последующим введением моделируемого (синтезируемого) изображения объекта наблюдения в окулярное поле зрения оператора.

В зависимости от типа выполняемой задачи оператору приборного комплекса «Октава» предъявлялись различные фоны: подстилающая поверхность Земли ночью и днем, звездное небо, комбинация этих фонов. Фон ночного неба и подстилающей поверхности Земли ночью имитировался в виде отдельных светящихся точек различных яркостей без привязки к конкретному участку. Фон подстилающей поверхности днем формировался на экране цветного графического дисплея в виде изображения заданных районов земной поверхности. В целом имитатор позволял отрабатывать на тренажере все запланированные эксперименты и режимы работы комплекса «Октава» – навигация по звездам, автоматический и ручной режимы сопровождения объектов наблюдения, юстировка аппаратуры, а также оперативно управлять параметрами синтезируемых объектов (яркость, размер) и создавать изображения новых районов земной поверхности.

## Заключение

Анализ методов моделирования научно-прикладных экспериментов на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир» показал, что:

– на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир» моделировалась практически вся стационарно установленная научная аппаратура, контролируемая и управляемая экипажем в процессе проведения экспериментов. При моделировании были приняты математический принцип моделирования, натурный принцип моделирования и их комбинация;

– космические эксперименты, моделируемые на тренажерах целевых модулей орбитального комплекса «Мир», по направленности исследований и деятельности экипажа при их проведении можно разбить на две основные группы: эксперименты, направленные на исследование влияния условий космической станции на материалы, физические процессы, а также на отработку технологий производства новых материалов в условиях космической станции; эксперименты, направленные на исследование Земли, околоземного и космического пространства;

– для моделирования экспериментов первой группы оптимальным с точки зрения эффективности подготовки является полунатурный метод моделирования, реализованный по следующей схеме: блоки аппаратуры, с которыми непосредственно работает экипаж, устанавливаются на тренажере в штатном или тренажерном исполнении; действующими являются только ручные средства управления (пульты, бортовые лэптопы, органы управления и индикации), сигналы с которых поступают в вычислительную систему тренажера, на которой моделируются логика управления научной аппаратурой и изменения во времени параметров физических процессов, контролируемых экипажем, в штатных и расчетных нештатных ситуациях;

– модели экспериментов второй группы представляют собой взаимосвязанный комплекс моделей научной аппаратуры, систем управления поворотных платформ, относительного движения объектов наблюдения, внешней визуальной обстановки, измерительной информации, полученной в ходе выполнения эксперимента;

– методы моделирования составляющих комплекса моделей второй группы должны быть согласованы, адекватны задачам подготовки и не должны ограничивать инструктора в выборе условий проведения экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://ria.ru/spravka/20160220/1376649802.html>. Орбитальная научная станция «Мир» (обновлено 22.03.2016).
- [2] Частное техническое задание на разработку модели научной аппаратуры «Балкан-1». Изделие «ДОН-77КСО». ОКБ «Орбита». 1991.
- [3] Сычев В.Н., Шепелев Е.Я. и др. Биологические системы жизнеобеспечения: исследования на борту орбитального комплекса «Мир» // Четвертая Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2000.
- [4] Частное техническое задание на разработку модели установок «ЗОНА 02», «ЗОНА 03». Изделие «ДОН-77КСТ». ОКБ «Орбита». 1990.
- [5] Частное техническое задание на разработку модели системы вакуумирования и снабжения газом технологического блока. Изделие «ДОН-77КСТ». ОКБ «Орбита». 1990.
- [6] Частное техническое задание на разработку модели оптического приборного комплекса (ОПК). Изделие «ДОН-77КСО». ОКБ «Орбита». 1991.
- [7] Частное техническое задание на разработку модели управляющего приборного комплекса (УПК). Изделие «ДОН-77КСО». ОКБ «Орбита». 1991.
- [8] Частное техническое задание на разработку моделей экспериментов. Изделие «ДОН-77КСО». ОКБ «Орбита». 1991.

УДК 629.784

## **АНАЛИЗ УЧАСТИЯ КОСМОНАВТОВ МКС В ОПЕРАЦИЯХ ДОСТАВКИ, ХРАНЕНИЯ И ВОЗВРАЩЕНИЯ ГРУЗОВ**

Б.И. Крючков, В.И. Ярополов, А.Е. Маликов, В.М. Усов, Ю.Б. Сосюрка

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. техн. наук, профессор В.И. Ярополов; А.Е. Маликов; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов; канд. техн. наук, доцент Ю.Б. Сосюрка (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматривается один из видов профессиональной деятельности экипажей пилотируемых космических комплексов (ПКК), определяемый функциями по обслуживанию доставляемых с Земли грузов, удалению выработавшего ресурс (или отказавшего) оборудования, возвращению полезных грузов. По сути, речь идет об участии космонавтов в обеспечении функционирования системы доставки грузов, которая по аналогии с другими отраслями (авиация, морской флот, железнодорожный транспорт и др.) является не чем иным, как транспортной логистикой. Анализируются структура, задачи и особенности деятельности космонавтов при выполнении указанных операций. Оцениваются статистические характеристики операторской деятельности экипажей ПКК на примере Международной космической станции (МКС), в том числе трудозатраты на обслуживание грузов, а также разного рода отклонения и нештатные ситуации (НшС), возникающие при работе с доставленными грузами. С учетом опыта полетов МКС обсуждаются особенности этой деятельности при выполнении лунных миссий.

**Ключевые слова:** космонавты, транспортные корабли, Международная космическая станция, транспортно-логистические операции, разгрузочно-погрузочные работы, гистограмма, функция распределения.

### **An Analysis of Cosmonauts Participation in Cargo Delivery, Storage and Return Operations aboard the ISS. B.I. Kryuchkov, V.I. Yaropolov, A.E. Malikov, V.M. Usov, Yu.B. Sosyurka**

The paper considers one of the types of crews' professional activity aboard Manned Space Complexes related to servicing cargo, delivered from Earth, removing faulted (or reached the end of its service life) equipment and returning payloads to Earth. As a matter of fact, this is about the participation of cosmonauts in ensuring the operation of the cargo delivery system that, by analogy with other sectors (aviation, marine, railway transport, etc.) is neither more nor less than the transport logistics. The structure, objectives and features of the said activity are reviewed. Statistical characteristics of this kind operator activity by example of the International Space Station, including man-hours for servicing cargo as well as different sorts of deviations and off-nominal situations that arise when working with delivered cargo are evaluated. The specificity of this activity type in lunar missions is considered taking into account the experience of the ISS missions.

**Keywords:** cosmonauts, cargo space vehicles, International Space Station, transport-logistic operations, loading/unloading, histogram, distribution function.

### **Опыт доставки, хранения и возвращения грузов в пилотируемой космонавтике**

В пилотируемой космонавтике накоплен достаточно большой опыт доставки в космос, длительного хранения на ПКК и возвращения на Землю грузов различного назначения. В определенном смысле обеспечение грузопотока и обслуживание грузов в космосе экипажами ПКК схожи с задачами транспортной логистики для

различных видов транспорта на Земле – авиационного, морского, автомобильного, железнодорожного. При этом обеспечивается доставка грузов из одной точки в другую по оптимальному маршруту в кратчайшие (или предусмотренные) сроки с минимальными затратами. По сути, эти задачи относятся к задачам управления материальными и информационными потоками. Как правило, они включают: определение способов транспортировки грузов, оптимизацию процессов их обработки – разгрузки, погрузки, хранения, анализа свойств грузов.

На сегодняшнем этапе пилотируемой космонавтики доставка грузов осуществляется в основном на объекты, функционирующие на различных орбитах искусственного спутника Земли (ОИСЗ). При этом значительная роль в обеспечении транспортно-логистических операций (ТЛО) отводится экипажам ПКК. В будущих полетах на Луну подобные операции будут иметь определенную специфику, поскольку при транспортировке грузов возникает ряд особенностей, не свойственных полетам на ОИСЗ.

В качестве доставщиков грузов на орбитальные ПКК и напланетные лунные космические комплексы (НЛКК) могут использоваться как беспилотные транспортные грузовые корабли (ТГК), так и транспортные пилотируемые корабли (ТПК) [1, 2]. Различные типы беспилотных космических средств транспортировки грузов приведены в табл. 1.

В составе орбитальной космической станции (ОКС) «Салют-6» функционировали 13 грузовых кораблей типа «Прогресс», в составе «Салюта-7» – 15, в составе ОКС «Мир» – 64. На МКС в период с 06.08.2000 г. по 17.07.2016 г. было 64 грузовых корабля типа «Прогресс». Обеспечение российского сегмента (РС) МКС осуществлялось грузовыми кораблями «Прогресс М1» (2000–2004 гг.), «Прогресс М» (2001–2009 гг.), «Прогресс М-М» (2008–2016 гг.) и «Прогресс МС» (с декабря 2015 г.). После 2020 г. планируется запуск ТГК повышенной грузоподъемности (ТГК ПГ). При этом ожидается, что по сравнению с ТГК «Прогресс МС» стоимость доставки 1 кг груза на орбиту Земли снизится на 15 %.

В качестве ТПК для доставки (возвращения на Землю) грузов до настоящего времени применялись корабли типа «Союз», «Аполлон», «Спейс Шаттл».

Доставка на РС МКС и возвращение на Землю экипажей и грузов осуществляются ТПК типа «Союз»: «Союз ТМ» (2000–2002 гг.), «Союз ТМА» (2002–2011 гг.), «Союз ТМА-М» (с 2010 г.), «Союз МС» (с 2016 г.).

В программах НАСА для доставки различных грузов на орбиту ИСЗ и возвращения их на Землю широко использовались многоразовые транспортные космические корабли (МТКК) «Спейс Шаттл». Масса полезного груза МТКК составляет 29,5 т, возвращаемого – 14,4 т. Всего за историю полетов шаттлов (135 полетов с 1981 г. по 2011 г.) в космос было доставлено около 1,6 тыс. тонн полезных грузов.

В ряде полетов МТКК использовались специально разработанные грузовые модули «Спейсхэб». Технологически была обеспечена возможность размещения в МТКК одного или двух таких модулей. В двойном модуле «Спейсхэб» объемом 62,3 м<sup>3</sup> хранилось около 4,5 тонн полезных грузов. В период с 1966 года (STS-77) по 2006 (STS-116) на МТКК 8 раз устанавливались двойные грузовые модули и 3 раза одиночные.

При реализации программы «Хаббл» астронавтами МТКК «Спейс Шаттл» был выполнен значительный объем ТЛО и работ, связанных с техническим обслуживанием, ремонтом и модернизацией телескопа. Массово-габаритные характеристики доставляемого оборудования находились в широких пределах: от

небольших предохранителей, электрических разъемов и кабелей, имеющих массу от десятков грамм, до многометровых солнечных батарей и целевых приборов с массой в сотни килограмм.

Таблица 1

Беспилотные грузовые космические корабли

	ТКС <sup>2)</sup>	Прогресс <sup>1)</sup>	Дракон <sup>1)</sup>	ATV <sup>2)</sup>	HTV <sup>1)</sup>	Сигнус <sup>1)</sup>	Dream Chaser <sup>3)</sup>	Тянь-чжоу <sup>3)</sup>	ТГК ПГ <sup>3)</sup>
Страна, агентство	СССР	СССР/ РФ	НАСА	ЕКА	Япония	НАСА	США	КНР	РФ
Годы применения	1976–1985	с 1978	с 2010	2008–2015	с 2009	с 2013	проект	с 2017	после 2020
Масса дост. груза, т	5,8	2,35–2,6	3,31	7,5	6,0 (7) в т.ч. 5,2 в ГО и 1,5 в НГО	2–3,5	5,0		3,4
Масса возвращ. груза, кг	500	–	2500	–	–	–	1750		–
Длина, м	10,3	7,2–7,48	7,2	10,3–10,7	9,2	3,66–4,86			6,86
Диаметр, м	2,79	2,72	3,66	4,5	4,4	3,07			3,04
Полезн. объем гр. отсеков, м <sup>3</sup>	49,9	6,0	11,0	45,0	Отсеки ГО и НГО более 45 м <sup>3</sup> кажд.	18,9–27,0			11, с центр. проходом
РН	Протон	Союз (у, 2.1а)	Falcon-9	Arian 5	Н-ПВ	Антарес, Atlas 5	Atlas 5/ Arian 5	CZ-7 (первый пуск 25.06. 2016 г.)	Союз-2 (этап 1б)

Примечание к табл. 1:

1) действующие;

2) использовавшиеся ранее;

3) планируемые.

Обозначения: ГО – герметичный отсек, НГО – негерметичный отсек.

Так, например, исследовательская камера FCS имела массу 395 кг, длину около 2 м, а ширину более 0,5 м. Камера WFC3 была массой около 400 кг, а каждый из 4 блоков RWA – по 45 кг. Подобные характеристики имело и оборудование, возвращаемое на Землю. В процессе 5 миссий к «Хаббл» ТЛО и работы, связанные с техническим обслуживанием, ремонтом и модернизацией телескопа, выполнялись астронавтами в условиях открытого космоса. Всего было выполнено 22 выхода в открытый космос общей продолжительностью 158 ч 33 мин.

В программе МКС корабли типа МТКК использовались для доставки на ОИСЗ и экипажей, и грузов. Всего к МКС в период с 04.13.1988 г. по 08.07.2011 г.

было совершено 35 рейсов МТКК. Для доставки и возвращения грузов применялись герметичные цилиндрические модули материально-технического снабжения (МРЛМ). Было изготовлено 3 модуля, имеющих следующие характеристики: длина – 6,4 м, внешний диаметр – 4,57 м, масса без груза – 4760 кг, масса груза – 9300 кг, внутренний объем – 30 м<sup>3</sup>. Поочередно такие модули могли доставляться на МКС в грузовом отсеке МТКК. Модуль «Леонардо» использовался в целях снабжения МКС 7 раз и в восьмом полете (после модификации) остался в составе американского сегмента (АС) МКС в качестве постоянного отсека. Модуль «Рафаэль» был в полете 4 раза, модуль «Донателло» не использовался.

Для хранения крупногабаритных узлов, а также постоянного размещения крупногабаритных элементов АС МКС, например, солнечных батарей, используются специальные ферменные конструкции. Объединенная ферменная структура сегмента включает целый ряд таких конструкций: Z1, P6, S0, S1, P1, S3/S4, P3/P4, P5, S5/S6. Все они доставлялись МТКК и монтировались с участием экипажей. Представление об их массе и размерах дают следующие характеристики: S0, например, имеет массу 13 971 кг, длину 13,4 м, ширину – 4,6 м; масса S1 – 14 124 кг, длина – 13,7 м, ширина – 4,6 м и т.д.

На АС МКС доставляемые крупногабаритные грузы могут временно храниться снаружи станции на внешних складских платформах (ESP), на которых грузы крепятся с помощью специальных такелажных устройств. Всего имеется 3 платформы: ESP-1, ESP-2, ESP-3. Две платформы размещаются на внешних поверхностях модулей «Юнити» и «Квест», третья – на одной из ферм.

Первый опыт ТЛЮ в рамках пилотируемых полетов за пределами ОИСЗ был получен в программе «Аполлон». В числе доставленных на Луну грузов были научные приборы, средства добычи грунта, оборудование для ВКД, транспортные средства. Шестью экспедициями астронавтов на Землю было привезено более 110 кг лунного грунта.

При обеспечении будущих полетов на Луну для доставки грузов рассматривается использование межорбитальных буксиров (МОБ) грузоподъемностью 10, 20, 50, 60 и 100 тонн.

Увеличение массы доставляемых грузов должно обеспечить уменьшение количества пусков «грузовиков» в год. Однако в ряде случаев это может привести к снижению оперативности доставки грузов, что негативно скажется как на эффективности функционирования ПКК (НЛКК), так и на безопасности деятельности экипажа. При определении оптимальных сроков пусков грузовых кораблей необходимо опираться как на имеющийся опыт, так и на результаты моделирования ТЛЮ.

### **Роль и место экипажей в осуществлении операций с грузами**

Экипаж ПКК – одно из важнейших звеньев при осуществлении транспортно-логистических операций в космосе. Так, например, в рамках обеспечения полета РС МКС в основные задачи космонавтов при работе с грузами входят:

- участие в стыковке / расстыковке ТК с РС МКС;
- демонтаж / монтаж стыковочного механизма и крышки переходного люка;
- подготовка инструмента, снаряжения и рабочих мест к проведению разгрузочно-погрузочных работ (РПР);
- проведение РПР;
- перекачка в РС МКС топлива, воды и газов (кислород, воздух, азот);
- укладка в ТК отработанного оборудования, удаление отходов;



- инвентаризация грузов, в т.ч. с поддержанием соответствующих баз данных;
- работа с грузами, доставляемыми ТПК.

При доставке и возвращении грузов с помощью ТПК типа «Союз» или МТКК, отечественных перспективных ТПК НП, кораблей типа «Орион» задачи ТЛО космонавтов по своей структуре будут во многом схожи с задачами экипажей по обслуживанию беспилотных ТПК. Отличия будут определяться в основном объемами работ, трудозатратами космонавтов, используемым инструментарием.

Основываясь на опыте эксплуатации отечественных и зарубежных ПКК, осуществляющих операции с грузами в космосе, можно представить типовую структуру деятельности космонавтов при выполнении штатных ТЛО (рис. 1). Различного рода отклонения от нормы, НшС могут возникнуть на любых этапах выполнения этой деятельности.

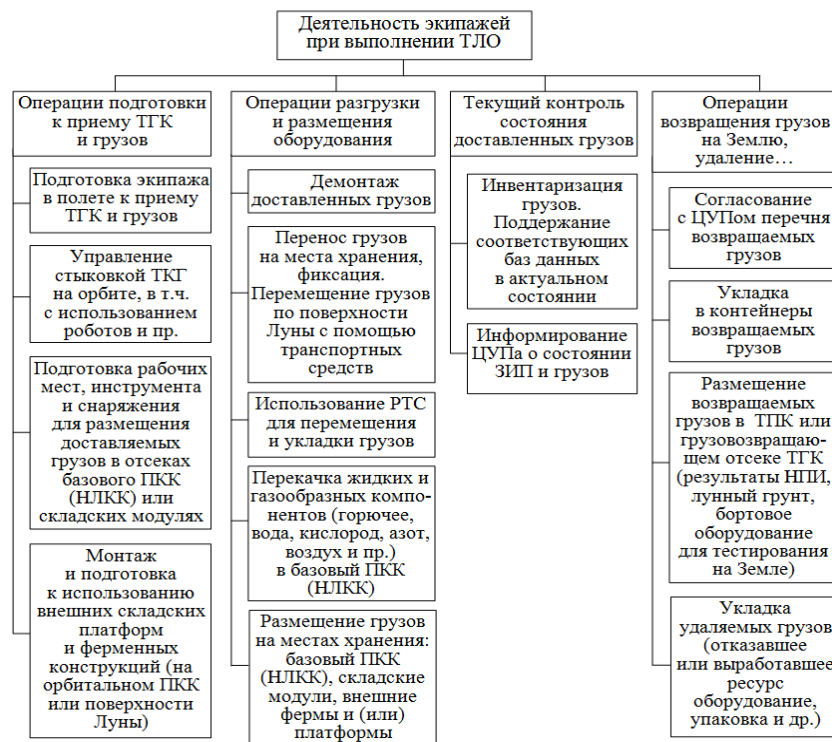


Рис. 1. Типовая структура деятельности космонавтов при выполнении ТЛО

### Характеристика грузов, с которыми работают экипажи РС МКС

На этапах строительства ПКК и его штатной эксплуатации структура грузопотока с Земли различна. На этапе формирования ПКК грузопоток определяется последовательностью и сроками сборки конструктивно-технологических компонентов комплекса. На стационарном участке полета ПКК, когда его сборка завершена, грузопоток с Земли определяется, в основном, динамикой расхода невозобновляемых ресурсов, эксплуатационными характеристиками бортовых систем и степенью замкнутости (т.е. регенерационными свойствами) систем жизнеобеспечения.

Анализ структуры грузопотока представляет интерес как для оценивания степени занятости экипажа ТЛО, так и прогнозирования задач материально-технического обеспечения перспективных ПКК, функционирующих на Луне и в дальнем космосе.

На рис. 2 укрупненно представлена структура грузов, доставленных ТГК типа «Прогресс» на РС МКС на стационарном участке полета комплекса (приведены усредненные данные по 15 ТГК) за период с 26.01.2012 г. по 31.03.2016 г. Обращает на себя внимание большой объем грузов, приходящихся на комплекс средств обеспечения жизнедеятельности (КСОЖ). Видно, что на долю данного комплекса приходится более половины доставляемых на РС МКС грузов (54,27 % по массе). Доставка компонентов КСОЖ, в отличие от большинства других бортовых систем (БС), осуществляется на каждом ТГК для каждой из подсистем данного комплекса (табл. 2). При этом максимальная средняя масса на один ТГК также приходится на элементы КСОЖ: на питьевую воду – 420 кг, средства обеспечения питанием (СОП) – 354,7 кг, средства санитарно-гигиенического обеспечения (ССГО) – 168,9 кг, средства медицинского обеспечения (СМО) – 149,3 кг и т.д. Значительная часть доставляемой массы приходится на топливо для двигательных установок.

Таблица 2

Распределение частоты доставки грузов по подсистемам

№ п/п	Тип груза, системы	Доля случаев доставки на ТГК (частота доставки), %	Средняя масса груза в одной доставке, кг
1	Топливо	100	579,1
2	Питьевая вода	100	420,0
3	Воздух, кислород для отсеков МКС	100	48,4
4	СОП	100	354,7
5	СОГС	100	18,8
6	ССГО	100	168,9
7	СВО	100	86,8
8	СМО	100	149,3
9	СИЗ	86,7	42,1
10	СОТР	100	21,4
11	СУБА	73,3	6,7
12	СУДН	53,3	5,9
13	Телевизионная система	13	7,2
14	СПЭ	100	29,8
15	НА	100	77,2
16	Сист. борт. измерений	33	3,5
17	Сист. телефонно-телеграфной связи	27	1,6
18	СТОИР	100	10,1
19	СЭП	73	73,0
20	БИТС	47	4,6
21	Средства освещения	20	9,41
22	БВС	13,3	5,9
23	СППЗ	26,7	6,17

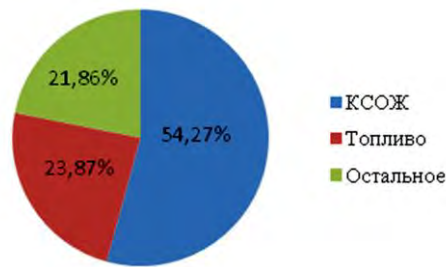


Рис. 2. Укрупненная структура доставляемых на РС МКС грузов

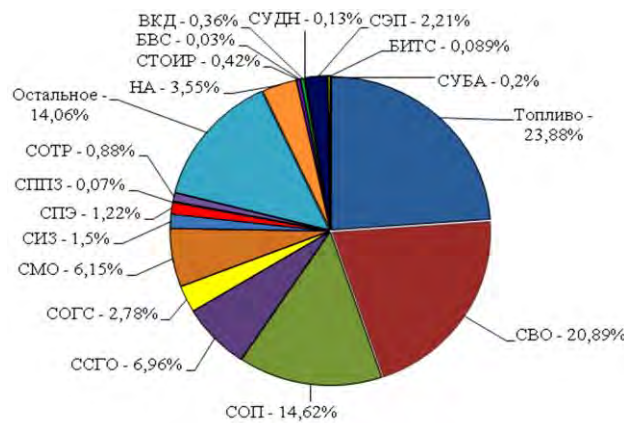


Рис. 3. Структура грузопотока, обеспечиваемого ТК «Прогресс» на стационарном участке полета МКС (обозначения: СОГС – средства обеспечения газового состава; СИЗ – средства индивидуальной защиты; СПЭ – средства поддержки экипажа; СППЗ – средства противопожарной защиты; СОТР – система обеспечения теплового режима; СТОИР – средства технического обслуживания и ремонта; БВС – бортовая вычислительная система; ВКД – средства обеспечения внекорабельной деятельности; СУДН – система управления движением и навигации; СЭП – система электропитания; БИТС – бортовая информационная телеметрическая система; СУБА – система управления бортовой аппаратурой; СВО – средства водообеспечения)

На рис. 3 представлена детальная (по системам) структура грузопотока на МКС. После топлива наибольшая масса доставки приходится на средства водообеспечения (включая поставки воды для питья, электролиза кислорода, восстановления сублимированных продуктов питания и смывной воды) – 20,89 %, на средства питания – 14,62 %, ССГО – 6,96 %, СМО – 6,15 % и т.д. На научную аппаратуру (НА) приходится 3,55 % массы доставляемого оборудования.

Оценки структуры доставляемых грузов КСОЖ позволяют сделать вывод о недостаточной замкнутости (по воде и кислороду), необходимости улучшения ресурсных характеристик некоторого оборудования, а также более сбалансированной доставки рационов питания.

Анализ распределения количества доставляемых грузов по их массе показывает, что для большинства грузов (более 80 %) она не превышает 5 кг. В пределах

10 кг находится 90–97 % единиц грузов. На грузы большой массы – от 80 до 155 кг – приходится менее 1 % единиц оборудования.

### Характеристики операторской деятельности космонавтов

Анализ основных работ экипажей РС МКС по работе с грузами (доставка, хранение, возвращение) показывает, что наибольшая доля трудозатрат космонавтов (26,11 %) от всех ТЛО приходится на разгрузку ТКГ (табл. 3). Далее, почти в равных долях (более 17 %) следуют трудозатраты на загрузку ТКГ, инвентаризацию грузов и типовые операции по сопровождению разгрузочно-погрузочных работ (РПР). Близки по трудозатратам (около 6 %) такие виды работ как разгрузка и загрузка ТПК. На участие в устранении нештатных ситуаций и различных отклонений от нормы приходится менее 3 % трудозатрат.

Таблица 3

Содержание работ космонавтов с грузами

Виды операций	Число операций, %	Трудозатраты, %
Разгрузка ТКГ «Прогресс»	21,11	26,11
Загрузка ТКГ «Прогресс»	8,44	17,86
Разгрузка ТПК «Союз»	4,75	6,06
Загрузка ТПК «Союз»	2,64	5,87
Инвентаризация, редактирование БД IMS	34,04	17,30
Типовые операции по сопровождению ТЛО (подготовительно-заключительные, контрольно-тестовые, работы с бортовой документацией и др.)	22,43	17,61
Подготовка экипажей в полете	2,11	6,21
Участие в устранении нештатных ситуаций (НшС) и др. отклонений от нормы при ТЛО	4,48	2,98

Несколько иначе соотносятся данные работы по числу операций, выполняемых космонавтами. Наибольшее число операций (около 34 %) приходится на задачи инвентаризации доставляемого и удаляемого оборудования с редактированием соответствующей базы данных. Постоянное поддержание базы данных в актуальном состоянии крайне важно для наземного планирования ресурсов и грузопотока [2, 11, 13]. Однако для космонавтов эта работа стала одной из трудоемких рутинных операций.

Далее по относительному числу операций идут типовые операции по сопровождению РПР (22,43 %) и разгрузка ТКГ (21,11 %). На бортовые тренировки экипажей и участие в устранении отказов и НшС приходится около 2–4 % операций. Снизить нагрузку на экипаж на выполнение работ с бортовыми грузами в перспективе возможно за счет создания специализированных грузовых модулей [3], автоматизации РПР и использования робототехнических комплексов [4, 6].

### Трудозатраты на РПР (интегральные и удельные характеристики)

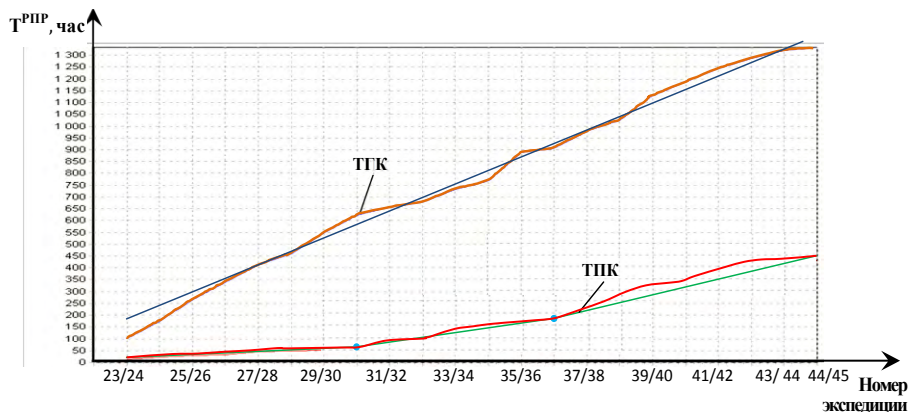
Рассмотрим некоторые характеристики деятельности экипажей по выполнению ТЛО. В целях обеспечения корректного оценивания взят стационарный участок функционирования РС МКС, когда наращивание комплекса было в основном завершено и доставка грузов осуществлялась лишь в интересах текущего обеспечения функционирования станции.

ТЛО на РС МКС оценивались в период с 02.04.2010 г. (стыковка экспедиции МКС-23/24) по 11.12.2015 г. (расстыковка экспедиции МКС-44/45). Этот период составлял 1896 суток (5 лет 2 месяца). Общее количество экспедиций на РС МКС за этот период – 22, количество запущенных ТКГ типа «Прогресс» – 22 и количество ТПК типа «Союз» – 23. РПР на соответствующих ТКГ и ТПК выполнялись каждым из экипажей РС МКС.

На рис. 4 показаны трудозатраты (нарастающим итогом) экипажей РС МКС на РПР кораблей ТКГ и ТПК. Представленные зависимости на исследуемом участке полета близки к линейным.

Некоторые результаты оценивания деятельности экипажей по РПР приведены ниже.

1) Общие суммарные трудозатраты на РПР ТКГ и ТПК составляли 1649,3 ч. Суммарные трудозатраты на РПР ТКГ за весь исследуемый период равнялись 1231,14 ч, а на ТПК – 418,19 ч (25,4 % от общих трудозатрат и 34 % от трудозатрат на РПР ТКГ).



Т, сут

Рис. 4. Трудозатраты экипажей РС МКС на РПР (нарастающим итогом)

2) В среднем объем трудозатрат экипажей на РПР одного ТКГ был 55,96 ч, а на РПР одного ТПК – 18,2 ч.

3) На одни сутки полета РС МКС суммарные трудозатраты экипажа на РПР составляли около 0,88 ч (52,8 мин).

4) Средние трудозатраты на РПР 1 кг сухих доставляемых ТКГ грузов были около 2,5 мин.

5) Количество сухих грузов, вручную переносимых космонавтами из ТКГ в МКС, было около 55 % от общей массы доставляемых грузов.

6) Средняя суммарная масса грузов, доставляемых одним ТКГ, составляла 2426 кг, в их числе сухих грузов, переносимых экипажем – 1330 кг. Плотность компоновки сухих грузов в ТКГ (при полезном объеме грузового отсека 7 м<sup>3</sup>) равнялась 190 кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 5 дана сравнительная характеристика трудозатрат экипажей на РПР и на выполнение целевых задач полета – реализацию программы научно-прикладных исследований и экспериментов. На этапах дооснащения РС МКС, когда шла интенсивная доставка грузов для формирования структуры станции, ее научного комплекса, штатного состава БС, трудозатраты экипажей на РПР дости-

гали 60 % от затрат на научно-прикладные исследования и эксперименты (НПИ). На стационарных участках полета, когда упомянутые задачи были решены, доля трудозатрат на РПР ТК по отношению к НПИ была существенно ниже и составляла около 11–12 %, что позволяет характеризовать деятельность экипажей на этих этапах полета как существенно более продуктивную. Более детальное сопоставление трудозатрат на РПР и НПИ возможно относительно общих затрат времени экипажа на полет.

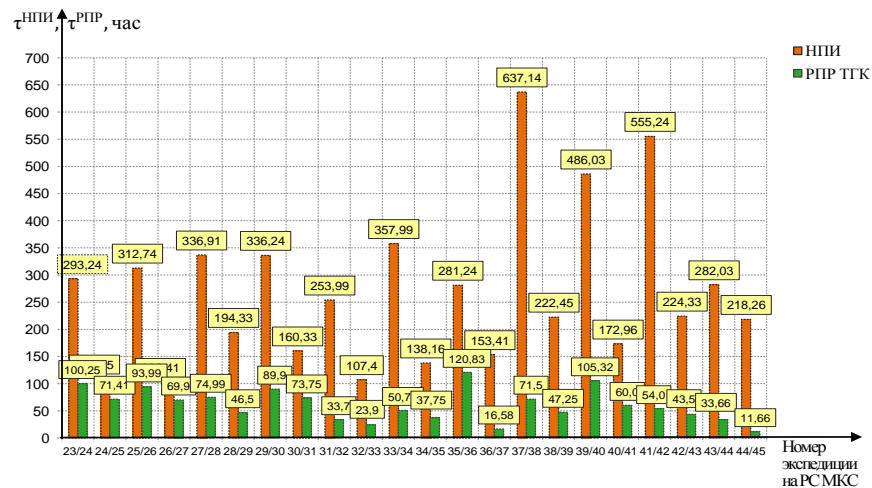


Рис. 5. Сравнительная диаграмма трудозатрат экипажей РС МКС на проведение НПИ и РПР ТК

### *Специфика работы экипажей с грузами при ВКД*

Транспортировка грузов при ВКД осуществлялась вручную и с помощью специальных механизмов. Поскольку Роскосмосом и НАСА согласованы максимальные ограничения к грузам, транспортируемым одним человеком [8], объекты массой 9–23 кг, объемом 0,057–0,142 м<sup>3</sup> и размером до 1,5 м перемещались руками с использованием фалов или жесткой привязи. В иных случаях (объекты массой 23–340 кг, объемами 0,142–2,832 м<sup>3</sup> размером до 2,4 м) применялись манипуляторы, тележки и грузовые стрелы.

Для транспортировки грузов больших габаритов и массы использовались манипуляционный робот SSRMS, мобильный транспортер MT и робот SPDM. Роботы SSRMS и SPDM перемещают грузы массой до 116 т и 600 кг соответственно. Мобильный транспортер MT применялся для перемещения SSRMS, SPDM, доставленных грузов и операторов. Японский робототехнический комплекс JEMRMS переносит своей основной рукой грузы до 700 кг, малой рукой – от 80 до 300 кг.

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

Российскими космонавтами вынесено на внешнюю поверхность комплекса более 30 типов научной аппаратуры (НА). При этом на аппаратуру массой более 100 кг приходилось всего 7 % оборудования. Большая часть научных приборов

(73 %) имела массу до 40 кг. Средние габариты НА составляли 779 x 470 x 362 мм, а среднее расстояние ее перемещения – около 9 м [9].

### ***Динамика еженедельных трудозатрат экипажа РС МКС на работы с грузами и грузовыми кораблями***

Грузовые корабли обоих типов (ТГК и ТПК) постоянно находятся в составе МКС. Практически еженедельно космонавты РС МКС выполняют на них те или иные работы с грузами, что наглядно можно видеть на примере экспедиции МКС-47/48 (рис. 6).

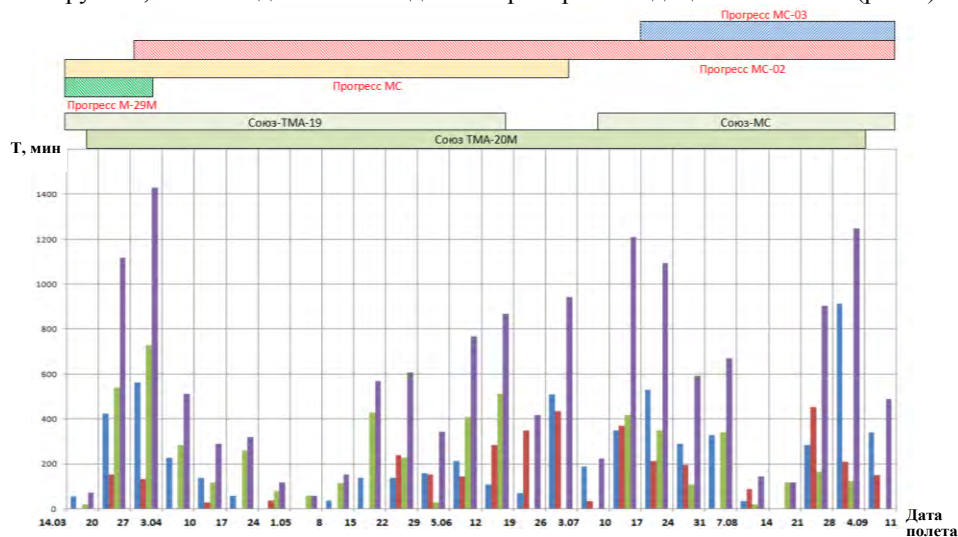


Рис. 6. Динамика еженедельных трудозатрат экипажа РС МКС на работы с грузами и грузовыми кораблями (БИ-1 – синий; БИ-2 – коричневый; БИ-4 – зеленый; экипаж в целом – фиолетовый)

Наибольшее время на данные операции тратится после стыковки грузовых кораблей с МКС на этапах их разгрузки (например, с 31.03.2016 г. по 10.04.2016 г., с 17.07.2016 г. по 07.08.2016 г.) и перед расстыковкой, когда осуществляется их загрузка удаляемым и возвращаемым оборудованием (например, с 27.03.2016 г. по 08.04.2016 г., с 12.06.2016 г. по 03.07.2016 г.). Суммарно на РПР обоих типов кораблей за экспедицию тратится около 56 % от всего времени экипажа на работы с грузами и грузовыми кораблями, а с учетом вспомогательных операций – около 74 % (см. табл. 3).

На диаграмме рис. 6 представлены данные о вкладе каждого из космонавтов в общие еженедельные трудозатраты на ТЛО. Для рассматриваемого периода работ экипажа РС МКС на БИ-1 приходилось 37,86 % работ с грузами и грузовыми кораблями, на БИ-2 – 27,87 %, а на БИ-4 – 34,27 %.

### **Статистические характеристики ТЛО**

Статистические характеристики представляют интерес как при решении задач анализа эффективности ТЛО [5], так и при оценивании структуры и объемов работ с грузами экипажей перспективных ПКК [10].

В общем случае ТЛО в космосе зависят от множества случайных факторов. К их числу можно отнести: динамику расходования ресурсов на борту базового ПКК, моменты пуска ТГК и ТПК, моменты их стыковок с ПКК, моменты начала и окончания операций РПР, времена пребывания ТГК в составе ПКК, номенклатуру и количество грузов, моменты возникновения НС, трудозатраты космонавтов на выполнение различных операций и др. По этой причине в основу анализа характеристик ТЛО должна быть положена стохастичность происходящих событий, а в качестве их характеристик следует рассматривать функции распределения соответствующих случайных величин [7].

**Полный комплекс операций экипажа по доставке, хранению и возвращению грузов**

Как следует из табл. 3, в интересах обеспечения грузопотока на РС МКС космонавты выполняют целый ряд разнообразных операций по работе с грузами и грузовыми кораблями. В соответствии с данной таблицей на рис. 7 показаны статистические характеристики трудозатрат космонавтов  $\tau_{ТЛО}$  на выполнение всего объема работ в рамках ТЛО на примере экспедиции МКС-47/48.

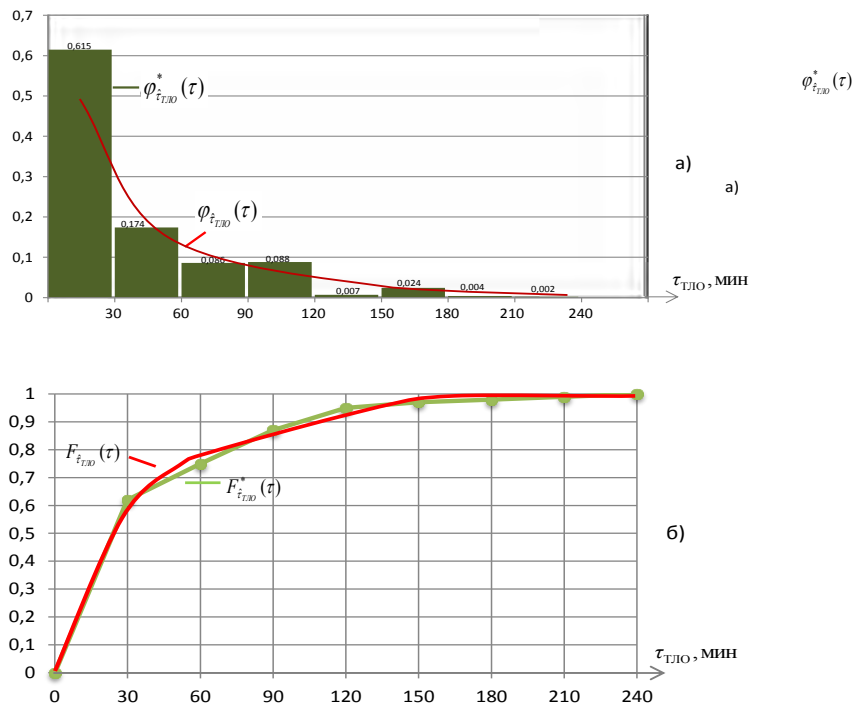


Рис. 7. Гистограмма (а) и функция распределения (б) трудозатрат космонавтов на все работы с грузами и грузовыми кораблями

Статистическая плотность распределения времени  $\tau_{ТЛО}$  представлена нормированным полигоном распределения  $\varphi_{\tau_{ТЛО}}^*$ , а кривая  $\varphi_{\tau_{ТЛО}}(\tau)$  является огибающей ее гистограммы (рис. 7, а). Более 61 % операций рассматриваемого типа уклады-



ваются во времена до 30 мин, а 79 % операций требуют не более 60 мин. Доля операций, превышающих 120 мин, составляла 3,7 %. Максимальное значение  $\tau_{\text{тло}}$  на одну операцию было 230 мин.

Статистическая (выборочная) функция распределения  $F_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}^*(\tau)$  построена на основе интервального ряда величин  $\tau_{\text{тло}}$ , полученного по результатам полета МКС (рис. 7, б). Ее теоретическое описание  $F_{\tau_{\text{тло}}}(\tau)$  представляет собой закон распределения  $\tau_{\text{тло}}$ , т.е.  $F_{\tau_{\text{тло}}}(\tau) \approx F_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}^*(\tau)$ .

Функция  $F_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}(\tau)$  и плотность  $\varphi_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}(\tau)$  распределения времени  $\tau_{\text{тло}}$  связаны следующим соотношением:

$$\varphi_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}(\tau) = F'_{\hat{\tau}_{\text{тло}}}(\tau). \quad (1)$$

### Разгрузочно-погрузочные операции на ТГК

На долю ТГК приходится самая существенная часть операций РПР на РС МКС. По числу операций она составляет около 30 %, а по трудозатратам – около 44 %. На рис. 8 на примере МКС-47/48 представлен вид функции, показывающий распределение трудозатрат космонавтов на РПР ТГК. Функция  $F_{\hat{\tau}_{\text{ТГК}}}^{\text{РПР}}(\tau)$  является приближенной статистической функцией распределения случайной величины  $\hat{\tau}_{\text{ТГК}}^{\text{РПР}}$ , а ее теоретическое описание  $F_{\tau_{\text{ТГК}}}^{\text{РПР}}(\tau)$  – законом распределения. Подавляющее число операций РПР (77 %) укладывается во времена до 100 мин.

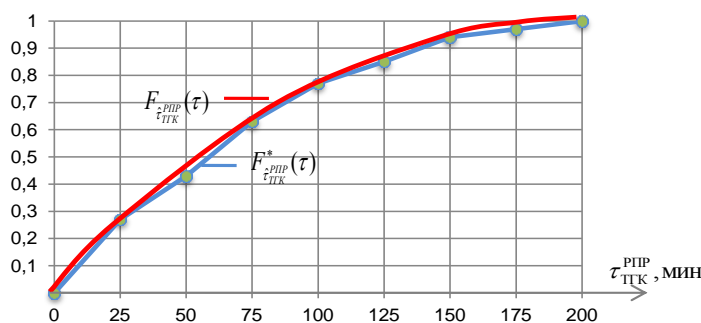


Рис. 8. Функция распределения трудозатрат космонавтов на РПР ТГК

### Разгрузочно-погрузочные операции на ТГК и ТПК

На практике, кроме ТГК, космонавты выполняют операции РПР и на ТПК. Поэтому ниже показана на примере МКС-47/48 функция распределения, характеризующая трудозатраты экипажа  $\tau_{\text{ТГК}+\text{ТПК}}$  на РПР для обоих типов доставщиков грузов – беспилотного и пилотируемого (рис. 9). Функция  $F_{\hat{\tau}_{\text{ТГК}+\text{ТПК}}}^{\text{РПР}}(\tau)$  является приближенной статистической функцией распределения случайной величины  $\tau_{\text{ТГК}+\text{ТПК}}$ , а ее теоретическое описание  $F_{\tau_{\text{ТГК}+\text{ТПК}}}^{\text{РПР}}(\tau)$  – законом распределения.

Подавляющее большинство (93 %) разгрузочно-погрузочных операций (для обоих типов кораблей) укладывается во времена до 120 мин.

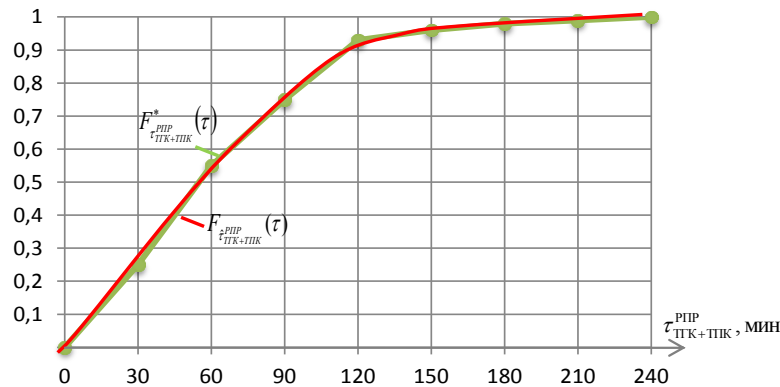


Рис. 9. Функция распределения трудозатрат космонавтов на РПР ТК и ТПК

### *Длительность нахождения ТК «Прогресс» и ТПК «Союз» в составе МКС*

Те или иные операции ТЛЮ выполняются космонавтами на ТК или ТПК в течение всего периода нахождения этих кораблей в составе МКС.

Статистические характеристики времени  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$  пребывания грузового корабля в составе ТК рассмотрены на примере беспилотного ТК «Прогресс». Плотность  $\varphi_{\tau_{(МКС)}^{прогр}}(\tau)$  и функция  $F_{\tau_{(МКС)}^{прогр}}(\tau)$  распределения времени  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$  представлены на рис. 10. Зависимость между плотностью и функцией распределения этой величины будет иметь вид  $\varphi_{\tau_{(МКС)}^{прогр}}(\tau) = F'_{\tau_{(МКС)}^{прогр}}(\tau)$ . Из анализа гистограммы, характеризующей статистическую плотность распределения  $\varphi_{\tau_{(МКС)}^{прогр}}^*$  времени  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$ , следует, что в 28 % случаев длительность пребывания ТК в составе МКС была от 80 до 120 суток, а 41 % случаев приходится на диапазон 80–180 суток. Максимальная продолжительность нахождения ТК в составе МКС составляла 207 суток («Прогресс М-57М», 2006 г.), минимальная – 49 суток при типовой доставке грузов («Прогресс М-44», 2001 г.) и – 12 суток при доставке отсека-модуля СО1 (на «Прогрессе М-СО1», 2001 г.).

На рис. 10 также приведены аналогичные зависимости для ТПК «Союз», длительность нахождения которых в составе МКС определяется параметром  $\tau_{(МКС)}^{союз}$ . Здесь  $\varphi_{\tau_{(МКС)}^{союз}}(\tau)$  – плотность, а  $F_{\tau_{(МКС)}^{союз}}(\tau)$  – функция распределения времени  $\tau_{(МКС)}^{союз}$ . В 61 % случаев длительность пребывания ТПК в составе МКС была от 165 до 195 суток. В диапазон 150–210 суток попадает 89 % случаев. Максимальная продолжительность нахождения ТПК в составе МКС составляла 215 суток («Союз ТМА-9», 2006 г.), минимальная – 125 суток («Союз ТМА-04», 2012 г.). Иными словами, времена  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$  находятся внутри отрезка [12, 207), а времена  $\tau_{(МКС)}^{союз}$  – внутри отрезка [125, 215).

Таким образом, времена  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$  и  $\tau_{(МКС)}^{союз}$  ограничены слева. В то же время справа они ограничены ТТХ на ТК и ТПК. Тогда законы распределения этих величин будут усеченными с двух сторон, поскольку из их возможных значений

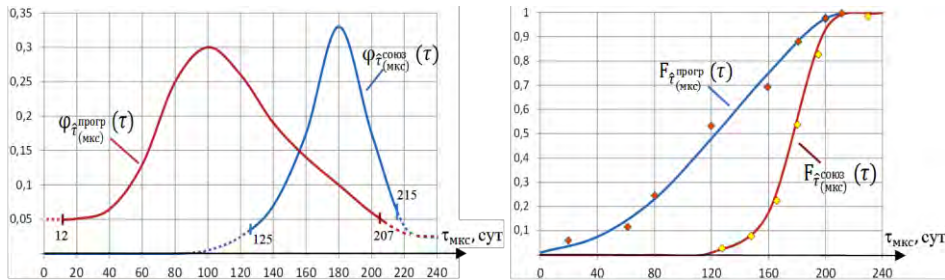


Рис. 10. Плотности и функции распределения времени нахождения ТГК и ТПК в составе МКС

должны быть исключены значения, лежащие вне некоторого отрезка  $[\tau^1, \tau^2]$ . В общем случае, переходя к новой случайной величине  $z$ , получим плотность распределения в следующем виде [7]:

$$\varphi_z(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau \leq \tau^1 \\ c\varphi_{\tau_{(МКС)}}(\tau) & \text{при } \tau^1 < \tau \leq \tau^2, \\ 0 & \text{при } \tau \geq \tau^2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где } c = \frac{1}{F_{\tau_{(МКС)}}(\tau^2) - F_{\tau_{(МКС)}}(\tau^1)}. \quad (3)$$

При моделировании законов распределения  $\tau_{(МКС)}^{прогр}$  и  $\tau_{(МКС)}^{союз}$  двустороннее их усечение учитывается алгоритмически исключением всех значений случайной величины, попадающих вне отрезка  $[\tau^1, \tau^2]$ .

**Длительность времени между стартами ТГК «Прогресс» и ТПК «Союз»**

В задачах анализа грузопотоков и деятельности космонавтов по обслуживанию грузов необходимо формировать циклограмму пребывания на ПКК всех типов доставщиков грузов. Для РС МКС это будут оба типа кораблей ТГК и ТПК. Такие циклограммы не представляет труда моделировать, если кроме функций распределения длительности нахождения доставщиков грузов в составе МКС (рис. 10–11) известны и моменты их пусков.

На рис. 11 представлены функции распределения длительностей времени между стартами упомянутых кораблей, построенные по результатам обработки соответствующих статистических данных для МКС. Функция  $F_{\tau_{ТПК}}(\tau)$  характеризует время между пусками ближайших кораблей ТПК типа «Союз» (рис. 11 – 1). Аналогично функция  $F_{\tau_{ТГК}}(\tau)$  характеризует время между пусками ближайших кораблей ТГК типа «Прогресс» (рис. 11 – 2). Минимальное время ожидания экипажем доставки срочного груза, например, в целях ликвидации НшС, можно охарактеризовать с помощью функции  $F_{\tau_{ТПК+ТГК}}(\tau)$  (рис. 11 – 3), где  $\tau^{ТПК+ТГК}$  – время между пусками любого из ближайших доставщиков грузов (ТПК+ТГК).

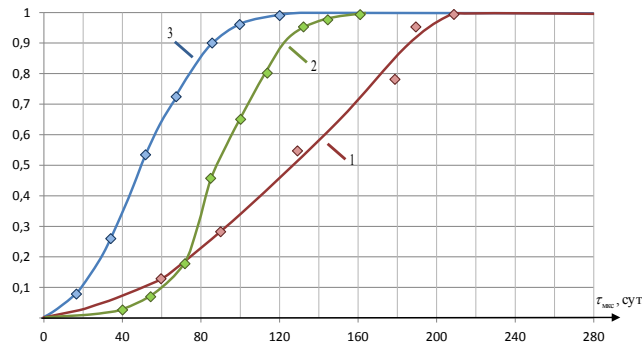


Рис. 11. Функции распределения: 1 – времени  $\tau^{ТПК}$  – между пусками ТПК; 2 – времени  $\tau^{ТГК}$  – между пусками ТГК; 3 – времени  $\tau^{ТПК+ТГК}$  – между пусками любого из ближайших доставщиков грузов (ТПК+ТГК)

### Отклонения от нормы (несоответствия) при работах экипажей с грузами

В процессе выполнения ТЛО космонавтам приходится сталкиваться с различными отклонениями от норм штатной эксплуатации – нестандартными и нестандартными ситуациями, то есть несоответствиями (НС).

В подавляющем большинстве случаев (66,67 %) НС возникают вследствие несовершенства системы хранения на ПКК доставленных грузов (рис. 12). Отсутствие специализированных складских модулей, оборудованных соответствующим образом отсеков или зон, приводит к загромождению проходов, ухудшению доступа к обслуживаемому оборудованию, научной аппаратуре, нарушению каналов вентиляции воздуха. В свою очередь это негативно сказывается на безопасности полета и качестве работы космонавтов. При этом затрудняются учет и контроль доставляемого и удаляемого оборудования, что ведет к существенным затратам времени на поиск нужных элементов, узлов и приборов [12], несмотря на то что космонавты активно используют систему управления инвентаризаций (СУИ).

На НС, связанные с организацией и планированием ТЛО (подготовка грузов на Земле, управление ТЛО ЦУПом и др.), приходится 8,9 %. При выполнении космонавтами работ непосредственно в ТГК и ТПК в связи с проблемами компоновки грузов возникает 6,63 % НС. На недостатки информации экипажей о ТЛО, маркировки грузов, несовершенства БД приходится в сумме 5,5 % НС. На несоответствия, связанные с подготовкой космонавтов к ТЛО, – 1,04 %.

На рис. 13 показана динамика потока НС при проведении экипажем процедур ТЛО на МКС. Видно, что, начиная с 10–11 экспедиций, происходит заметный рост НС. К этому времени произошло достаточное накопление доставленных на МКС грузов, и стало особенно сказываться влияние основной причины НС при ТЛО – несовершенства системы их хранения.

Как правило, устранение НС в ходе полета осуществляется экипажем с помощью бортовых средств. В ряде случаев для выхода из НС их оказывается недостаточно и требуется дополнительная поставка с Земли оборудования, расходных материалов или программного обеспечения. Долевой вклад таких допоставок

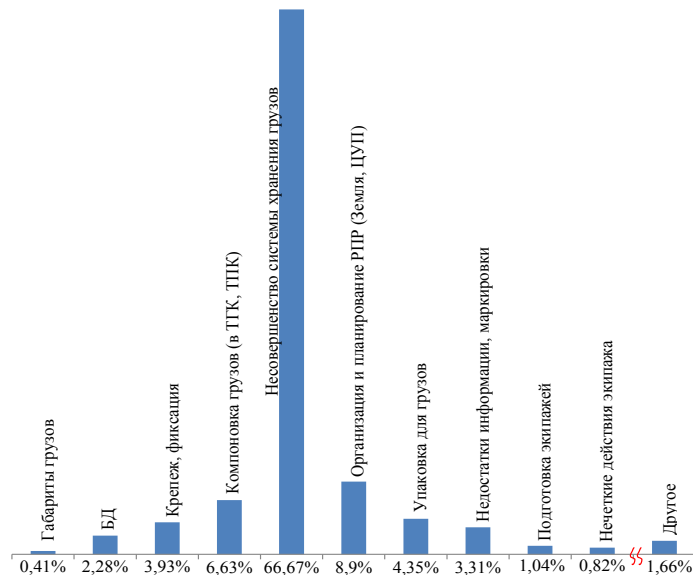


Рис. 12. Причины несоответствий при выполнении ТЛО экипажами МКС

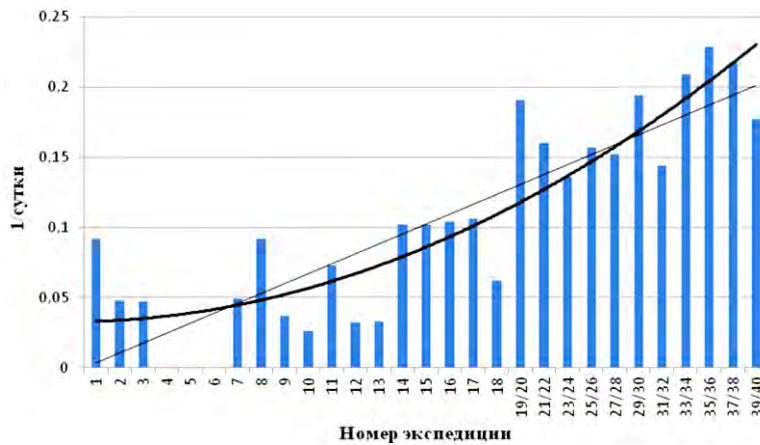


Рис. 13. Статистические значения интенсивности потока НС при ТЛО

как способа выхода из НС и меры по обеспечению эффективной деятельности и безопасности экипажей составлял для различных экспедиций от 0,3 до 7,9 %. С увеличением длительности функционирования МКС наблюдалась тенденция к снижению этого вклада (рис. 14), что объясняется наличием на станции определенного накопленного запаса необходимого оборудования, материалов и пр.

В то же время, для анализа ряда НС экипажу приходится возвращать некоторое оборудование на Землю. Его доля в числе мер по обеспечению эффективной и безопасной деятельности экипажей невелика и почти не меняется с течением полета. На МКС она составляет в среднем около 0,3 % и не превышает 0,6 %.



Рис. 14. Динамика долевого вклада необходимости доставки на МКС оборудования, программного обеспечения, расходных материалов и бортовой документации

В ряде случаев для устранения НС космонавтам приходится удалять некоторое оборудование из МКС. В течение 40 экспедиций на долю таких случаев из общего числа способов выхода из НС приходилось до 1,9 % (в среднем – около 1 %).

### Особенности выполнения транспортно-логистических операций экипажами лунных комплексов

Опыт ТЛЮ, полученный на орбите Земли, будет востребован и при освоении Луны с участием человека. Для обеспечения устойчивого и безопасного функционирования НЛКК с длительным пребыванием на нем экипажа так же, как на ОИСЗ, потребуются доставка различных грузов. Существенная доля работ по обслуживанию этих грузов, как и на орбитальных ПКК, будет возложена на космонавтов. Однако вследствие большой удаленности Луны от Земли, специфики задач и условий пребывания на ней человека [10], конструктивно-технологических особенностей НЛКК, ТЛЮ на Луне по отношению к подобным работам на ОИСЗ будут иметь существенные отличия.

В общем случае работа космонавтов с грузами и грузовыми кораблями на Луне будет определяться:

- факторами и условиями: положения Луны в космическом пространстве, рельефа ее поверхности, гравитации, радиации, иными, чем на ОИСЗ, условиями освещенности и др.;
- технологиями транспортировки грузов (по поверхности Луны с использованием специализированных средств и робототехнических комплексов);
- широким использованием скафандров для ВКД;
- применением напланетных конструкций (ферм) для хранения грузов, размещаемых на поверхности Луны;
- особенностями экспериментально-промышленного производства;
- способами возвращения на Землю результатов научной и экспериментально-промышленной деятельности космонавтов.

В систематизированном виде рассматриваемые особенности представлены на рис. 15. Их учет будет необходим как при организации работ по ТЛЮ на Луне, так и при подготовке космонавтов к их осуществлению.

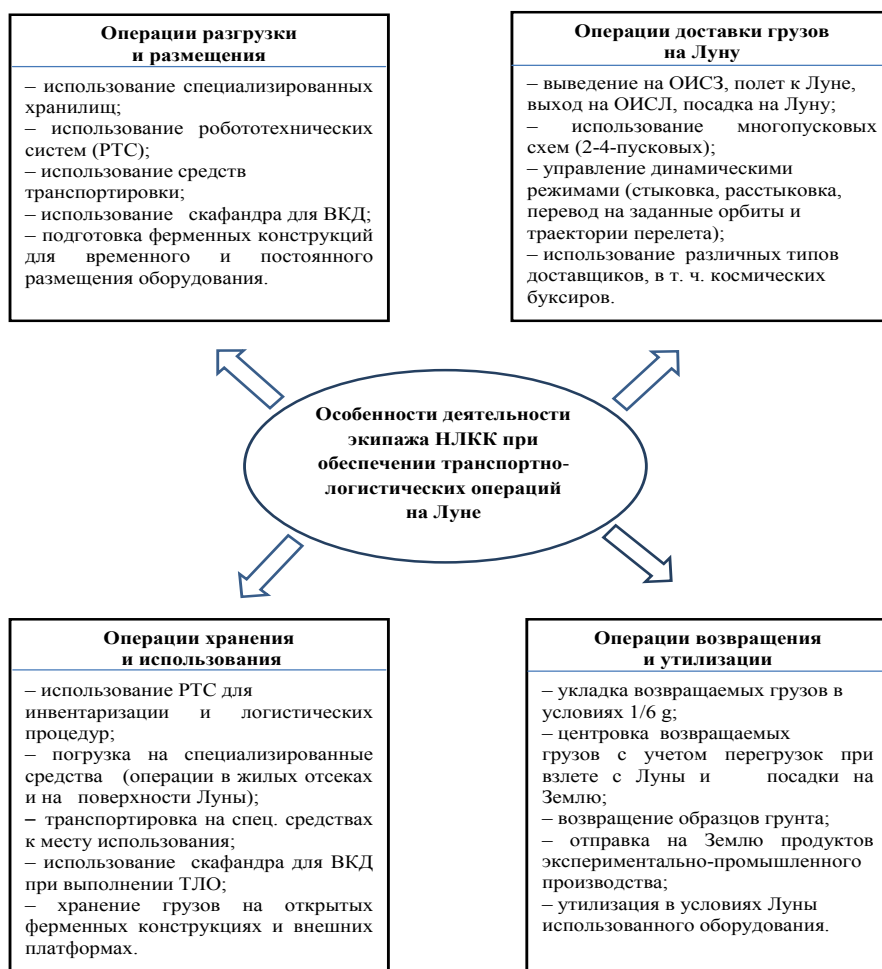


Рис. 15. Особенности выполнения транспортно-логистических операций экипажами лунных комплексов

## Заключение

1. Экипаж ПКК является одним из важнейших звеньев в системе обеспечения грузопотока по схеме «Земля–орбитальный ПКК–Земля». Участие космонавтов в операциях доставки, хранения, инвентаризации и возвращения на Землю различных грузов является неотъемлемой частью их полетной деятельности. Для этой части деятельности космонавтов приведена типовая структура.

2. Анализ грузопотока на РС МКС показывает, что наибольший объем грузов (более 54 % по массе), с которыми работают космонавты при обеспечении транспортных операций, приходится на КСОЖ. Данный факт объясняется недостаточной замкнутостью имеющегося комплекса КСОЖ по воде и кислороду, а также отсутствием на данном этапе возможностей включить в состав этого комплекса отдельные элементы (звенья) биотехнических систем жизнеобеспечения.

3. Исследованы интегральные и удельные характеристики операторской деятельности космонавтов при выполнении работ по доставке, хранению, инвентаризации и возвращению грузов. Оценена динамика трудозатрат на работы с грузами и грузовыми кораблями, причем методика оценивания позволяет определить трудозатраты как экипажа в целом, так и вклад каждого из космонавтов в данный вид деятельности. Выявлены причины различных отклонений от нормы и несоответствий при выполнении РПР.

РПР и другие виды деятельности космонавтов с грузами и грузовыми кораблями относятся к разряду рутинных (не целевых) задач пилотируемого полета, поэтому снижение трудозатрат экипажа на их выполнение является актуальным. Наиболее эффективным способом сокращения трудозатрат космонавтов на РПР может стать использование робототехнических комплексов.

4. В интересах разработки исходных данных для математического моделирования работ космонавтов с грузами и грузовыми кораблями на перспективных ПКК исследованы статистические характеристики подобных операций для РС МКС. Приводятся функции распределения трудозатрат космонавтов на операции обслуживания грузов, доставляемых ТКК и ТКК, и времен обслуживания этих кораблей при нахождении в составе РС МКС.

5. На основе опыта работы космонавтов РС МКС по транспортировке и хранению грузов оценены особенности данной деятельности экипажей перспективных лунных комплексов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гудилин В.Е., Слабкий Л.И. Космические грузовые корабли «Прогресс» и их модификации // Ракетно-космические системы (История. Развитие. Перспективы). – М., 1996. – 326 с.
- [2] Практические результаты внедрения интерактивной мультиагентной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов российского сегмента МКС / Бидеев А.Г., Горбова Н.В., Кузьмин В.В., Капорцева Г.Н., Лахин О.И., Новиков А.Л., Полников А.С., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Сычева М.В., Успенская Н.В., Хамиц И.И. // Космическая техника и технологии. – № 2(13). – 2016. – С. 5–13.
- [3] Трансформируемые крупногабаритные конструкции для перспективных пилотируемых комплексов / Хамиц И.И., Филиппов И.М., Бурьлов Л.С., Медведев Н.Г., Чернецова А.А., Зарубин В.С., Фельдштейн И.М., Буслов Е.П., Ли А.А., Горбунов Ю.В. // Космическая техника и технологии. – № 2(13). – 2016. – С. 23–33.
- [4] Крючков Б.И., Усов В.М. Новые направления робототехники в пилотируемой космонавтике // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(6). – 2013. – С. 93–100.
- [5] Носков А.А. Методы оценки эффективности транспортно-логистических операций в цепях поставок. Автореферат диссертации к.э.н. СПб, 2012. – 18 с.
- [6] О научных задачах выполнения транспортных операций группой мобильных роботов / Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 3(12). – 2016. – С. 57–62.
- [7] Статистические методы обработки результатов наблюдений / Юсупов Р.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н. и др. – МО СССР, 1984. – 563 с.
- [8] Спецификация РС. Программа МКС. Версия G. Роскосмос – НАСА, 1999. – 61 с.
- [9] Статистический анализ массогабаритных характеристик научной аппаратуры, устанавливаемой при ВКД / Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(17). – 2015. – С. 48–55.



- [10] Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий / Крючков Б.И., Усов В.М., Ярополов В.И., Сосюрка Ю.Б., Троицкий С.С., Долгов П.П. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(19). – 2016. – С. 35–57.
- [11] Исследование моделей организации грузовых перевозок с применением мультиагентной системы для адаптивного планирования мобильных ресурсов в реальном масштабе времени / Амелина Н.О., Лада А.Н., Майоров И.В., Скобелев П.О., Царев А.В. // Проблемы управления. – № 6. – 2011. – С. 31–37.
- [12] Информационная поддержка космонавтов на пилотируемом комплексе на основе RFID-технологий для идентификации имущества, поставляемых грузов и материалов / Крючков Б.И., Дашевский В.П., Карпов А.А., Поляков А.В., Усов В.М. // Международная конференция «Пилотируемое освоение космоса»: abstract book. Moscow: 2016. – 296 p. – С. 185–186.
- [13] Лахин О.И. Анализ событий адаптивного планирования грузопотока российского сегмента МКС // Информационно-управляющие системы. – № 6. – 2015. – С. 19–27.

УДК 629.78.007

## **ФОРМИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЛЕТНЫХ КАЧЕСТВ КОСМОНАВТОВ В ПРОЦЕССЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ**

В.Г. Сорокин, М.Н. Бурдаев, М.Р. Халиков

Канд. воен. наук, доцент В.Г. Сорокин; докт. техн. наук, профессор М.Н. Бурдаев; М.Р. Халиков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

На основе исследований по обоснованию и разработке программы специальной летной подготовки, выполненных в Научно-исследовательском испытательном центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, определяются уровни формирования профессиональных летных качеств космонавтов для выявления их возможностей по выполнению космических полетов.

**Ключевые слова:** деятельность, компетентность, космонавт, навыки, надежность, подготовка, профессиональные летные качества, специальная летная подготовка, формирование, уровень.

### **Formation of the Levels of Professional Flying Skills of Cosmonauts in the Process of Special Flying Training. V.G. Sorokin, M.N. Burdaev, M.R. Khalikov**

The levels of the professional flying skills of cosmonauts are determined on basis of studies of the substantiation and development of the special flying training program. These studies were carried out by the Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center in order to reveal the capabilities of cosmonauts to perform spaceflight.

**Keywords:** activity, competence, cosmonaut, skills, reliability, professional flying skills, special flying training, formation, level.

## **Введение**

Специальная летная подготовка космонавтов (СЛПК) – один из видов подготовки с использованием авиационной техники (летательных аппаратов), обеспечивающий формирование и поддержание необходимых профессиональных летных качеств космонавтов (ПЛКК), не достигаемых на наземных тренажерах. ПЛКК являются потенциалом для формирования знаний, навыков, умений, создающих, в свою очередь, ресурс и условия для накопления *компетентности* [8].

К ПЛКК относятся [8]: распределение внимания, ручное управление движением летательного аппарата (ЛА) с перекрестными связями по каналам, выполнение совмещенной деятельности, радиоосмотрительность, адекватность пространственно-временного образа полета решаемым задачам, оперативное принятие управленческих решений, ориентирование на местности, работа в команде, психофизиологическая устойчивость.

Специфика СЛПК заключается в том, что ни одно из существующих в земных условиях тренажерных средств не может обеспечить моделирование условий, наиболее приближенных к космическому полету. Более того, на современном этапе пилотируемой космонавтики невозможно выполнение тренировочных космических полетов космонавтов под руководством инструкторов-космонавтов. Космонавт должен быть полностью подготовлен к полету на Земле. Поэтому необходимые для выполнения космического полета профессионально важные качества космонавтов (ПВКК) вырабатываются и развиваются фрагментарно разными ви-

дами подготовки, имеющими свои собственные способы и средства, в том числе и в процессе СЛПК с использованием ЛА – за счет формирования ПЛКК.

### **Формирование профессиональных летных качеств космонавтов в процессе специальной летной подготовки**

Результаты исследований, выполненных в Научно-исследовательском испытательном центре подготовки космонавтов (НИИ ЦПК) по обоснованию и разработке программы специальной летной подготовки космонавтов позволили определить то, что процесс СЛПК образует логическую цепочку: формирование *ПЛКК* → формирование *знаний, навыков, умений* → способствование выработке и развитию *ПВКК* → создание ресурса и условий для накопления *компетентности*. То есть *ПЛКК, знания, навыки, умения, ПВКК, компетентность* неразрывно связаны.

*ПВКК* – совокупность индивидуальных особенностей, свойств и качеств личности человека, соответствующих требованиям к профессиональной деятельности космонавта и обеспечивающих успешное овладение этой профессией [16].

*Компетентность* – способность применения полученных знаний, навыков, умений и других качеств в обучении на последующих этапах подготовки и дальнейшей *профессиональной деятельности* [15, 16].

Таким образом, *компетентность* и *профессиональная деятельность* не только взаимосвязаны, но и взаимозависимы.

*Профессиональная деятельность* космонавта – космическая деятельность, заключающаяся в *подготовке* космонавта, выполнении им пилотируемого космического полета и иных работ по обеспечению программ пилотируемых космических полетов [15, 16, 28].

Следовательно, *профессиональная деятельность* космонавта и его *профессиональная подготовленность* взаимосвязаны и взаимозависимы.

*Профессиональная подготовленность* космонавта – свойство космонавта, определяемое совокупностью его *знаний, навыков, умений* и *качеств*, а также состоянием психических и психофизиологических функций, которые обуславливают его способность осуществлять космический полет с требуемым качеством [15, 16].

Таким образом, *профессиональная подготовленность* космонавта также связана с *ПЛКК, знаниями, навыками, умениями, ПВКК, компетентностью*.

Вместе с тем, результатами СЛПК является выработка *навыков* – в общем, и *летных навыков*, обеспечивающих формирование ПЛКК – в частности.

*Навык* – это способность, приобретаемая космонавтом в процессе целенаправленных многократно повторяющихся упражнений с использованием технических средств подготовки [15, 16].

*Летные навыки* – совокупность умственных, сенсорных, двигательных и волевых навыков, выработанных в результате пилотирования ЛА [10].

Таким образом, качество выработки летных навыков определенным образом влияет на уровни формирования ПЛКК, а следовательно, и на эффективность процессов, способствующих выработке и развитию ПВКК, и созданию ресурса и условий для накопления *компетентности*, что, в конечном счете, влияет на качество *профессиональной подготовленности* и *деятельности* космонавта.

Вместе с тем, формирование ПЛКК должно быть контролируемым, управляемым до определенного уровня и с определенной *надежностью*. Уровни ПЛКК и надежности их формирования могут варьироваться до 100 %.

Анализ исследований, проведенных рядом ученых (П.К. Анохин [1], Л.В. Астахова, С.В. Колосов [2], В.В. Дружинин, Д.С. Конторов [3], В.П. Зинченко, В.М. Мунипов [4], М.С. Каган [5], Г.М. Колесников [6, 7], Б.Ф. Ломов [12, 13], В.А. Пономаренко, Н.Д. Завалова [17–19], Я.А. Пономарев [20], С. Спрингер, Г. Дейч [30], О.К. Тихомиров [31], Л.С. Хачатурьянц, Л.П. Гримак, Е.В. Хрунов [32]), в комплексе с анализом алгоритмов подготовки летного состава в РФ и в других странах [10, 11, 21, 22, 25, 26, 27, 29] и прикладным использованием экспертного метода и методов сравнения и главных компонент позволили определить динамику формирования уровней ПЛКК и их надежности.

При этом принято за условие, что СЛПК проводится в течение трех этапов подготовки [8].

На первом этапе (общекосмическая подготовка) проводится *первоначальная летная подготовка* (ПЛП).

На втором этапе (подготовка космонавтов в составе групп специализации и совершенствования) проводится *летная подготовка* (ЛП).

На третьем этапе (подготовка космонавтов в составе утвержденных экипажей) проводится *летная подготовка для поддержания профессиональных летных качеств*.

Исходя из вышеизложенного, на рис. 1 и 2 показаны процессы зависимости уровня и надежности формирования ПЛКК от этапа СЛПК.

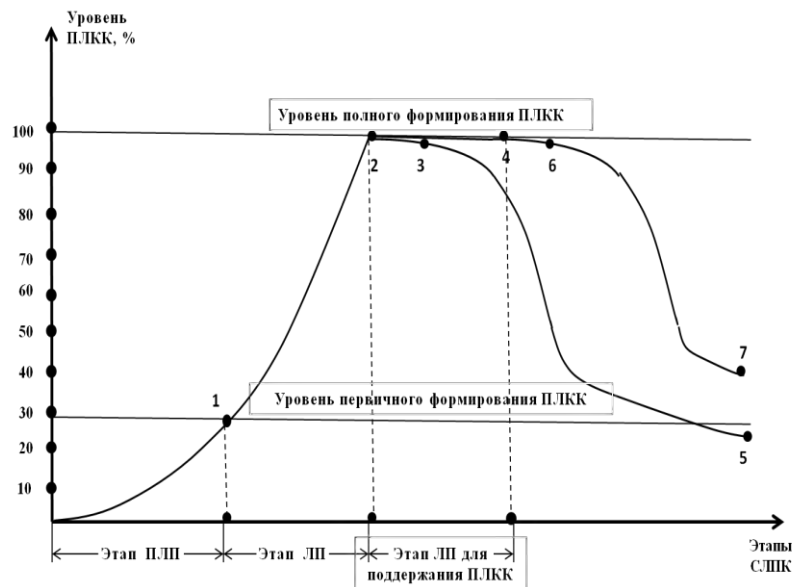


Рис. 1. Процесс зависимости уровня формирования ПЛКК от этапа СЛПК

Процесс формирования заключается в одновременном повышении уровня и надежности ПЛКК в зависимости от количества и качества поэтапно выполненных полетов по упражнениям, входящих в программу СЛПК [8]. Вместе с тем, если формирование ПЛКК осуществляется до максимального уровня с минимально возможными материальными затратами (т.е., с минимально возможным количеством полетов по упражнениям, входящих в программу СЛПК) (рис. 1, точка 2),

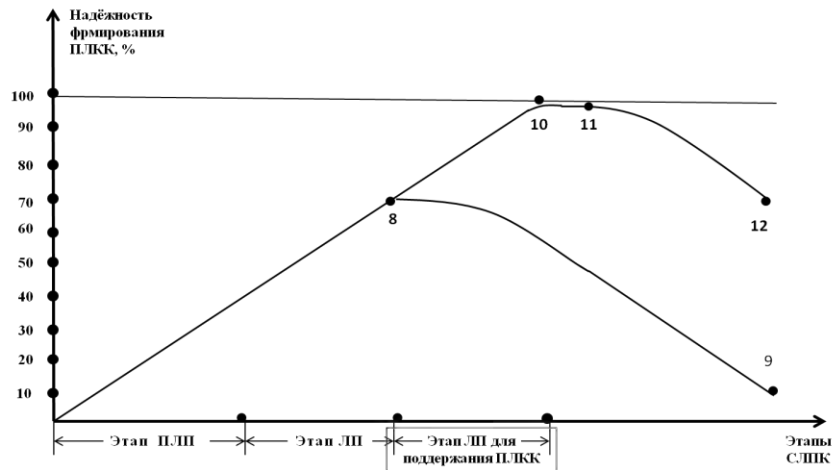


Рис. 2. Процесс зависимости надежности формирования ПЛКК от этапа СЛПК

уровень надежности не достигнет значений, близких к максимально возможным (рис. 2, точка 8). Значение достигнутого уровня надежности можно рассчитать, зная количество полетов по каждому упражнению, выполненному (или планируемому) для формирования ПЛКК до 100 %-го уровня.

При достижении ПЛКК максимального уровня с минимально возможными материальными затратами можно повысить уровень надежности до значения, близкого к 100 % – за счет увеличения количества полетов по каждому из упражнений программы СЛПК (рис. 1, точка 4; рис. 2, точка 10).

Если процесс формирования осуществился до максимального уровня с минимально возможными материальными затратами (рис. 1, точка 2) и СЛПК завершилась, уровень ПЛКК вначале медленно, а затем лавинообразно снижается (рис. 1, точки 2, 3, 5; рис. 2, точки 8, 9). Снижение уровня ПЛКК может произойти до самых минимальных значений. Кроме того, в этом случае ПЛКК медленно восстанавливаются при возобновлении СЛПК.

Если формирование ПЛКК осуществилось до максимального уровня с минимально возможными материальными затратами и СЛПК продолжилась – до повышения уровня надежности до значений, близких к 100 % (рис. 1, точки 2, 4; рис. 2, точка 10), то, после завершения СЛПК, ПЛКК вначале медленно, а затем лавинообразно теряются (рис. 1, точки 4, 6, 7; рис. 2, точки 11, 12). Однако в этом случае потеря ПЛКК не достигнет уровня ниже уровня первичного формирования ПЛКК. Кроме того, в этом случае ПЛКК быстро восстанавливаются при возобновлении СЛПК.

При достижении ПЛКК максимального уровня с минимально возможными материальными затратами целесообразно их поддерживать, выполняя хотя бы минимально необходимую норму полетов в период (год). В этом случае ПЛКК не только не теряются до некоего уровня, с которого необходимо их восстанавливать, но и повышается их надежность.

Можно предположить, что определение конкретных значений уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК внесет определенный вклад в установление возможностей космонавтов по выполнению космических полетов.

### Определение уровней формирования профессиональных летных качеств космонавтов в процессе специальной летной подготовки

В результате исследований, связанных с оценкой операторской деятельности человека, проведенных в НИИ ЦПК, создана групповая шкала определения уровней состояния организма человека при операторской деятельности (рис. 3).

Шкала уровней функционирования организма человека-оператора			Предельно-низкий уровень функционирования	Пониженный уровень функционирования	Номинальный уровень функционирования	Высокий уровень функционирования	Предельно-высокий уровень функционирования						
Шкала уровней напряжения организма человека-оператора	Сон	Монотония	Уровень напряжения			Высокое напряжение	Перенапряжение						
Шкала уровней функциональных ресурсов организма человека-оператора			Низкий уровень функциональных ресурсов	Уровень функциональных ресурсов		Предельно-высокий уровень функциональных ресурсов							
	-1,0	-0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Рис. 3. Групповая шкала определения уровней состояния организма человека при операторской деятельности

Групповая шкала состоит из трех составляющих: уровней функционирования, напряжения и функциональных ресурсов организма человека-оператора. Числовые значения уровней состояния организма человека при операторской деятельности отсчитываются с помощью общей для всех трех шкал линейки, с диапазоном от  $-1,0$  до  $0$  и от  $0$  до  $1,0$ .

По результатам анализа данных, полученных в процессе экспериментальных исследований, связанных с оценкой операторской деятельности человека, выполненных в НИИ ЦПК с использованием групповой шкалы, определены конкретные реперные точки применительно к уровням функционирования (далее – реперные точки) и диапазоны уровней состояния организма человека – при операторской деятельности по всем трем составляющим.

А именно:

- предельно низкий уровень функционирования – реперная точка  $0,15$  (в диапазоне  $0 \div 0,15$ );
- пониженный уровень функционирования – реперная точка  $0,2$  (в диапазоне  $0,15 \div 0,25$ );
- функциональный покой – реперная точка  $0,3$  (в диапазоне  $0,25 \div 0,35$ );
- номинальный уровень функционирования (соответствует состоянию – с нагрузкой деятельности, которую человек-оператор в состоянии перенести на протяжении длительного времени) – реперная точка  $0,4$  (в диапазоне  $0,35 \div 0,5$ );
- высокий уровень функционирования (соответствует нагрузке деятельности, которую человек-оператор в состоянии перенести в течение ограниченного времени) – реперная точка  $0,65$  (в диапазоне  $0,5 \div 0,8$ );

- предельно высокий уровень функционирования (соответствует нагрузке деятельности в стрессовой ситуации, которую человек-оператор в состоянии перенести в течение ограниченного времени) – реперная точка 0,8 (в диапазоне 0,8 ÷ 1,0);
- сон – в диапазоне –1,0 ÷ –0,5;
- монотония – в диапазоне –0,5 ÷ 0;
- рабочее напряжение – в диапазоне 0 ÷ 0,5;
- высокое напряжение – в диапазоне 0,5 ÷ 0,7;
- перенапряжение – в диапазоне 0,7 ÷ 1,0;
- низкий уровень функциональных ресурсов – в диапазоне 0 ÷ 0,2;
- удовлетворительный уровень функциональных ресурсов – в диапазоне 0,2 ÷ 0,7;
- предельно высокий уровень функциональных ресурсов – в диапазоне 0,7 ÷ 1,0.

Кроме того, в результате исследований, связанных с оценкой операторской деятельности человека, проведенных в НИИ ЦПК, выделено два уровня работоспособности:

- актуализированная – реально существующая в конкретный момент;
- резервная – тренируемый резерв (который может стать частью актуализированной работоспособности) и защитный резерв (проявляемый человеком-оператором только в экстремальных ситуациях при стрессе).

В качестве *косвенных показателей* работоспособности человека-оператора в вышеуказанных исследованиях использовалась динамика показателей функционального состояния организма или параметры протекания психологических процессов. Их оценка производилась путем объективных измерений с использованием физиологических методов и тестов, а также на основе сбора и анализа данных субъективного состояния психических и соматических функций.

В результате данных исследований, с использованием методов функционального состояния организма, выявлено, что, в общем случае, косвенные показатели работоспособности когерентны показателям функциональных возможностей человека-оператора (космонавта) и могут рассматриваться в виде:

а) показателей актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов во взаимодействии с техническими средствами их подготовки, определяемыми частными показателями актуализированных ресурсов работоспособности по  $i$ -м каналам и обобщенными показателями актуализированных ресурсов работоспособности, рассчитываемыми по результатам свертки частных показателей актуализированных ресурсов работоспособности по  $i$ -м каналам;

б) показателей потенциальных ресурсов функциональных возможностей космонавтов во взаимодействии с техническими средствами их подготовки, определяемыми частными показателями затрат, определенных по характеристикам  $i$ -х каналов и обобщенным показателям затрат, рассчитываемыми по результатам свертки частных показателей затрат по  $i$ -м каналам;

в) показателей полных ресурсов функциональных возможностей космонавтов во взаимодействии с техническими средствами их подготовки, как результата свертки актуализированных и потенциальных ресурсов работоспособности космонавта.

При этом в данной статье рассматривается только показатель актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов. Это обусловлено предположением того, что расчет показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов с использованием технических средств их подготовки (ЛА), с прикладным применением реперных точек групповой шка-

лы определения уровней состояния организма человека при операторской деятельности (рис. 3), достаточен для определения реперных уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК.

Кроме того, показатели потенциальных и полных ресурсов функциональных возможностей космонавтов возможно рассчитать только с использованием данных, полученных по промежуточным или конечным результатам подготовки космонавтов по какому-либо виду (в данном случае, по завершении одного из этапов СЛПК в целом).

В результате исследований, выполненных в НИИ ЦПК, связанных с определением функциональных возможностей человека-оператора (космонавта), разработана методика расчета показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей организма человека при операторской деятельности.

В свою очередь, в результате исследований, выполненных в НИИ ЦПК по обоснованию и разработке программы СЛПК, указанная выше методика адаптирована для расчета показателей актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов с использованием технических средств подготовки (а именно – с использованием ЛА).

Адаптированная к СЛПК методика используется для расчета показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов с прикладным применением результатов анализа данных, полученных в процессе экспериментальных исследований, выполненных с использованием групповой шкалы (рис. 3).

Показатель актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов в  $i$ -м канале ( $q_i$ ) определяется из следующего выражения:

$$q_i = \alpha \ln \frac{D_m}{\beta}. \quad (1)$$

Так как  $i$ -й канал предусматривает использование космонавтами технических средств подготовки (а именно – ЛА в процессе СЛПК), то выражение (1) можно преобразовать в следующее:

$$q_{ЛА} = \alpha \ln \frac{D_m}{\beta}, \quad (2)$$

где  $D_m$  – показатель динамической точности;  $\alpha$  и  $\beta$  – нормирующие коэффициенты.

Показатель динамической точности определяется из следующего выражения:

$$D_m = \ln \frac{L_{НР}}{L_P}, \quad (3)$$

где  $L_{НР}$  – величина нерегулируемого значения уровня функциональных ресурсов организма;  $L_P$  – величина регулируемого значения уровня функциональных ресурсов организма (числовые значения  $L_{НР}$ ,  $L_P$ ,  $D_m$  показаны в таблице).

Нормирующие коэффициенты определяются из следующих выражений (4), (5):

$$\beta = \frac{P_{armin}}{e^{\alpha}}, \quad (4)$$



$$\alpha = \frac{S_{k \max} - S_{k \min}}{\ln\left(\frac{P_{ar \min}}{P_{ar \max}}\right)}, \quad (5)$$

где  $P_{ar \max}$ ,  $P_{ar \min}$  – максимальное и минимальное значения шкалы выбранных уровней напряжения организма оператора;  $S_{k \max}$ ,  $S_{k \min}$  – максимальное и минимальное значения шкалы выбранных уровней функционирования организма оператора (числовые значения  $P_{ar \max}$ ,  $P_{ar \min}$ ,  $\beta$ ,  $S_{k \max}$ ,  $S_{k \min}$ ,  $\alpha$  показаны в таблице).

Расчеты выполнялись с учетом выполненного выше анализа групповой шкалы определения уровней состояния организма человека при операторской деятельности с конкретными реперными точками, сведенными в таблицу:

- для номинального уровня функционирования организма оператора (космонавта) – 0,4 (с максимальным значением 0,5);
- для высокого уровня функционирования организма оператора (космонавта) – 0,65 (с максимальным значением 0,8);
- для предельно высокого уровня функционирования организма оператора (космонавта) – 0,8 (с максимальным значением 1,0);
- для рабочего напряжения организма оператора (космонавта) – 0,4 (с максимальным значением 0,5);
- для высокого напряжения организма оператора (космонавта) – 0,5 (с максимальным значением 0,7);
- для перенапряжения организма оператора (космонавта) – 0,7 (с максимальным значением 1,0);
- для удовлетворительного уровня функциональных ресурсов организма оператора (космонавта) – 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 (с максимальным значением 0,7);
- для предельно высокого уровня функциональных ресурсов организма оператора (космонавта) – 0,7; 0,8; 0,9 (с максимальным значением 1,0).

Результаты расчетов показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов сведены в таблицу.

Таблица

Результаты расчетов показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов

Номер расчёта	$S_{k \min}$	$S_{k \max}$	$P_{ar \min}$	$P_{ar \max}$	$\alpha$	$\beta$	$L_{HP}$	$L_P$	$D_m$	$\Phi_{ДА}$
1	0,4	0,5	0,4	0,5	-0,45	0,97	0,7	0,2	1,25	-0,11
2	0,4	0,5	0,4	0,5	-0,45	0,97	0,7	0,3	0,85	0,06
3	0,4	0,5	0,4	0,5	-0,45	0,97	0,7	0,4	0,56	0,25
4	0,4	0,5	0,4	0,5	-0,45	0,97	0,7	0,5	0,34	0,47
5	0,4	0,5	0,4	0,5	-0,45	0,97	0,7	0,6	0,15	0,83
6	0,65	0,8	0,5	0,7	-0,45	2,17	0,7	0,2	1,25	0,25
7	0,65	0,8	0,5	0,7	-0,45	2,17	0,7	0,3	0,85	0,41
8	0,65	0,8	0,5	0,7	-0,45	2,17	0,7	0,4	0,56	0,6
9	0,65	0,8	0,5	0,7	-0,45	2,17	0,7	0,5	0,34	0,83
10	0,65	0,8	0,5	0,7	-0,45	2,17	0,7	0,6	0,15	1,17
11	0,8	1,0	0,7	1,0	-0,56	2,91	1,0	0,7	0,36	1,17
12	0,8	1,0	0,7	1,0	-0,56	2,91	1,0	0,8	0,22	1,45
13	0,8	1,0	0,7	1,0	-0,56	2,91	1,0	0,9	0,11	1,83

Анализ результатов расчетов показывает, что расчеты под номерами 1, 2, 10–13 из дальнейших исследований на данном этапе исключаются: расчеты № 1, 2 условно равны 0; расчеты № 10–13 предопределяют полное формирование ПЛКК с какой-то гарантийной надежностью (этот аспект требует дополнительного рассмотрения).

На основании результатов расчета показателя актуализированных ресурсов функциональных возможностей космонавтов построена диаграмма для определения реперных уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК (рис. 4).

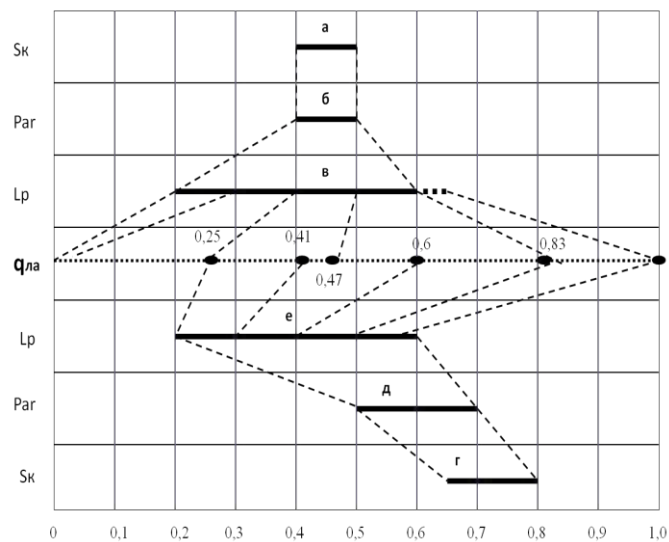


Рис. 4. Диаграмма для определения реперных уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК

На диаграмме показаны:

- отрезок «а», отражающий номинальный уровень функционирования организма космонавта – с 0,4 до 0,5;
- отрезок «б», отражающий рабочее напряжение организма космонавта – с 0,4 до 0,5;
- отрезки «в» и «е», отражающие удовлетворительный уровень функциональных ресурсов организма космонавта – с 0,2 до 0,6 (с максимальным значением 0,7);
- отрезок «г», отражающий высокий уровень функционирования организма космонавта – с 0,65 до 0,8;
- отрезок «д», отражающий высокое напряжение организма космонавта – с 0,5 до 0,7.

Пунктирными линиями обозначена взаимосвязь уровней функционирования организма космонавта с определенным напряжением, с учетом функциональных ресурсов, с рассчитанными реперными точками.

Реперные точки являются основополагающими при определении реперных уровней, которыми следует руководствоваться при исследовании процесса формирования ПЛКК при проведении СЛПК.

Реперные точки означают:

- а) 0,25 – номинальный уровень функционирования с рабочим напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,4;
- б) 0,25 – высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,2;
- в) 0,41 – высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,3;
- г) 0,47 – номинальный уровень функционирования с рабочим напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,5;
- д) 0,6 – высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,4;
- е) 0,83 – высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,5;
- ж) 0,83 – номинальный уровень функционирования с рабочим напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов, равным 0,5;
- з) 1,0 – предельно высокий уровень функционирования с перенапряжением при предельно высоком уровне функциональных ресурсов.

Таким образом, результатами данных расчетов является выявление следующих реперных уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК (в процентах):

- а) не ниже 25 % (на основании результатов исследований, выполненных в НИИ ЦПК в рамках НИР «Драгоценность-5», принято значение 30 %);
- б) 50 % (значение 41 % – выбирать нецелесообразно, так как имеется значение 47 %, которое округлено до 50 %);
- в) 60 %;
- г) 80 %;
- д) 100 %.

Исходя из выявленных числовых значений реперных уровней формирования ПЛКК в процессе СЛПК и на основании результатов исследований, проведенных в НИИ ЦПК в рамках НИР «Драгоценность-5», предположено:

1. Уровень формирования ПЛКК, равный 30 %, является первичным.

Достижение космонавтом этого уровня означает то, что его организм может обеспечить номинально высокий уровень функционирования с рабочим и высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов.

Кандидат в космонавты, достигший такого уровня, может быть допущен к дальнейшей подготовке к космическому полету.

2. Уровень формирования ПЛКК, равный 50 %, является пороговым.

Достижение космонавтом этого уровня означает то, что его организм может обеспечить высокий уровень функционирования с рабочим и высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов.

Космонавт, имеющий такой уровень, может выполнить кратковременный космический полет в порядке исключения.

3. Уровень формирования ПЛКК, равный 60 %, является рациональным.

Достижение космонавтом этого уровня означает то, что его организм может обеспечить высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов.

Космонавт, имеющий такой уровень, может выполнить кратковременный космический полет с минимально необходимой надежностью деятельности.

4. Уровень формирования ПЛКК, равный 80 %, является оптимальным.

Достижение космонавтом этого уровня означает то, что его организм может обеспечить высокий уровень функционирования с высоким напряжением при удовлетворительном уровне функциональных ресурсов.

Космонавт, имеющий такой уровень, может выполнить долговременный космический полет с минимально достаточной надежностью деятельности.

5. Уровень формирования ПЛКК, равный 100 %, является полным (максимальным).

Достижение космонавтом этого уровня означает то, что его организм может обеспечить предельно высокий уровень функционирования с перенапряжением при предельно высоком уровне функциональных ресурсов.

Космонавт, имеющий такой уровень, может выполнять неограниченное число долговременных космических полетов с гарантийной надежностью деятельности.

### Заключение

Таким образом, определение структурированного перечня профессиональных летных качеств космонавтов [8] и уровней их формирования в процессе СЛПК способствовало разработке обоснованных структуры и содержания комплекса полетов, что, в свою очередь, позволило в НИИ ЦПК разработать обоснованную программу специальной летной подготовки космонавтов.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М.: Медицина, 1975.
- [2] Астахова Л.В., Колосов С.В. Методика определения динамики уровня профессиональных навыков летного состава ВВС при использовании технических средств обучения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», 2013. – № 2.
- [3] Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. – М.: Сов. Радио, 1976.
- [4] Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики. – М.: МГУ, 1979.
- [5] Каган М.С. Человеческая деятельность (опыт системного анализа). – М.: Изд. политической литературы, 1974.
- [6] Колесников Г.М. О модели деятельности человека // Деятельность космонавта в полете и повышение ее эффективности. – М.: Машиностроение, 1981.
- [7] Колесников Г.М. Прикладные аспекты теории деятельности человека. Монография. – Монино, 2010.
- [8] Новые подходы к организации специальной летной подготовки космонавтов / Крикалёв С.К., Сорокин В.Г. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4(9). – С. 82–91.
- [9] Крючков Б.И., Харламов М.М. Профессиональный отбор космонавтов. Учебно-справочное пособие. – Звездный городок, 2009.
- [10] Курс летной и парашютной подготовки космонавтов. – ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 1990.
- [11] Курс летной подготовки постоянного состава ВУЗ ВВС на учебном самолете (КЛП ПС-94). – М., Воениздат, 1994.
- [12] Ломов Б.Ф. Системный подход в инженерной психологии // Инженерная психология: методология, теория, практика. – М.: Наука, 1977.
- [13] Ломов Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. – М.: Наука, 1981.
- [14] Надежность и эффективность в технике. Эффективность технических систем / Ред. Уткин В.Ф. Справочник. – М.: Машиностроение, 1988.
- [15] Организационно-методические основы общекосмической подготовки кандидатов в космонавты. – Кн. 1. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013.

- [16] Организационно-методические основы подготовки космонавтов в составе групп. – Кн. 1. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2015.
- [17] Попович П.Р., Губинский А.И., Колесников Г.М. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов. – М.: Машиностроение, 1985.
- [18] Пономаренко В.А., Завалова Н.Д. Авиационная психология. – М.: Институт авиационной и космической медицины, 1992.
- [19] Пономаренко В.А. Профессия летчик. – М.: Военное изд-во, 1985.
- [20] Пономарев Я.А. К вопросу об исследовании психологических механизмов принятия решения в условиях творческих задач // Проблемы принятия решения. – М.: Наука, 1976.
- [21] Подготовка летчиков в зарубежных учебных авиационных центрах по объединенной программе подготовки летчиков в США ENJJPT (Euro-NATO Joint Jet Pilot Training). Интернет-ресурсы.
- [22] Подготовка летчиков в зарубежных учебных авиационных центрах по объединенной программе подготовки летчиков в Канаде по программе NFTC (NATO Flight Training in Canada). Интернет-ресурсы.
- [23] Эффективность и надежность сложных систем / Плетнев И.Л., Рембеза А.И. и др. – М.: Машиностроение, 1977.
- [24] Программа общекосмической подготовки кандидатов в космонавты-испытатели набора 2012 г. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, 2012.
- [25] Программа подготовки летного состава ВВС США UPT (Undergraduate Pilot Training). Интернет-ресурсы.
- [26] Программа подготовки летчиков-истребителей ВВС США по программе подготовки истребителей LIFT - УТС АТ-38В. Интернет-ресурсы.
- [27] Программа подготовки летного состава ВВС США по однопоточной программе UPT. Интернет-ресурсы.
- [28] Руководство по подготовке космонавтов в Российской Федерации (проект). – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, 2012.
- [29] Специализированная программа подготовки летного состава ВВС США SUPT (Specialized UPT). Интернет-ресурсы.
- [30] Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг. Правый мозг. – М.: Мир, 1983.
- [31] Тихомиров О.К. Психология мышления. – М.: МГУ, 1984.
- [32] Хачатурьянц Л.С., Гримак Л.П., Хрунов Е.В. Экспериментальная психофизиология в космических исследованиях. – М.: Наука, 1976.

УДК 61:629.78.007

**РЕАКЦИЯ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
НА ПРОБУ С ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КРОВООБРАЩЕНИЯ**

В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева,  
Т.Г. Шушунова, А.А. Монастырев, М.В. Домрачева, С.А. Горбачева,  
И.А. Юрченко, С.Н. Мороз

Канд. мед. наук, вед.н.с. В.Ф. Турчанинова; канд. мед. наук И.В. Алферова; ст.н.с. В.В. Криволапов; ст.н.с. Е.Г. Хорошева; н.с. Т.Г. Шушунова; ст.н.с. А.А. Монастырев; ст.н.с. М.В. Домрачева; н.с. С.А. Горбачева; ст.н.с. И.А. Юрченко; ст.н.с. С.Н. Мороз (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

В статье представлен сравнительный анализ результатов проб с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре при различных типах кровообращения (гипокинетическом, эукинетическом и гиперкинетическом), для каждого из которого выявлены те или иные особенности гемодинамических реакций на условия микрогравитации и на нагрузку до и во время полета. В итоге объективно показана необходимость учитывать тип кровообращения при анализе результатов конкретной пробы и оценке ее переносимости.

**Ключевые слова:** орбитальная станция, Международная космическая станция, космический полет, микрогравитация, космонавт, сердечно-сосудистая система, гемодинамика, кровообращение, медицинский контроль, проба с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре.

**Reaction of Hemodynamic Parameters to the Test with Controlled Physical Load Depending on the Type of Blood Circulation. V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastirev, M.V. Domracheva, S.A. Gorbacheva, I.A. Yurchenko, S.N. Moroz**

The paper presents a comparative analysis of results from tests with controlled physical load on the bicycle ergometer for various types of blood circulation (hypokinetic, eukinetic and hyperkinetic); certain features of hemodynamic responses to microgravity conditions and load before and during the flight were revealed for the each of them. In conclusion, the necessity to consider the type of blood circulation when analyzing results of the specific test and assessing its tolerance is objectively shown.

**Keywords:** orbital station, International Space Station, spaceflight, microgravity, cosmonaut, cardiovascular system, hemodynamics, blood circulation, medical monitoring, test with controlled physical load on the bicycle ergometer.

**Введение**

Проба с дозированной физической нагрузкой (ДФН) на велоэргометре является одной из составляющих штатного медицинского контроля (МК) за состоянием здоровья космонавтов на всем протяжении длительных космических полетов и проводилась по разным схемам на орбитальных станциях (ОС) «Салют-6», «Салют-7», «Мир» и в настоящее время (2016 год) – на Международной космической станции (МКС) [2, 7–9, 15–18]. Проба направлена на оценку состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) и уровня физической работоспособности космонавтов при текущем динамическом штатном МК по программе полета и в качестве экспертной перед внекорабельной деятельностью (ВКД) для допуска космонавтов к

предстоящей работе. По мере накопления результаты анализировались в разных аспектах и степенях детализации, что позволило выявить в целом особенности реакции основных показателей ССС на нагрузку в условиях микрогравитации, их зависимость от схемы пробы, возраста космонавтов, типа кровообращения (ТК) [2, 9, 17, 18]. О существовании гемодинамической неоднородности человека еще в 30-е годы прошлого века говорил Г.Ф. Ланг на основании обследования здоровых людей. Характеризовать функциональное состояние и резервные возможности ССС было предложено по трем типам кровообращения (ТК): гипокинетическому (ГТК), эукинетическому (ЭТК), гиперкинетическому (ГрТК), каждый из которых является вариантом нормы [5, 6, 14, 21]. Для количественной оценки ТК специалистами по клинической и спортивной медицине разработаны критерии, определяемые по сердечному индексу (СИ) как отношению минутного объема кровообращения (МОК) к поверхности тела ( $л/мин/м^2$ ). Величина СИ отражает индивидуальные особенности системы кровообращения конкретного человека и, не исключено, генетически детерминирована [2, 5]. Зависимость компенсаторных возможностей ССС от ТК оценивается разными авторами неоднозначно. По мнению В.А. Маколкина и соавт. [12], при ГрТК с высокой активностью симпатoadрениалиновой системы сердце работает в менее экономичном режиме и адаптация к физической нагрузке происходит преимущественно за счет ино- и хронотропной функций сердца без подключения механизма Франка-Старлинга. При ГТК выполнение физической нагрузки сопровождается подключением механизма Франка-Старлинга, что более экономично, и ССС обладает большим динамическим диапазоном. Однако существует и другое мнение [14].

Несмотря на проведенный нами анализ влияния ТК на гемодинамику космонавтов ОС «Мир» [2] с введением в эксплуатацию МКС и, соответственно, увеличения объема информации о функциональном состоянии ССС участников космических миссий, появилась практическая необходимость повторного, более детального изучения особенностей гемодинамических реакций на условия микрогравитации и на нагрузку до и во время полета в зависимости от ТК, что и явилось *целью настоящей работы*.

## Методика

Объект исследования – результаты 492 штатных проб с ДФН на велоэргометре (224 до полета, 268 в полете) у 155 космонавтов в возрасте 32–60 лет (в среднем  $44 \pm 0,72$  года) 9–28 основных экспедиций (ЭО) ОС «Мир» и 1–43/44 экспедиций на МКС. Выполнялась постепенная возрастающая нагрузка мощностью 125 Вт, 150 Вт и 175 Вт по 3 мин каждого режима при скорости вращения педалей 60 об./мин, максимально приближенная к субмаксимальной (75 % от ее максимальной величины) и внедренная в программу МК, начиная с полета ЭО-9 на ОС «Мир» [17]. Важным условием для разработки такой схемы пробы по сравнению с используемыми ранее [8, 9, 17] явилась доработка блока артериального давления (АД) аппаратуры МК («Гамма-01» на ОС «Мир» и «Гамма-1М» на МКС), которая позволила измерять давление методом Короткова (АДтк) непосредственно во время нагрузки. Предложенная модификация пробы, с одной стороны, повысила диагностические возможности теста [17], с другой – обеспечивала безопасность обследования для космонавтов. Некоторое отличие методики от применяемой в клинике обусловлено организационно-техническими особенностями проведения проб во время полета, а именно, необходимостью получать в

полном объеме информации на всем протяжении пробы (до, во время и после нагрузки) в течение непродолжительного (12–15 минут) сеанса телеметрической связи (ТМ-связи), ограниченного техническими возможностями передачи на Землю физиологических кривых.

*До полета* проба выполнялась при горизонтальном положении космонавтов, которое в определенной мере имитирует перераспределение крови в краниальном направлении, что, как известно, наблюдается в условиях микрогравитации. Этим эффектом специалисты пользуются на том основании, что в горизонтальном положении основные магистральные сосуды, расположенные вдоль оси тела, становятся перпендикулярными к вектору гравитации и гидростатическое давление крови значительно уменьшается или даже практически снимается.

При проведении проб и оценке результатов ориентировались на «Инструкцию .....» и дополнение к «Инструкции ...», где подробно изложены условия обследования, представлена ранжированная оценка переносимости пробы (хорошая, удовлетворительная и сниженная), субъективные и, что очень важно, объективные показания с четко обозначенными критериями к прекращению воздействия [17]. Такая практика мониторинга ССС при пробах с ДФН применялась в период подготовки и работы всех участников космических экспедиций на борту отечественных ОС, включая астронавтов при использовании ими нашей системы МК.

С помощью многофункциональных штатных аппаратур МК «Гамма-01» (ОС «Мир»), «Гамма-1М» (МКС) и бортовых велоэргометров (до полета – их аналогов и схемы пробы, применяемой в полете) регистрировали ЭКГ в отведении DS непрерывно на всем протяжении обследования (до, во время и восстановительном периоде (ВП), реоплетизмограмму (РПГ) туловища в отведении «рука–рука» до и в ВП, АДтк до нагрузки, на 3-й минуте каждой ее ступени, и в ВП (до полета в течение 5 минут, в полете в основном в течение 3 минут, поскольку, как отмечено выше, продолжительность ТМ-сеанса, как правило, ограничена объективными техническими причинами [17–18]. Определяли частоту сердечных сокращение (ЧСС *сокр./мин*); ударный объем сердца (УО в *мл*) по РПГ с использованием формулы А.А. Кедрова; МОК (в *л/мин*); систолическое АД (АДмакс.) и диастолическое (АДмин.) в *мм рт. ст.* [2, 15–17].

Результаты, полученные до и во время полета, анализировали для всей группы космонавтов и дифференцированно для каждого из ТК с дальнейшим сравнением их между собой. С помощью метода вариационной статистики рассчитывали средние значения показателей (M), относительную их динамику ( $\Delta$  в % – разницу по отношению к исходным до пробы величинам), стандартную ошибку (m) средних величин каждого из показателей. Результаты обработаны методом вариационной статистики с определением t-критерия по Стьюденту. Различия сопоставляемых величин считались достоверными при  $p < 0,05$ .

## Результаты и их обсуждение

*До полета в покое* преобладал ЭТК, и между ТК отмечались статистически достоверные различия практически всех гемодинамических показателей (см. табл.).

Как видно из таблицы, минимальные величины ЧСС, УО и МОК зафиксированы при ГТК, максимальные – при ГрТК, ЭТК занимал промежуточное положение со статистически достоверной ( $p < 0,001$ ) разницей перечисленных показателей между всеми ТК. При этом была выявлена тенденция к брадикардии: достоверно закономерная (54 % случаев) у лиц с ГТК (ЧСС колебалась в пределах от 46



до 57 сокр./мин), в меньшей степени (35 % случаев) при ЭТК, и только 18 % случаев отмечалась при ГрТК. При двух последних ТК прослеживались эпизоды тахикардии. АДмакс. при ГТК статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) превышало таковое для ЭТК и ГрТК и в его формировании, вероятно, преобладали прессорные сосудистые реакции. В основном такие же закономерности наблюдались у космонавтов ЭО – 9–28 ОС «Мир» [2].

Таблица

Показатели гемодинамики в условиях относительного покоя до и во время полета при различных типах кровообращения

Показатели	До полета			Полет		
	Типы кровообращения			Типы кровообращения		
	ГТК	ЭТК	ГрТК	ГТК	ЭТК	ГрТК
Вся группа	14,94 %	<b>45,45 %</b>	39,61 %	12,18 %	39,10 %	<b>48,72 %</b>
Возраст	45 ± 1,31	44 ± 0,65	42 ± 0,75	46 ± 0,93	44 ± 0,82	43 ± 0,76
СИ (л/мин/м <sup>2</sup> )	2,77* ± 0,0491	3,53* ± 0,0288	4,70* ± 0,0550	2,63* ± 0,0523	3,56* ± 0,0304	4,77* ± 0,0533
ЧСС (сокр./мин)	57* ± 1,36	62* ± 0,81	67* ± 0,96	(↑) 62* ± 1,47**	(↑) 67* ± 0,97**	(↑) 70* ± 0,62**
УО (мл)	95,7* ± 2,30	112,3* ± 1,60	132,4* ± 1,89	(↓) 84,3* ± 2,51**	(↓) 102,8* ± 1,61**	128,4* ± 1,62
МОК (л/мин)	5,44* ± 0,1688	6,59* ± 0,0570	8,68* ± 0,1131	(↓) 4,84* ± 0,0856**	6,58* ± 0,0803	8,83* ± 0,0928
АДмакс. (мм рт. ст.)	125 ± 1,75	120* ± 1,00	120* ± 1,06	126 ± 2,02	(↑) 125 ± 1,27**	(↑) 124 ± 0,87**

ГТК – гипокINETический тип кровообращения; ЭТК – эукинетический тип кровообращения; ГрТК – гиперкинетический тип кровообращения; СИ – сердечный индекс; ЧСС – частота сердечных сокращений; УО – ударный объем сердца; МОК – минутный объем кровообращения; АДмакс. – систолическое артериальное давление по Короткову; (↓) или (↑) – соответственно снижение или увеличение показателя по отношению к предполетной величине; \* – различие достоверно между типами кровообращения; \*\* – различие достоверно до и во время полета.

**Нагрузка** в целом для всей группы обследованных космонавтов сопровождалась адекватными воздействию статистически достоверными ( $p < 0,001$ ) изменениями системной гемодинамики: увеличением ЧСС и АДмакс. с максимальными величинами и относительным их приростом на 3-й минуте нагрузки 175 Вт соответственно до  $144 \pm 1,09$  сокр./мин (на  $132 \pm 2,25$  %) и до  $205 \pm 1,19$  мм рт. ст. (на  $70 \pm 1,04$  %); на 1-й минуте ВП возрастали объемы гемоциркуляции: УО до  $131,5 \pm 2,08$  мл (на  $12 \pm 1,65$  %), МОК до  $15,36 \pm 0,2145$  л/мин (на  $114 \pm 3,16$  %). Все перечисленные параметры оставались увеличенными с разной степенью достоверности до 3-й минуты ВП включительно.

Наряду с этим детальный анализ изменений этих показателей при каждом ТК выявил те или иные особенности. Минимальные величины ЧСС ( $136 \pm 2,80$  сокр./мин) на высоте нагрузки и МОК ( $13,60 \pm 0,5250$  л/мин) на 1-й минуте ВП отмечались при ГТК; максимальные значения ЧСС ( $145 \pm 1,54$  и  $146 \pm 1,72$  сокр./мин) зафиксированы при ЭТК и ГрТК, МОК ( $16,52 \pm 0,3629$  л/мин) при ГрТК (рис. 1а, 2а).

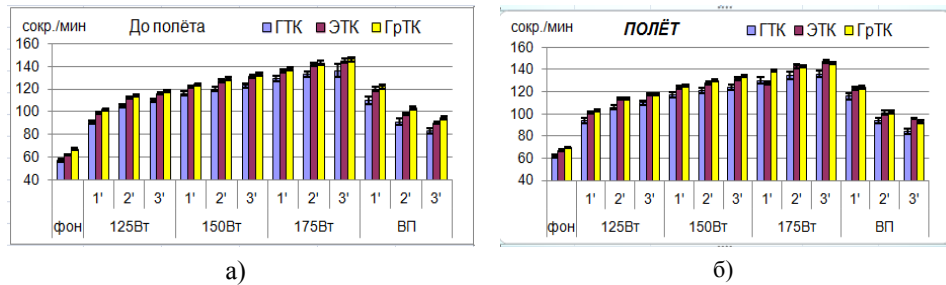


Рис. 1. Абсолютные величины ЧСС и стандартная ошибка (()) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (ГТК – гипокINETический тип кровообращения; ЭТК – эукинетический тип кровообращения; ГрТК – гиперкинетический тип кровообращения; фон – до нагрузки; 125 Вт 1' и т.д. – величина нагрузки и время педалирования; ВП 1' и т.д. – минуты восстановительного периода)

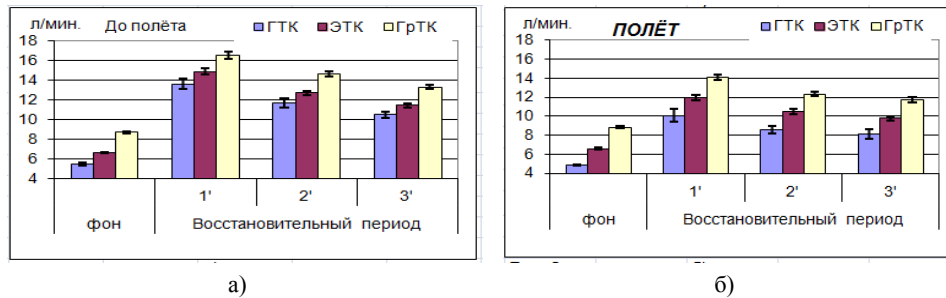


Рис. 2. Абсолютные величины МОК и стандартная ошибка средних величин (()) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (фон – до нагрузки; восстановительный период 1' и т.д. – минуты восстановительного периода; остальные те же, что на рис. 1)

Для относительной динамики прослеживалась противоположная направленность: при ГТК отмечался максимальный прирост ЧСС ( $141 \pm 5,62$  %) и МОК ( $153 \pm 10,27$  %), при ГрТК – минимальный и составлял последовательно  $121 \pm 3,33$  % и  $92 \pm 4,36$  % со статистически значимой разницей между соответствующими показателями (рис. 3а, 4а).

Реакция УО также определялась ТК и характеризовалась его увеличением на  $33 \pm 5,54$  % при ГТК, несколько меньше (на  $15 \pm 2,21$  %) при ЭТК и практически отсутствием изменений ( $4 \pm 2,39$  %) при ГрТК со статистически значимой разницей между перечисленными величинами (рис. 5а). При этом абсолютные величины ( $137,1 \pm 3,58$  мл), как и в условиях покоя, были наибольшими при ГрТК ( $p < 0,05$ ) (рис. 6а).

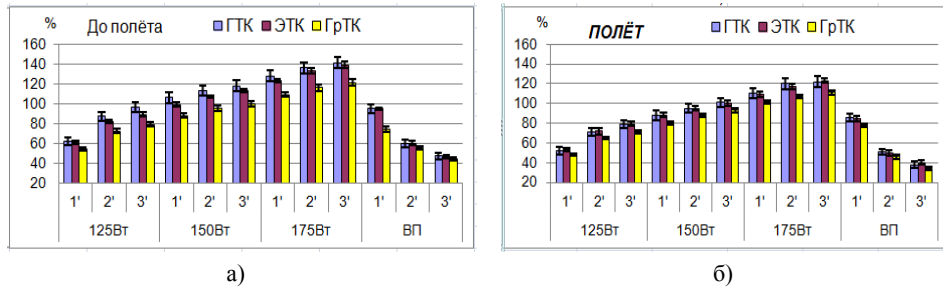


Рис. 3. Относительная динамика ( $\Delta$  в %) ЧСС и стандартная ошибка ( $\Delta$ ) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (обозначения те же, что на рис. 1)

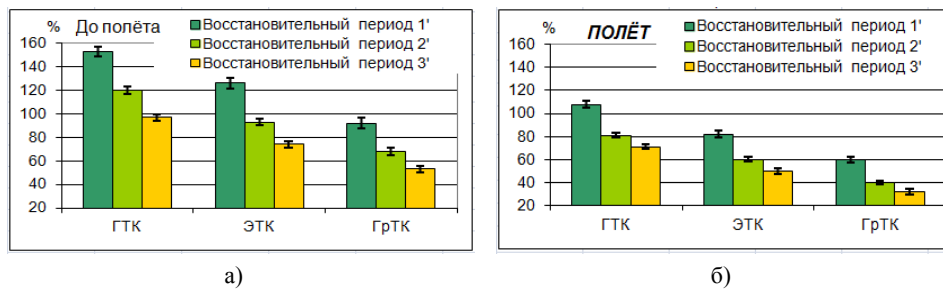


Рис. 4. Относительная динамика ( $\Delta$  в %) МОК и стандартная ошибка ( $\Delta$ ) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (обозначения те же, что на рис. 2)

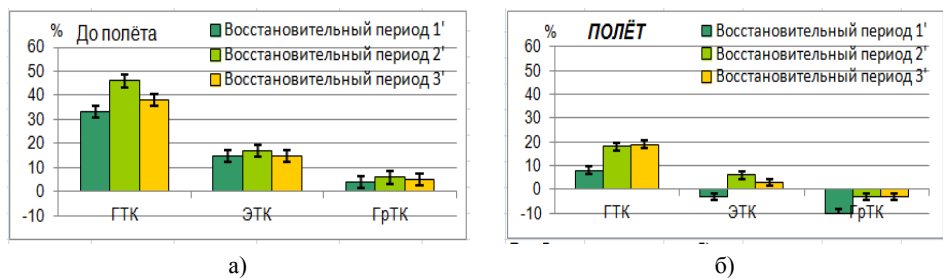


Рис. 5. Относительная динамика ( $\Delta$  в %) УО и стандартная ошибка средних величин ( $\Delta$ ) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (обозначения те же, что на рис. 2)

Известно, что величина УО при физической нагрузке обусловлена двумя основными факторами: объемом притекающей к сердцу крови и сократительной функцией миокарда, которая, по мнению специалистов [3, 4], в условиях микрогравитации не меняется. Следовательно, ведущая роль в обеспечении УО принадлежит венозному возврату. Его увеличение и соответственно конечно-диастолического объема левого желудочка зависят, в свою очередь, от усиления насосной функции

сердца вследствие перестройки сердечной гемодинамики (по результатам исследований с помощью кинетокардиограммы определялась гипердинамия миокарда [9]), рефлекторного повышения тонуса емкостной системы сосудистого русла и, как результат, ускорения венозного кровотока при взаимодействии с повышением роли мышечного насоса и периферических мышечных «сердец» нижних конечностей при нагрузке. При ГТК и в меньшей мере при ЭТК не исключено влияние механизма Франка-Старлинга, что обеспечивает возрастание силы и скорости сердечного сокращения за счет венозного возврата к сердцу, одновременно с обязательным приростом ЧСС.

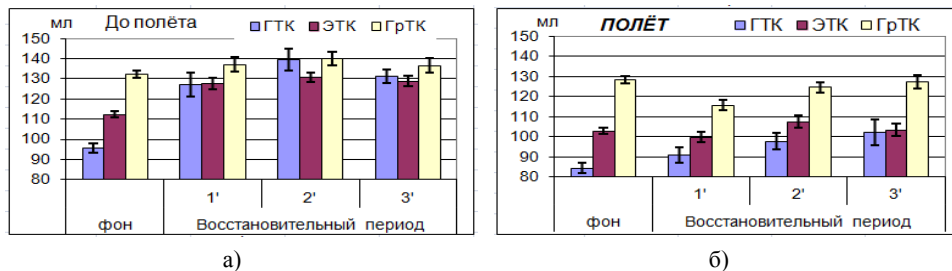


Рис. 6. Абсолютные величины УО и стандартная ошибка средних величин (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (обозначения те же, что на рис. 2)

Усиление положительного хроно- и инотропного влияний симпатической нервной системы на сердечную деятельность, обеспечивая увеличение ЧСС и УО, формирует МОК, необходимый организму в данных условиях жизнедеятельности, в частности, после нагрузки. В соответствии с сочетанным влиянием ЧСС и УО на величину МОК различают пять типов ответных реакций ССС на нагрузку: нормотонический, систолический, гипертонический, гипотонический и астенический [16]. Согласно этой классификации при ГТК отмечался нормотонический тип, когда МОК обусловлен увеличением как УО, так и ЧСС; ЭТК занимал промежуточное положение между нормотоническим и астеническим типами – при преобладающем влиянии ЧСС; ГрТК характеризовался астеническим типом с участием только ЧСС.

Для АДмакс. между ЭТК и ГрТК выявлена достоверная ( $p < 0,05$ ) разница абсолютных величин (рис. 7а) и их относительной динамики (рис. 8а), которые составляли соответственно  $208 \pm 1,63$  мм рт. ст. при приросте  $74 \pm 1,83$  % и  $199 \pm 1,82$  мм рт. ст. с приростом  $67 \pm 1,31$  %.

Перечисленные особенности формирования МОК, а также динамика ЧСС, УО и МОК на пробу с ДФН до полета позволяют предположить, что они были наименее благоприятными при ГрТК, а величины АДмакс. обеспечивались преимущественно прессорными сосудистыми реакциями.

**Во время полета в покое** для всей группы космонавтов прежде всего вектор распределения типов кровообращения сместился в сторону ГрТК с уменьшением количества ЭТК и ГТК (табл.). Достоверно ( $p < 0001$ ) увеличивались ЧСС и АДмакс., уменьшался УО и практически не изменялся МОК (табл.). Причем ЧСС увеличивалась ( $< 0,001$ ) при всех ТК, в то время остальные показатели изменялись неоднозначно: УО уменьшался при ГТК и ЭТК ( $p < 0,001$ ), МОК – у космонавтов с ГТК ( $p < 0,01$ ), АДмакс. увеличилось при ЭТК и ГрТК ( $p < 0,01$ ). Минимальные

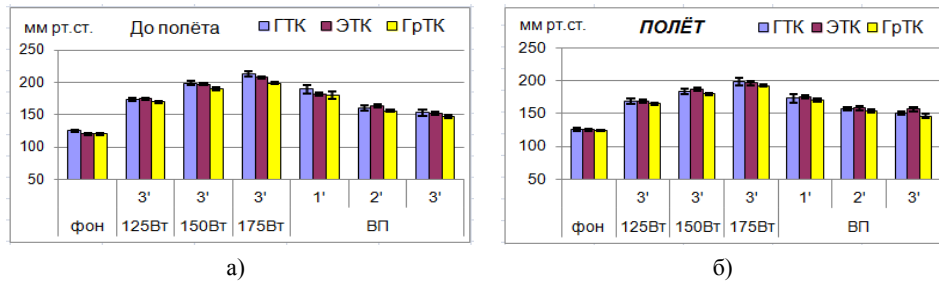


Рис. 7. Абсолютные величин АД<sub>макс.</sub> и стандартная ошибка средних величин (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время полета (б) (обозначения те же, что на рис. 1)

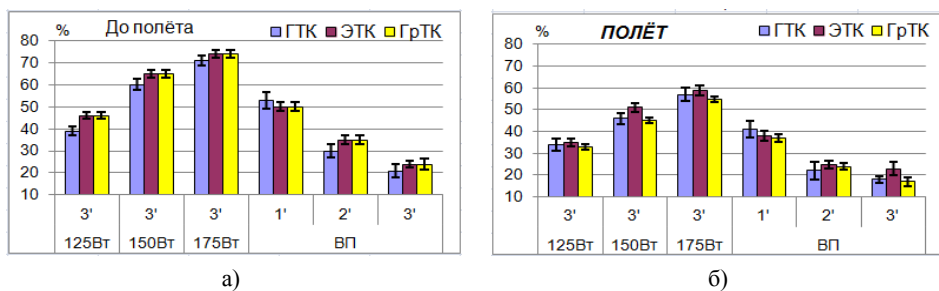


Рис. 8. Относительная динамика ( $\Delta$  в %) АД<sub>макс.</sub> и стандартная ошибка средних величин (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до (а) и во время (б) полета (обозначения те же, что на рис. 1)

величины ЧСС, УО и МОК определялись, как и до полета, при ГТК, максимальные – при ГрТК, абсолютные величины АД<sub>макс.</sub> мало отличались между собой. Все это позволяет предположить различные механизмы формирования ответных реакций ССС на условия микрогравитации и значительную роль прессорных сосудистых реакций в обеспечении величин АД<sub>макс.</sub>

При **выполнении нагрузки** отмечались в целом характерные для условий микрогравитации особенности гемодинамических реакций [2, 5–17], которые характеризовались меньшими ( $p < 0,001$ ), чем до полета, абсолютными величинами УО ( $107,8 \pm 1,72$  мл) и МОК ( $12,88 \pm 0,1770$  л/мин) на 1-й минуте ВП, АД<sub>макс.</sub> на 3-й минуте нагрузки  $175$  Вт ( $194 \pm 1,44$  мм рт. ст.). До полета они были равны последовательно  $131,5 \pm 2,08$  мл,  $15,36 \pm 0,2148$  л/мин и  $205 \pm 1,19$  мм рт. ст. Одновременно ЧСС на всем протяжении пробы практически не отличалась от предполетных величин. При этом снижался относительный прирост перечисленных показателей, который составлял для ЧСС  $117 \pm 1,33$  %, для МОК  $73 \pm 2,27$  % и для АД<sub>макс.</sub>  $57 \pm 1,25$  % против последовательно  $132 \pm 2,25$  %,  $114 \pm 3,16$  % и  $70 \pm 1,04$  %, выявленных до полета. Видоизменялась реакция УО: с  $12 \pm 1,65$  % до полета до отрицательных значений ( $-5 \pm 1,21$  %) в полете.

Такая же закономерность прослеживалась и для всех типов кровообращения: снижались абсолютные величины УО (рис. 6б), МОК (рис. 3б), АД<sub>макс.</sub> (рис. 7б) и относительный прирост ЧСС (рис. 3б), МОК (рис. 4б), АД<sub>макс.</sub> (рис. 8б). От-

дельного внимания заслуживает динамика УО. Если при ГТК прирост УО просто снижался (с  $33 \pm 5,54\%$  до  $8 \pm 3,28\%$ ), то при ЭТК и ГрТК его реакция видоизменилась: в первом случае вместо прироста выявлена тенденция к снижению, во втором отмечалось достаточно выраженное снижение (рис. 5б, 6б). Все перечисленные изменения были статистически достоверны.

Если исходить из положения, что величина УО, как изложено выше, обусловлена объемом притекающей крови и сократительной функцией миокарда, то результаты ультразвуковых исследований во время полета показали отсутствие изменений сократительной функции миокарда [3, 4]. Следовательно, можно с уверенностью предположить, что ведущая роль в изменении реакции УО на нагрузку в условиях микрогравитации принадлежит снижению возврата венозной крови к полостям сердца. Причиной такого явления являются наличие зон свободной растяжимости вен и выявленные увеличения венозной емкости и повышение растяжимости вен нижних конечностей [19, 20]. В итоге такой реакции УО изменялся механизм формирования МОК в результате нарушения взаимодействия ЧСС и УО, что отмечалось во всех пробах во время полета, даже при выполнении проб с меньшими нагрузками космонавтами ОС «Салют-6», «Салют-7» и 1–8 основных экспедиций ОС «Мир» [15, 16].

## Выводы

1. В покое для всей группы космонавтов вектор распределения типов кровообращения смещался с эукинетического на гиперкинетический с уменьшением гипо- и эукинетического типов кровообращения.

2. Во время и после ДФН на велоэргометре для всей группы обследованных космонавтов и при всех типах кровообращения выявлены характерные для условий микрогравитации особенности:

– абсолютные величины ударного объема сердца, минутного объема кровообращения и систолического артериального давления были меньше, чем до полета в аналогичных условиях;

– снижался относительный прирост частоты сердечных сокращений, минутного объема кровообращения и систолического артериального давления.

3. При гипокинетическом типе кровообращения снижался относительный прирост ударного объема сердца, при эуки- и гиперкинетическом типах его реакция видоизменялась.

4. При всех типах кровообращения изменялся механизм формирования МОК.

5. Для обеспечения необходимого уровня систолического артериального давления ведущую роль играли прессорные сосудистые реакции.

6. Тип кровообращения необходимо учитывать при анализе и оценке переносимости пробы как до, так и во время полета

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ–ИМБП РАН.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в покое в длительных космических полетах / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. // *Авиакосм. и экологич. мед.* – 2002. – Т. 36. – № 4. – С. 20–24.
- [2] Анализ и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в длительных космических полетах / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. // *Физиология человека.* – 2003. – Т. 29. – № 6. – С. 5–11.

- [3] Атьков О.Ю., Бедненко В.С. Гипокинезия, невесомость (клинические аспекты). – Отв. ред. академик О.Г. Газенко. – М.: Наука, 1989. – 303 с.
- [4] Ультразвуковые исследования сердечно-сосудистой системы космонавтов / Атьков О.Ю., Бедненко В.С., Фомина Г.А. и др. // Физиологические проблемы невесомости. Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 49–70.
- [5] Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – Л.: Медицина, 1980. – 461 с.
- [6] Толерантность к физической нагрузке и особенности ее гемодинамического обеспечения у здоровых людей в зависимости от типа гемодинамики / Дзизинский А.А., Черняк Б.А., Куклин С.Г., Федотченков А.А. // Кардиология. – 1984. – № 2. – С. 68–72.
- [7] Исследования сердечно-сосудистой системы / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Алферова И.В. и др. // Результаты медицинских исследований, выполненных на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6–Союз». – М.: Наука, 1986. – С. 89–114.
- [8] Результаты исследования гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла космонавтов в длительных полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Касьян И.И. и др. // Физиологические исследования в невесомости. Под ред. П.В. Симонова, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1983. – С. 82–100.
- [9] Исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы в длительных космических полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Алферова И.В. и др. // Физиологические проблемы невесомости. Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 70–93.
- [10] Изменение состояния вен нижних конечностей в длительных космических полетах / Котовская А.Р., Фомина Г.А., Сальников А.В. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2015. – Т. 49. – № 5. – С. 5–10.
- [11] Котовская А.Р., Фомина Г.А., Сальников А.В. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2015. – Т. 49. – № 5. – С. 5–10.
- [12] Маколкин В.А., Аббакумов С.А. Нейроциркуляторная дистония в терапевтической практике. – М.: Медицина, 1985. – 191 с.
- [13] Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. – М.: Наука, 1981.
- [14] Изменение показателей кровообращения у здоровых лиц при разных уровнях физической нагрузки в зависимости от исходного типа кровообращения / Сидоренко Г.А., Альхимович В.М., Павлова А.И. // Кардиология. – 1984. – № 6. – С. 79–84.
- [15] Реографические исследования в невесомости / Турчанинова В.Ф., Касьян И.И., Домрачева М.В. // Физиологические исследования в невесомости. Под ред. П.В. Симонова, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1983. – С. 100–124.
- [16] Особенности центрального и регионарного кровообращения в кратковременных и длительных космических полетах / Турчанинова В.Ф., Домрачева М.В., Касьян И.И. и др. // Физиологические проблемы невесомости. Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 93–123.
- [17] Реакция сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Голубчикова З.А. // Орбитальная станция «Мир». Гл. ред. А.И. Григорьев / В 2-х т. – 2001. – Т. 1. – С. 282–295.
- [18] Зависимость функционального состояния системы кровообращения от возраста космонавтов по результатам проб с физической нагрузкой на велоэргометре / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Криволапов В.В., Беляев А.П. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2010. – Т. 44. – № 5. – С. 8–13.
- [19] Состояние вен нижних конечностей в кратковременных и длительных космических полетах (по данным окклюзионной плетизмографии) / Фомина Г.А., Котовская А.Р., Таллавинов В.А. и др. // Орбитальная станция «Мир». Гл. ред. А.И. Григорьев / В 2-х т. – 2001. – Т. 2. – С. 510–519.
- [20] Динамика сердечно-сосудистых изменений в различные периоды длительного пребывания человека в невесомости / Фомина Г.А., Котовская А.Р., Темнова Е.В. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2009. – Т. 43. – № 3. – С. 11–16.
- [21] О новом подходе к пониманию гемодинамической нормы / Шхвацабая И.К., Константинова Е.Н., Гундарев И.А. // Кардиология. – 1981. – № 3. – С. 10–14.

## ОБЗОРЫ

## OVERVIEWS

УДК 629.78

### ИННОВАЦИИ В ПРАКТИКЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

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

Проведен обзор инноваций, внедренных в практику подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности. Разработанные решения направлены на улучшение технических средств подготовки космонавтов в части расширения их функциональных возможностей и повышения безопасности проведения тренировок, и на совершенствование учебно-методического и организационного обеспечения подготовки космонавтов.

**Ключевые слова:** инновации, внекорабельная деятельность, скафандр, подготовка космонавтов, антропометрические параметры, тепловой режим, базы данных.

#### **Innovations in the Practice of Cosmonaut Training for Extravehicular Activity. P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy**

The paper reviews innovations introduced in the practice of cosmonaut training for extravehicular activity. The developed solutions are directed at upgrading the technical training facilities related to expanding their functionality and improving the safety of training as well as improving teaching and methodical and organizational provision of cosmonaut training.

**Keywords:** innovations, extravehicular activity, space suits, anthropometric data, thermal conditions, data bases.

Работа космонавтов в открытом космосе – внекорабельная деятельность (ВКД) – является одной из наиболее сложных, напряженных, связанных с повышенным риском полетных операций. Для подготовки к выполнению данной полетной операции предусмотрен специальный вид подготовки космонавтов – подготовка космонавтов к ВКД. Высокая значимость ВКД в системе развертывания и эксплуатации космических комплексов определяет соответствующие высокие требования к процессу и средствам подготовки космонавтов. Практическая отработка навыков выполнения работ по шлюзованию, операциям ВКД, управлению системами скафандра проводится методом тренировок в условиях моделированной невесомости с использованием таких технических средств подготовки космонавтов, как тренажер «Выход-2» и гидролаборатория (ГЛ). В процессе проводимых занятий и тренировок специалисты Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина разрабатывают предложения, которые позволяют улучшить различные аспекты подготовки космонавтов, совершенствовать применяемое оборудование, сокращать трудоемкость выполняемых работ. Значительная часть этих предложений материализуется и находит применение в практике подготовки космонавтов. В соответствии с определением [1], что «инновации – это введенный в употребление новый или значительно улучшенный продукт (товар, услуга) или процесс, новый метод продаж или новый



организационный метод в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях», данные предложения можно рассматривать как инновационные.

В работе [2] отмечено, что «Инновации используются как для улучшения технических средств подготовки космонавтов в части расширения их функциональных возможностей и повышения безопасности проведения тренировок, так и для совершенствования учебно-методического и организационного обеспечения подготовки к ВКД и являются составной частью системной работы создания и внедрения инновационных технологий в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

В статье рассмотрен ряд инноваций, внедренных в практику подготовки космонавтов к деятельности в открытом космосе.

### **Система освещения и видеорегистрации скафандра для тренировок космонавтов в гидросреде**

При проведении тренировок по ВКД космонавт размещается в скафандре и погружается под воду в резервуаре гидролаборатории для выполнения операций в соответствии с утвержденной циклограммой. Освещение макетов космических объектов, размещенных в резервуаре, осуществляется через иллюминаторы с помощью прожекторов, расположенных с наружной стороны резервуара, и потолочными светильниками. При этом отдельные части макетов (особенно внутренние) могут иметь недостаточное освещение и затемнение поверхности, что затрудняет проведение тренировок космонавтов с необходимым качеством. Видеорегистрация процесса тренировки осуществляется водолазом, находящимся в резервуаре ГЛ, посредством переносной видео- и фотокамер. При этом видеооператор должен фиксировать общий план проведения тренировки, а также рабочую зону деятельности космонавта. Вследствие этого, видеорегистрация рабочей зоны деятельности космонавта осуществляется не в полном объеме, а для оценки точности и качества выполнения операций внекорабельной деятельности необходимо иметь полную информацию. Существовавшие скафандры для тренировок космонавтов в гидросреде имели ограниченные функциональные возможности, не позволяли обеспечить контроль качества деятельности космонавтов при недостаточной освещенности рабочей зоны космонавта.

Для проведения тренировок космонавтов к ВКД с высоким качеством и эффективностью необходимо было расширить функциональные возможности скафандра, создать условия освещенности рабочей зоны оператора, позволяющие осуществлять контроль точности и качества деятельности космонавта. С этой целью было разработано техническое решение, получен патент на полезную модель «Система освещения и видеорегистрации скафандра для тренировок космонавтов в гидросреде» [3] и выполнена модернизация существующего скафандра (рис. 1).

Для достижения поставленной цели на скафандр были установлены видеокамера и светильник, закрепленные на боковых поверхностях кожуха с иллюминатором, связанных через кабель-фал с блоком питания, видеорегистратором, монитором и пультом управления. Информационный выход видеокамеры посредством видеокабеля подключен к входу видеорегистратора, выход которого связан с входом монитора. Электрическое питание на видеорегистратор и монитор подается автономно, а включение и выключение осуществляются с помощью органов управления, расположенных на этих приборах.

Применение разработанной системы позволило расширить функциональные возможности скафандра для тренировок космонавтов к выходу в космическое

пространство за счет возможности проведения тренировок в условиях гидросреды при недостаточной освещенности макетов космических объектов, а также возможности видеорегистрации и телетрансляции деятельности оператора для последующей ее оценки. Система позволяет обеспечить комфортные условия работы космонавта за счет улучшения освещенности рабочей зоны и возможности фиксации процесса выполнения всех операций с помощью видеокамеры, что расширяет функциональные возможности скафандра.



Рис.1. Модернизированный скафандр для тренировок космонавтов в гидросреде

Применение предлагаемой системы освещения и видеорегистрации скафандра для тренировок космонавтов в гидросреде позволяет осуществлять контроль точности и качества деятельности космонавта в процессе тренировки, что повышает качество и эффективность подготовки космонавтов к выполнению операций внекорабельной деятельности в процессе тренировок в скафандрах в ГЛ.

### **Устройство для измерения антропометрических параметров космонавтов**

Скафандры для осуществления внекорабельной деятельности типа «Орлан» имеют одинаковый размер кирасы с гермошлемом, однако длина штанин и рукавов регулируется в зависимости от индивидуальных антропометрических параметров каждого космонавта. С течением времени индивидуальные антропометрические параметры космонавтов могут изменяться. Для обеспечения космонавтам комфортных условий в процессе тренировок в скафандрах в гидросреде необходимо тщательно осуществлять подгонку скафандра под индивидуальные антропометрические параметры конкретного космонавта. Для качественной индивидуальной подгонки скафандра космонавта необходимо знать рост человека, длину туловища, ног, рук и предплечий. Поэтому существует задача оперативного измерения данных параметров и подгонка параметров скафандра под конкретного космонавта. Используемые средства измерения медицинский ростомер в совокупности с рулетками и линейками были неудобны в работе, процесс измерений занимал много времени. Анализ возможных путей решения данной задачи показал, что

возможно создание устройства на основе медицинского ростомера, позволяющего выполнять все необходимые измерения без привлечения дополнительных средств, что приведет к сокращению времени на проведение требуемых измерений. Было разработано техническое решение, на которое получен патент на полезную модель «Устройство для измерения антропометрических параметров космонавтов» [4]. На основе данного технического решения было изготовлено соответствующее устройство, которое позволяет получить все необходимые антропометрические параметры конкретного космонавта, а также разработана методика проведения измерений.

Основным элементом устройства для измерения антропометрических параметров космонавтов является основание, с установленной на нем вертикальной стойкой с измерительной шкалой и двумя измерительными планками. Имеются также правая и левая горизонтальные планки с измерительными шкалами, на которых размещены правая и левая поперечные планки с измерительными шкалами.

Разработанное устройство позволяет получить все необходимые антропометрические параметры космонавта для осуществления подгонки скафандра. Устройство сокращает сроки проведения измерений, повышает точность определения требуемых параметров космонавта, позволяет фиксировать динамику изменения антропометрических параметров конкретных космонавтов и имеет расширенные функциональные возможности.

Применение разработанного устройства позволило качественно и быстро осуществлять подгонку скафандров, предназначенных для работы в условиях гидросреды, под индивидуальные антропометрические параметры конкретного космонавта и создавать комфортные условия в процессе тренировок в скафандрах в гидросреде в наземных условиях.

### **Система мониторинга теплового режима в скафандре**

Работа космонавта под водой в скафандре на тренировках в ГЛ при подготовке к ВКД связана с большими энергозатратами и соответствующим выделением тепла организмом. Сохранение теплового баланса тела космонавта обеспечивается принудительной вентиляцией подскафандрового пространства воздухом и охлаждением тела водой, протекающей по трубкам костюма водяного охлаждения (КВО). Воздух для вентиляции и вода для охлаждения подаются в скафандр от стационарной системы вентиляции и охлаждения спецнаряжения. При проведении тренировок космонавтов в ГЛ для контроля и регистрации физиологических показателей и технических параметров используются телеметрические комплексы.

Для оперативного контроля соответствия величины отвода тепла из подскафандрового пространства величине тепла, выделенного организмом космонавта, используются расчетные значения энергозатрат космонавта и количества тепла, отведенного из скафандра.

В ходе тренировок в скафандрах в гидросреде осуществляется постоянный контроль теплового состояния космонавтов. Для этого измеряются значения температур на входах и выходах контуров воздушного и водяного охлаждения. По изменению температуры воды вычисляют значения количества тепла, отводимого из скафандра водой, проходящей через КВО. Измеряя концентрацию углекислого газа на выходе из скафандра, определяют величину энергозатрат космонавта. По соотношению данных параметров в ходе тренировки принимают решение об изменении параметров охлаждения в контуре водяного охлаждения. Анализ

применяемых алгоритмов расчета этих параметров показал, что при определении количества тепла, отводимого из СК, не учитывается тепло, отводимое вентилирующим воздухом и испарением пота (потоотделением). С целью определения возможности дополнительной регистрации тепловых потоков в канале вентилирующего воздуха, обусловленных изменением температуры и влажности воздуха, разработана методика [5], для реализации которой было разработано техническое решение, получен патент на полезную модель «Система мониторинга теплового режима в скафандре» и выполнено изготовление соответствующей системы [6].

Результаты использования разработанных решений и реализованной системы на одной из тренировок космонавтов в ГЛ представлены на рисунках 2 и 3. В ходе проведения этой тренировки космонавт выполнял типовые операции ВКД на макетах модулей российского сегмента МКС.

На рисунке 2 показано изменение значений температур воды и воздуха, относительной влажности воздуха на входе и выходе СК. Температура воды на входе и выходе КВО ( $T_{вд\_вх}$ ,  $T_{вд\_вых}$ ) определяется, главным образом, положением рукоятки крана на СК, регулирующего охлаждение водой. При этом ступенчатое изменение линий температуры воды соответствует моментам перемещения оператором рукоятки этого крана для обеспечения комфортных тепловых условий, соответствующих тяжести выполняемой работы. Волнистое изменение этих линий (в пределах до одного градуса) определяется особенностью устройства автоматического регулирования блоков охлаждения воды в ССВОС.

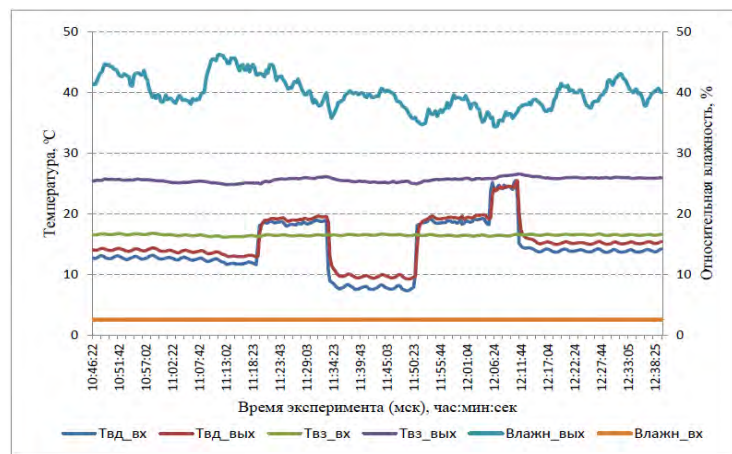


Рис. 2. Измеренные значения температур воды и воздуха, относительной влажности воздуха на входе и выходе СК

Кроме того, после изменения положения рукоятки крана имеет место переходный процесс, когда измеренная температура воды на входе КВО оказывается больше или равной температуре воды на выходе, определяемый временем прохода воды по трубкам КВО и водо-водяного теплообменника СК. Наблюдается достаточно стабильная разность температур воздуха на входе и выходе из СК ( $T_{вз\_вх}$ ,  $T_{вз\_вых}$ ). Значение относительной влажности воздуха на выходе из СК определяется интенсивностью работы оператора и соответствующим потоот-

делением его тела, а на входе в СК является практически постоянной, так как заранее подготовленный воздух поступает из группы баллонов.

На диаграмме, изображенной на рисунке 3, представлены результаты расчетов в виде диаграммы нормированных значений «мгновенных» значений отвода тепла водой ( $Q_{вд}$ ), потоотделением ( $Q_{пт}$ ) и воздухом ( $Q_{вз}$ ).

Данная диаграмма демонстрирует результат повышения точности расчета отвода тепла из СК за счет учета количества тепла, отводимого из скафандра нагревом вентилирующего воздуха и потоотделением. Так, если на участках, соответствующих подаче более холодной воды на вход КВО, суммарный вклад в отвод тепла воздухом и потоотделением составлял 15–30 %, то при повышении температуры воды этот показатель достигал 40 % и более.

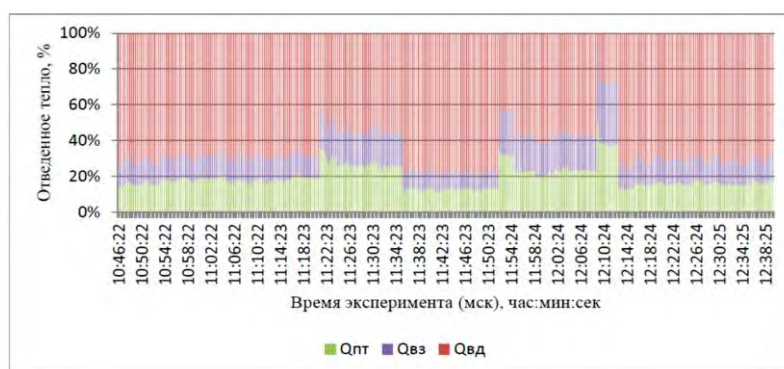


Рис. 3. Результаты расчета «мгновенных» нормированных значений отвода тепла

Применение разработанной системы позволило повысить точность определения теплосъема из скафандра и тепловыделения космонавтов в процессе тренировок в наземных условиях, обеспечило повышение качества контроля тепловых режимов и комфортности работы космонавтов в скафандре.

### Подход к оцениванию качества деятельности космонавтов в гидросреде

Деятельность космонавтов в процессе тренировок в гидролаборатории должна быть оценена объективно и количественно, что позволит решать такие задачи как определение обученности космонавтов, ранжирование космонавтов по степени годности к выполнению задач ВКД, изменение навыков после завершения тренировок.

Проведенный анализ деятельности космонавтов в гидросреде показал, что качество данной деятельности может быть охарактеризовано показателями, учитывающими качество выполнения работы и функциональное состояние космонавта при выполнении работы.

В процессе тренировки в условиях гидросреды космонавт выполняет операции ВКД в соответствии с циклограммой. Циклограмма предварительно отрабатывается в процессе нескольких испытаний и отражает резервы времени, отводимые экипажу на выполнение конкретной операции циклограммы. При условии достаточной подготовленности космонавта, знание им используемого оборудования, снаряжения и методики выполнения работ, время, отводимое на выполнение операции, позволяет космонавту без перенапряжения своих функциональных ре-

зервов выполнить данную операцию. Однако из-за различных факторов операция выполняется с опережением или отставанием от предлагаемого графика работы. Отклонение времени выполнения космонавтом операции ВКД от запланированного времени по циклограмме характеризует качество подготовленности и деятельности космонавта в гидросреде.

Работа в скафандре в гидроневесомости относится к тяжелой работе, продолжительность которой составляет около 4 часов, и требует от космонавта больших физических и психофизиологических затрат. Контроль функционального состояния космонавтов является необходимым и обязательным условием проведения каждой тренировочной работы в гидросреде. Такие показатели, как частота сердечных сокращений, заушная температура и частота дыхания позволяют контролировать функциональное состояние космонавта в режиме реального времени, а значения энерготрат служат информацией, позволяющей объективно оценить степень тяжести как отдельной выполняемой операции, так и циклограммы в целом.

Для расчета показателей качества деятельности и функционального состояния космонавта, снаряженного в скафандр и выполняющего операции циклограммы в гидросреде, разработано прикладное программное обеспечение, реализованное в телеметрическом комплексе гидролаборатории с интегрированной в его состав системой объективного контроля. Данные программно-аппаратные средства позволяют получить значения показателей функционального состояния и времени выполнения операций циклограммы ВКД [7].

Для обеспечения возможности применения данных показателей для оценивания качества деятельности космонавтов и их состояния при выполнении работ в гидросреде необходимо было определить границы различных функциональных состояний и границы качества выполнения различных операций в процессе ВКД. Сравнение измеренных значений показателей с граничными значениями позволяет получить оценку качества деятельности космонавтов и их функционального состояния при выполнении задач ВКД.

Проведенный анализ и статистическая обработка результатов выполнения типовых операций, энерготрат и показателей психофизиологического состояния космонавтов в процессе тренировок в гидросреде позволили определить основные статистические характеристики качества деятельности космонавтов. Определено, что распределение нормированных значений времени выполнения типовых операций подчиняется нормальному закону распределения. Для нормального закона распределения времени выполнения операций определены основные статистические характеристики – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, которые положены в основу оценки качества деятельности космонавтов в процессе тренировок в гидросреде. Определены статистические характеристики границ оценок энерготрат и показателей функционального состояния космонавтов, которые позволяют по измеряемым в процессе тренировок данным проводить количественную оценку качества деятельности космонавта и его состояние.

Результаты работы имеют важное прикладное значение, т.к. полученные значения границ оценок качества деятельности и функционального состояния космонавтов позволяют проводить количественную объективную оценку качества деятельности космонавтов в процессе тренировок в гидросреде. Новый подход в оценке качества подготовки к внекорабельной деятельности проходит апробацию и будет использован при разработке соответствующей методики оценки.

### База данных по инструменту

В процессе ВКД космонавтам необходимы знания, умения и навыки выполнять большое количество сборочно-монтажных и ремонтных работ с применением специально разработанных для работы в скафандре инструментов, приспособлений и устройств. Анализ процесса обучения по инструменту для ВКД показал, что целесообразно всю информацию по инструменту систематизировать и представить в виде базы данных. Проведена работа по определению вида базы данных, определению рационального объема информации о каждом инструменте и разработана форма представления информации. В результате данной работы была сформирована и используется на всех этапах подготовки космонавтов база данных «Технические средства, обеспечивающие выполнение работ по внекорабельной деятельности на российском сегменте Международной космической станции. Основные инструменты и приспособления общего и специального назначения, применяемые при внекорабельной деятельности» [8, 9].

База данных содержит информацию о технических средствах, инструментах, приспособлениях общего и специального назначения, применяемых при выполнении работ внекорабельной деятельности на российском сегменте Международной космической станции. Организация базы данных позволяет добавлять, удалять, редактировать записи. Структура базы данных представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Структура базы данных «Технические средства, обеспечивающие выполнение работ по ВКД ...»

База данных имеет три основных раздела:

1. Грузовые стрелы.
2. Средства фиксации и страховки.
3. Инструменты и приспособления.

В разделе «Грузовые стрелы» представлена информация о грузовой стреле ГСт-М, а также о других приспособлениях, связанных с функционированием стрелы.

В разделе «Средства фиксации и страховки» представлены: трассы поручней; площадка «Якорь»; магнитно-механический замок; страховочные фалы; универсальный страховочный фал (американский инструмент); транспортировочный фал; страховочный фал переменной длины; выносное рабочее место.

Раздел «Инструмент и приспособления» имеет два подраздела: российский инструмент; американский инструмент.

В подразделе «Российский инструмент» представлен инструмент, имеющийся на российском сегменте МКС: резак; кусачки для снятия контровки (динозаврики); нож-пила; молоток безреактивный; набор для резьбовых соединений с укладкой; инструмент ударный с держателем; рукоятка для инструмента; фал транспортировочный; отвертка; бандаж; ножницы для резки ЭВТИ; плоскогубцы и кусачки рычажные; манжета; проволочный фиксатор; контейнер переносной универсальный (КПУ).

В подразделе «Американский инструмент» представлен инструмент, имеющийся на американском сегменте МКС: страховочный фал (лебедка); адаптер ОТА; поворотный кронштейн; фал переменной длины (фал с подтягом); втягиваемый фал (RET); сумка для инструмента; держатель для инструмента; промежуточный поручень.

Информация по каждому объекту включает: название, фотографию или схему, назначение, составные части, правила эксплуатации.

Разработанная база данных применяется в процессе проведения теоретических и практических занятий с космонавтами при подготовке к внекорабельной деятельности, а также в процессе самоподготовки. Более наглядное, систематизированное описание инструмента и приспособлений позволило повысить уровень подготовки космонавтов по данному направлению подготовки.

### **База данных и программа для ЭВМ по учету занятий**

При планировании подготовки космонавтов на тренажерных средствах необходимо учитывать результаты ранее проведенных этапов обучения космонавтов. На основе данных об опыте космонавтов, количестве, темах, результатах и сроках проведенных занятий, формируются программы подготовки на планируемый период. Процесс формирования программ является затратным по времени из-за возникающих проблем, связанных с поиском требуемой информации об опыте подготовки космонавтов. Анализ возможных направлений совершенствования этого процесса показал, что сбор и централизованное хранение информации позволят сократить временные затраты на планирование подготовки космонавтов и составление отчетов о проведенных занятиях.

Для решения этой задачи разработана база данных «Учет проведенных занятий по шлюзованию и скафандрам для выхода в открытый космос».

База данных [10] предназначена для хранения и обработки информации о дате, месте, продолжительности, типе, теме и содержании занятия; инструкторе, проводящем занятие; отчетных документах (номера протоколов, программ проведения); космонавтах, этапах их подготовки; замечаниях по результатам проведенного занятия.

База данных содержит информацию обо всех проведенных занятиях с 1998 года по теме «Комплекс средств шлюзования российского сегмента МКС и скафандр для выхода в открытый космос». Организация базы данных позволяет добавлять, удалять, редактировать записи. С помощью запросов формируются выборки данных по следующим показателям: период времени, подготовка на тренажерах, подготовка отдельного космонавта, подготовка экипажа, сумма часов по видам занятий, занятость инструкторов.



База данных имеет три основных раздела:

1. Данные о космонавтах и астронавтах, проходивших обучение по теме «Комплекс средств шлюзования российского сегмента МКС и скафандр для выхода в открытый космос «Орлан-МК»;

2. Данные о занятии (тип и тема занятия, место и время проведения, особенности, итоги, отчетные документы);

3. Данные об инструкторе (инструкторах), проводивших занятие.

Внутренняя структура базы данных представлена реляционными таблицами, в которых хранится информация. Все таблицы отвечают требованиям сохранения состава функциональных связей и отсутствия потерь информации. В предлагаемой базе данных используются следующие таблицы:

- операторы – OPERATORS (ФИО, сокращение, страна, фото, примечание);
- занятия – TRAINING (тип занятия, дата, место и продолжительность проведения, используемые ТСПК, примечание);
- инструкторы – INSTRUCTORS (Ф.И.О., примечание);
- этапы подготовки – LEVELS (этап, экспедиция, примечание);
- темы занятия – TOPICS (наименование, тип и цель занятия);
- протоколы – PROTOCOLS (номер и дата протокола).

Для каждой таблицы задан первичный ключ, обеспечивающий уникальность каждой записи. Между всеми таблицами базы данных заданы связи с помощью внешних ключей, что позволяет обеспечить целостность данных. Структура базы данных представлена на рисунке 5.

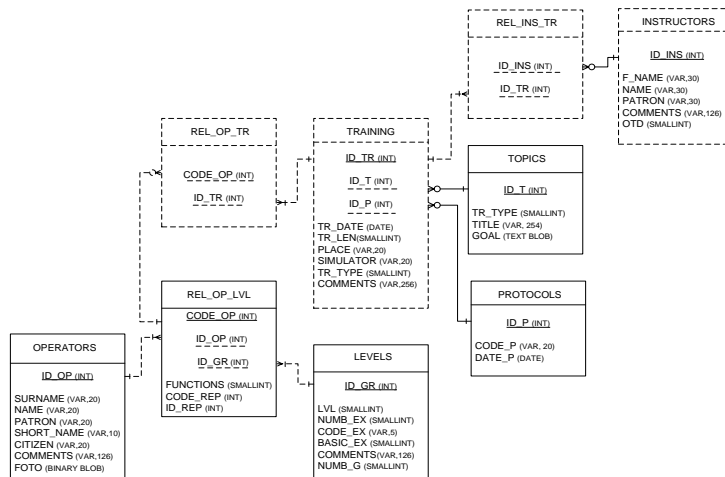


Рис. 5. Структура базы данных «Комплекс средств шлюзования российского сегмента МКС и скафандр для выхода в открытый космос»

Организация базы данных позволяет с помощью SQL запросов получить выборки данных о космонавтах, о подготовке отдельного космонавта или нескольких космонавтов в составе экипажа, о загруженности тренажных средств, занятости инструкторов за любой период времени.

Пользователь работает с базой данных через специализированную программу управления базой данных [11], позволяющую просматривать, редактировать, удалять и вносить новые записи.

Для удобства работы в программе имеется несколько окон для пользователя.

Главное окно – позволяет просматривать информацию о проведенных занятиях, редактировать, удалять и добавлять новые записи.

Окно «Операторы и экипажи» – представляет информацию о космонавтах и астронавтах, проходивших подготовку по теме «Комплекс средств шлюзования РС МКС и скафандр для выхода в открытый космос «Орлан-МК», и об их участии в составе экипажей.

Окно «Темы занятий» – представляет информацию о всех видах и содержании занятий по теме «Комплекс средств шлюзования РС МКС и скафандр для выхода в открытый космос «Орлан-МК».

Окно «Документы для печати» – позволяет сформировать документ заданного содержания в формате MS Excel для печати.

Разработанные База данных и Программа управления используются для сбора и систематизации сведений о проведенной подготовке космонавтов по тематике ВКД. Применение базы данных позволило сократить временные затраты на разработку текущих и перспективных планов и программ подготовки космонавтов, а также на составление отчетных документов по всем проведенным занятиям.

### Заключение

Обзор инноваций в процессе подготовки космонавтов к ВКД показывает, что научные сотрудники, инженерно-технический персонал и методисты, проводящие подготовку космонавтов, творчески подходят к выполнению поставленных задач и постоянно работают над усовершенствованием технической базы подготовки и учебно-методической документации. Практически по всем аспектам подготовки – техническим, методическим, организационным – можно выявить проблемные вопросы и найти пути их решения, повышающие эффективность подготовки космонавтов по такому сложному виду деятельности, как подготовка космонавтов к внекорабельной деятельности. Проводимая работа по совершенствованию процесса подготовки является перманентной и можно ожидать разработки и внедрения новых инноваций.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] О науке и государственной научно-технической политике: Федеральный закон от 23.08.1996 N 127-ФЗ (ред. от 23.05.2016).
- [2] Лончаков Ю.В. Центр подготовки космонавтов на пути инновационного развития (к 55-летию НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина) // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 1(14). – С. 4–22.
- [3] Система освещения и видеорегистрации скафандра для тренировок космонавтов в гидросреде. [Текст]; пат. 144747 Рос. Федерация, МПК В64G7/00. / Алтунин А.А., Бачмановский Н.А., Брель О.А., Верба Д.И., Харлашкин С.Н., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2014112647/11; заявл. 02.04.14; опубл. 27.08.14, Бюл. № 24. – 2 с.: ил.
- [4] Устройство для измерения антропометрических параметров космонавтов. [Текст]; пат. 137458 Рос. Федерация, МПК А61В 5/107. / Брель О.А., Верба Д.И., Коренной В.С., Пешков А.В., Харлашкин С.Н., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2013144558/14; заявл. 04.10.13; опубл. 20.03.14, Бюл. № 5. – 2 с.: ил.
- [5] Исследование возможности повышения точности расчета отвода тепла из скафандра при тренировках космонавтов в гидроработории / Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Галкина И.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 2 (4). – С. 67–73.

- [6] Система мониторинга теплового режима в скафандре. [Текст]; пат. 124794 Рос. Федерация, МПК G09B 9/00. / Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Галкина И.В., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2012129195/28; заявл. 11.07.12; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4. – 2 с.: ил.
- [7] Определение граничных значений оценок качества деятельности космонавтов и их функционального состояния при проведении тренировок в гидросреде / Долгов П.П., Галкина И.В., Иродов Е.Ю., Петрова Н.Г. // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1 (1). – С. 99–103.
- [8] Технические средства, обеспечивающие выполнение работ по внекорабельной деятельности на российском сегменте Международной космической станции. Основные инструменты и приспособления общего и специального назначения, применяемые при внекорабельной деятельности. [Текст]; база данных 2014620446 Рос. Федерация, Брель О.А., Верба Д.И., Зайцев М.А., Коренной В.С., Несмеянов В.В., Харлашкин С.Н., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2013621499; заявл. 14.11.13; опубл. 20.04.2014. Бюл. № 4(90) 2014 – 1 с.
- [9] База данных «Технические средства, обеспечивающие выполнение работ по ВКД на РС МКС. Основные инструменты и приспособления общего и специального назначения, применяемые при ВКД» деятельности / В.С. Коренной и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 2(15). – С. 129–132.
- [10] Учет проведенных занятий по шлюзованию и скафандрам для выхода в открытый космос. [Текст]; база данных 2013621390 Рос. Федерация, Киреева Е.С., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2013620762; заявл. 04.07.13; опубл. 20.12.2013. Бюл. № 12(86) 2013 – 1 с.
- [11] Программа для работы с базой данных «Учет проведенных занятий по шлюзованию и скафандрам для выхода в открытый космос». [Текст]; программа для ЭВМ 2014660348 Рос. Федерация, Киреева Е.С., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2014617030; заявл. 18.07.14; зарегистрировано 06.10.14, опубл. 20.11.2014. Бюл. № 11(97) 2014 – 1 с.

# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.78

### ДВОЙНОЙ ПОРТРЕТ: Г.Ю. ОБЕРТ И Б.В. РАУШЕНБАХ Ю.М. Батурин, Б.И. Крючков

Чл.-корр. РАН, докт. юридических наук, летчик-космонавт РФ Ю.М. Батурин (ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН);  
Докт. техн. наук Б.И. Крючков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Г.Ю. Оберт и Б.В. Раушенбах – выдающиеся ученые, стоявшие у истоков развития космонавтики. Оба – незаурядные, даже уникальные личности. Они были «иностранцами» в своих странах и принесли им славу вопреки трудным личным судьбам. Оберт и Раушенбах – люди, прошедшие общие ступени в развитии ракетной техники, очень похожие, несмотря на разницу в возрасте. Они привлекают к себе внимание своей нестандартностью мышления, высоким духовным обликом и богатым опытом жизни.

**Ключевые слова:** космонавтика, ракетная техника, ученые, космонавты, история культуры, религия, стиль мышления, мировоззрение ученых.

#### **Double Portrait: Hermann Yu. Oberth and Boris V. Rauschenbach. Yu.M. Baturin, B.I. Kryuchkov**

Hermann Oberth and Boris Rauschenbach are the outstanding scientists and founding fathers of astronautics. Both were the exceptional and even unique personalities. Both were “foreigners” in their homeland, but brought glory to native countries notwithstanding the hard personal fate. Oberth and Rauschenbach passed the same general steps in the development of rocket engineering, they were innovative thinkers and were similar in many respects in spite of the difference in age. Their fresh thinking, high spirit, and rich life experience attract great attention to them.

**Keywords:** astronautics, rocket engineering, scientists, cosmonauts, cultural history, religion, thinking style, worldview of scientists.

#### **Герман Оберт – один из пионеров ракетной техники и космонавтики**

Герман Юлиус Оберт родился в 1894 году. Он не просто выдающийся немецкий ученый в области ракетной техники и космонавтики, он – один из ее пионеров (рис. 1).

С 1912 года Оберт изучал в университетах Германии физику, математику, астрономию, медицину. Уже в университетские годы заинтересовался идеей космических полетов и стал создавать проекты ракетных летательных аппаратов на твердом топливе. Был одним из основателей «Общества межпланетных сообщений» («Verein für Raumschiffahrt» – VfR), консультантом нашумевшего в двадцатые годы фильма «Женщина на Луне».

По мнению Б.В. Раушенбаха, Оберт входит в шестерку тех ученых и инженеров, в чьих работах впервые и наиболее полно были определены пути осуществления полета человека в космос. В составе этой шестерки, кроме Г. Оберта, – К.Э. Циолковский, Ф.А. Цандер, Ю.В. Кондратьев, Р. Эсно-Пельтри и Р. Годдард.

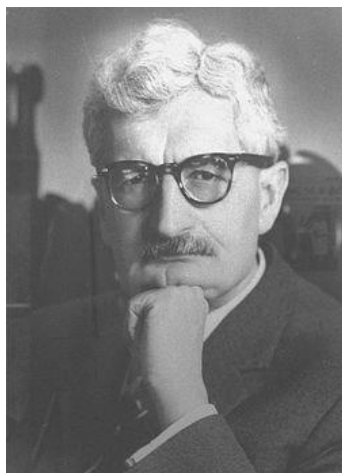


Рис. 1. Герман Оберт  
(25.06.1894–28.12.1989 гг.)

Свой главный труд – книгу «Ракета для межпланетного пространства» (Die Rakete zu den Planetenräumen) он выпустил в 1923 году [1]. Оберту тогда было всего 28 лет. В этой работе ученый изложил фундаментальные положения о возможности создания ракет на жидком топливе, движении космических объектов в вакууме, в том числе на орбитах вокруг Земли. Одним из важнейших результатов его работы было доказательство возможности безопасного полета человека в космос уже в ближайшие десятилетия.

В деле создания ракетной техники Оберт не был первым, но его вклад был достаточно существенным. Свою роль он оценивал следующим образом:

«Моя заслуга состоит в том, что я теоретически обосновал возможность полета человека на ракете... То, что в противоположность авиации, ставшей прыжком в неизвестное, где техника пило-

тирования отрабатывалась со многими жертвами, полеты на ракете оказались менее трагичными, объясняется тем, что основные опасности были предсказаны и найдены способы их устранения. Практическая космонавтика стала лишь подтверждением теории. И в этом заключается мой главный вклад в освоение Космоса».

Книга Оберта обобщала проведенные им ранее работы и заканчивалась следующими тезисами:

1. При современном состоянии науки и техники возможно создание аппарата, который может выйти за пределы земной атмосферы.
2. В дальнейшем подобные устройства смогут развивать такую скорость, что вместо падения на Землю войдут в межпланетное пространство, преодолев земное притяжение.
3. Имеется возможность создать космические аппараты, которые смогут выполнить подобные задачи, имея на своем борту человека, вероятно без серьезного ущерба его здоровью.
4. При определенных условиях создание таких устройств сможет стать вполне целесообразным. Такие условия могут возникнуть в ближайшие десятилетия.

Работа Оберта стала первой в мировой научной литературе, в которой обосновывалась с необходимой точностью и полнотой возможность создания ракеты на жидком топливе. Один из сотрудников Вернера фон Брауна, впоследствии уехавших с ним в США, известный ученый Краффт Эрике писал: «Идеи Оберта относительно высотной кислородно-спиртовой ракеты в дальнейшем значительно повлияли на развитие первого большого ракетного управляемого снаряда Фау-2» [2].

Оберт относится к выдающимся теоретикам астронавтики. Его работы характеризуются широтой исследований, которые охватывают почти всю область ракетных и космических полетов. Он определил оптимальные скорости подъема ракеты в атмосфере, рассмотрел принципы управления ракетой и входа в атмосферу с учетом аэродинамического нагрева, изучал энергетику ракет, движение крылатых ракет, исследовал проблемы конструкции, вопросы применения ракетных двигателей. Наряду с этим он уделял значительное внимание вопросам безопасности полетов человека в космос – влиянию радиации, невесомости, метеоритов, температурных условий.

### **Борис Раушенбах – краткий очерк вклада в науку и практическую космонавтику**

В 1955–1959 годах Раушенбах (рис. 2) по заказам С.П. Королёва выполнил пионерские работы в области исследования проблем ориентации космических аппаратов, их движения в мире, лишенном тяжести. В 1960 году он получил Ленинскую премию за уникальную работу по фотографированию обратной стороны Луны (космический аппарат «Луна-3»). Менее чем за десять лет под его руководством были созданы также системы ориентации и коррекции полета межпланетных автоматических станций «Марс», «Венера», «Зонд», спутников связи «Молния», а также системы автоматического и ручного управления космическими кораблями, пилотируемыми человеком.

Сфера творческих интересов Б.В. Раушенбаха была весьма обширной. Он возглавлял кафедру теоретической механики Московского физико-технического института; выступал с лекциями в университетах Америки и Европы; руководил Конгрессом российских немцев; писал фундаментальные труды о системах перспективы в изобразительном искусстве; размышлял в своих книгах о догмате Троицы, Крещении Руси, о преподобном Андрее Рублеве, творчестве Гете, о китайской модели экономического развития, о человеке и государстве, науке и религии ... Иногда его называли последним энциклопедистом.

В 1960 году Раушенбах принимал деятельное участие в подготовке первого полета человека в космос. Главный научный сотрудник НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина В.И. Ярополов – участник запуска Ю.А. Гагарина в космос, рассказывал, что Б.В. Раушенбах уделял большое внимание предстартовой подготовке корабля на Байконуре. В своих воспоминаниях о подготовке первого полета человека в космос Ярополов детально останавливается на системах ориентации и посадки «Востока» – автоматической и ручной, и еще одной оригинальной схеме, резервной, придуманной Раушенбахом. Он пишет: «Наконец, в крайнем случае, для ориентации корабля можно было применить, используя Солнце, так называемую «палочку Раушенбаха», установленную на одном из иллюминаторов. Такое название этот датчик получил по имени его автора – академика Бориса Викторовича Раушенбаха» [3].

Возможно программа «Луна-3» и вклад в нее Раушенбаха еще не оценены в достаточной степени. По сути, полет этого автоматического космического аппарата стал началом изучения планет космическими средствами, началом внеатмосферной астрономии, первым случаем управления движением в космическом пространстве [4].

Он входил в первую когорту преподавателей космонавтов (рис. 3). Первый начальник ЦПК Е.А. Карпов вспоминал: «Среди первых учителей космонавтов по российской технике и небесной механике полета были ... К.Д. Бушуев, Б.В. Раушенбах, проф. М.К. Тихонравов, к.т.н. Ц.В. Соловьев, К.П. Феоктистов, а



Рис. 2. Б.В. Раушенбах  
(18.01.1915–27.03.2001 гг.)



Рис. 3. Участники первой группы учителей космонавтов

также в ту пору молодые инженеры – сотрудники ОКБ С.П. Королёва: О.Г. Макаров, В.И. Севастьянов, А.С. Елисеев».

В 1966 году Борис Викторович был избран членом-корреспондентом, а в 1986 году – действительным членом Академии наук СССР.

Б.В. Раушенбах любил решать принципиально новые задачи, которыми в мире занимались не более полутора десятков человек.

### **Борис Раушенбах, Мстислав Келдыш и Сергей Королёв**

Предки Бориса Викторовича Раушенбаха приехали в Россию из Германии в 1766 году по приглашению Екатерины II. Сам он родился в 1915 году в Петрограде. Его ближайшие предки вышли из поволжских немцев. Отец уезжал в Германию получать образование, а затем работал мастером на обувной фабрике «Скороход», а с 1918 года техническим руководителем производства. Мать происходила из прибалтийских немцев, родилась в Эстонии, была домохозяйкой.

Свою трудовую деятельность Борис Раушенбах начал в 1931 году на Ленинградском заводе № 23 рабочим. В 1932 году поступил в Ленинградский институт инженеров гражданского воздушного флота. Окончив его в 1937 году, Б.В. Раушенбах пришел инженером в НИИ № 3 Наркомата боеприпасов. Дипломный проект «Продольная динамическая устойчивость самолета» защитил на отлично позже, в 1938 году, получив квалификацию инженера-механика по специальности «Техническая эксплуатация самолетов и моторов» [5].

Б.В. Раушенбах увлекался созданием планеров. В 1935 году московский журнал «Самолет» писал: «Ленинградский конструктор, комсомолец товарищ Раушенбах сконструировал новый планер «Чайка» для рекордных полетов на дальние расстояния» [6]. Именно на этом поприще впервые он познакомился с С.П. Королёвым в Крыму в районе Коктебеля.

Вот как вспоминал об этом сам Б.В. Раушенбах: «...на слете в Крыму я познакомился с **серьезными учеными** из Москвы, которые занимались летательной техникой, в частности, познакомился с **Королёвым**, не предполагая, что впоследствии буду с ним работать...».

Обратим внимание на эти слова, где Раушенбах без сомнения относит Королёва к ученым. Вот еще одна фраза Раушенбаха о Королёве как ученом.

«Любую **научную проблему** Сергей Павлович решал со свойственной ему широтой». [13] В то же время, как бы противореча самому себе, в книге об Оберте Раушенбах пишет, что не считает Королёва «выдающимся инженером и ученым... Королёву лично не принадлежит ни одного какого-либо особенно интересного конструктивного решения...», что характерно для выдающихся инженеров. Не был он и ученым в обычном смысле этого слова – в науке нет ни одной теории или теоремы Королёва...», уникальные способности Королёва он характеризовал одним словом – «полководец».

Однако, если мы обратимся к известным словарям русского языка (С.И. Ожегова или Д.Н. Ушакова, или словарю Института русского языка АН СССР (1988 г., IV т.), то увидим, что приведенным там определениям слова «ученый» С.П. Королёв соответствует на 100 %. Более того, многие энциклопедии и другие источники называют Королёва выдающимся человеком, гармонично сочетающим в себе качества «ученого, конструктора и организатора производства ракетно-космической техники». Иными словами, он и ученый, и конструктор, и «полководец»! Не ясно, почему этого не признавал Раушенбах?

Сам он рано ощутил, что может стать ученым. «Долгое время я жил техникой, рациональным подходом ко всему, – вспоминает Б.В. Раушенбах. – Помню на втором курсе института я заинтересовался задачей из области планеризма. Какое удлинение крыла выгоднее? Какой должен быть угол атаки? Какие размеры и формы? Возился, возился, и вдруг, подобно вспышке, пришло решение. Я разволновался, побежал к заводским инженерам. Те, выслушав меня, страшно удивились и сказали, что это – настоящее открытие. Теперь-то я понимаю, что открытие было копеечным, но тогда, осознав, что мне под силу создать что-то на пустом месте, я уже не мог остановиться. Голова все время была занята какой-то задачей, подсознание неожиданно выдавало результат...» [6].

В 1937–1942 гг. Раушенбах работал в РНИИ РККА (Ховринский институт № 3, НИИ № 3) в отделе С.П. Королёва. Там он занимался автоматическим управлением полетов крылатых ракет. После ареста Королёва в 1938 году перешел в другой отдел РНИИ, где исследовал вопросы устойчивости процессов горения топлива.

Затем в течение длительного времени в период 1938–1955 гг. они с Королёвым даже не встречались. Раушенбах работал в институте М.В. Келдыша (РНИИ, НИИ-1), который с начала 50-х годов весьма тесно сотрудничал с С.П. Королёвым. «Примерно в пятьдесят четвертом году, – вспоминает Раушенбах, – уже будучи профессором (здесь ошибка памяти – ученое звание профессора Б.В. получил в 1958 г. – прим. Ю.Б. и Б.К.), я... занялся новой тогда темой – теорией управления космическими аппаратами. Еще и в помине не было никакого спутни-



ка, но я знал, что это перспективное направление... И Келдыш меня поддерживал» [6]. Самой первой задачей, которую поставил Королёв перед Раушенбахом, была задача создания системы управления ориентацией фотокомплекса на КА «Луна-3». Полет «Луны-3» увенчался триумфальным успехом. Теперь кроме глобуса Земли появился еще и глобус Луны. В тот период Б.В. Раушенбах еще работал в институте М.В. Келдыша.

Раушенбах не относился к кругу близких друзей М.В. Келдыша, но рабочие отношения у них были очень хорошими. Келдыш разрешал Раушенбаху заниматься проблемами, которые не входили в официальные планы института, и даже давал ему для работы сотрудников. Без этого не были бы возможны результаты, так необходимые для Королёва.

В феврале 1960 года Б.В. Раушенбах и вся его команда в составе около 100 человек по согласованию с М.В. Келдышем перешли в ОКБ-1 Королёва. Здесь он занимался проблемами управления движением КА, в частности, их ориентацией. Около 1964 года Раушенбах и возглавляемая им лаборатория стали работать над созданием систем автономной навигации для пилотируемых кораблей и орбитальных космических станций. Как и первый его планер, эти системы управления получали название «Чайка» с соответствующим порядковым номером. Отношения у Раушенбаха с Королёвым были уважительные. Даже когда Королёв его отчитывал, Раушенбах относился к этому с легкой иронией – слишком давно они друг друга знали, да и регалии свои – и докторскую степень, и звание профессора – он получил помимо него. Он не был обязан Королёву ничем, кроме интересной работы.

О работе с Раушенбахом в тот период рассказывает один из его учеников д.т.н., профессор Э. Гаушус [7]: «Наши непосредственные руководители: Б.Е. Черток, Б.В. Раушенбах, В.П. Легостаев, Е.А. Башкин были гораздо мягче С.П., особенно Б.В. Не было никакой палочной дисциплины, была забота о своих подопечных..., была свобода творчества... Я учился у него... руководить людьми, создавать команду единомышленников, поддерживать дружескую атмосферу в коллективе».

С.П. Королёв умер 18 января 1966 года. ОКБ-1, переименованное 6 марта 1966 года в Центральное конструкторское бюро экспериментального машиностроения (ЦКБЭМ), после него возглавил академик В.П. Мишин. В 1969 году Раушенбах оказался в составе специалистов предприятия, обратившихся к Министру обороны СССР Д.Ф. Устинову с предложением создать большой орбитальный комплекс на базе пилотируемой станции, разрабатываемой В.Н. Челомеем. Это решение было поддержано. На многие десятилетия оно определило магистральный путь развития отечественной пилотируемой космонавтики.

В мае 1973 года произошла авария системы ориентации третьей долговременной орбитальной станции (ДОС-3). За полтора витка станция выработала весь бортовой запас топлива и стала неуправляемой. В.П. Мишин возложил вину за эту аварию на Б.В. Раушенбаха, которому пришлось оставить должность начальника комплекса 3. Он становится научным руководителем тематического направления. На следующий год, когда В.П. Мишина сменил В.П. Глушко, он предложил Б.В. Раушенбаху вернуться на прежнюю должность, но Борис Викторович отказался, а через три года ушел из НПО «Энергия», передав и базовую кафедру в Физтех. Б.И. Раушенбаху было в то время 59 лет.

## Хроника контактов Б.В. Раушенбаха с С.П. Королёвым и М.В. Келдышем

Годы	Встречи, сотрудничество
1935–1936	Мимолетные встречи с С.П. Королёвым в Коктебеле на планерных соревнованиях (испытаниях)
1937	Знакомство с С.П. Королёвым по инициативе Б.В. Раушенбаха. Предложение от С.П. Королёва перейти на работу в его отдел РНИИ РККА. Тематика – «автоматическое управление полетами крылатых ракет»
1938	Арест С.П. Королёва. В РНИИ РККА Б.В. Раушенбах переходит на другую тематику – «устойчивость процессов горения топлива»
1941	В ноябре Б.В. Раушенбах эвакуирован вместе с РНИИ в Свердловск
1942–1946	С марта 1942 года Тагиллаг, спецотряд 18-74 НКВД. Работа по заданиям завода № 293 НКАП
1946–1948	Поселение. Нижний Тагил. Работа под руководством М.В. Келдыша
1948	Официальный переход в Москву в РНИИ, возглавляемый М.В. Келдышем
1955–1959	При работе в РНИИ (НИИ-1) привлекается С.П. Королёвым по тематике РКТ. Проект «Луна-3»
1960	Переход в ОКБ-1 С.П. Королёва с группой из 100 человек (по согласованию с М.В. Келдышем) из РНИИ
1960–1977	Работа в ОКБ-1 (НПО «Энергия») по автоматическим и пилотируемым КА («Марс», «Венера», «Зонд», «Молния», «Восток», «Восход», «Союз», «Салют»). Поддерживал сотрудничество своего коллектива с Институтом прикладной математики АН СССР, возглавляемым М.В. Келдышем
1977	Переход из НПО «Энергия» (ОКБ-1) в МФТИ (кафедра теоретической механики)

**Борис Раушенбах и Физтех**

Б.В. Раушенбах преподавал в Московском государственном университете, а затем, с 1 сентября 1952 года, еще при жизни Королёва, в Московском физико-техническом институте (Физтехе) сначала на полставки ассистента на кафедре «Горение и теплопередача». Обращает на себя внимание его быстрый рост. С 7 февраля 1953 года он уже старший преподаватель по совместительству, в сентябре 1955 года – доцент, а в мае 1958 года – профессор. В сентябре 1963 года Б.В. Раушенбах назначен заведующим базовой кафедрой «Механика полета» МФТИ в п/я 651 (переименован в п/я В-2572 в 1966 году), которая с 1967 года официально стала называться кафедрой «Экспериментального машиностроения».

В 1977 году Раушенбах полностью перешел на работу в Физтех заведующим кафедрой теоретической механики и двадцать лет заведовал ею. Почему именно теоретическая механика? Послушаем самого Бориса Викторовича:

«Главное, научить людей не физике или какому-нибудь другому предмету, а надо научить их думать. А это умение возникает, когда работаешь не по узким вопросам, а над какими-то общими законченными курсами, имеющими начало, середину, конец; такие курсы гармоничны и являются моделью того, как нужно работать над проблемой. Физтеховское образование «отрабатывает» такие модели. Например, классическая теоретическая механика. С точки зрения физики, она вообще-то не очень нужна, но это та редкая наука, которая имеет начало, середину (развитие) и конец (обобщения и выход на другие области). Она начинается буквально со школьных истин и вырастает в огромное здание, которое кончается аналитической механикой. И человек, прослушав этот курс, начинает понимать: так должна быть построена наука... Это поразительно законченная и красивая дисциплина, условно говоря, – это гармоничное сооружение. Именно на таких

гармоничных конструкциях и надо учить людей логически мыслить, находить правильные пути, выводить смелые обобщения» [8].

Ему нравилось читать лекции, сам процесс, взаимодействие с аудиторией. А аудитории нравилось не столько получать информацию, сколько следить за ходом мысли лектора – это было увлекательнейшим путешествием по лабиринтам науки. Тема лекций в каком-то смысле была вторичной: газовая динамика, гироскопия, теория автоматического регулирования, управление движением космического аппарата, динамика космического полета. Именно в Физтехе он прочитал первый цикл лекций по иконам, фактически, богословский курс (в соответствии с советскими порядками пришлось официально их числить под рубрикой атеистической пропаганды). В сочетании с глубиной погружения в физику и математику вольномыслие Физтеха создавало комфортную среду для Раушенбаха.

Вот наиболее важные черты Раушенбаха, отмечаемые сотрудниками и студентами МФТИ, но характерные для всех периодов его жизни и работы: не мешал сотрудникам работать; никогда не повышал голос, и тем более – не кричал на подчиненных; всегда был готов помочь советом, направить в нужное русло; в трудных задачах находил оригинальные решения; учил молодых преподавателей объяснять студентам сложные темы простым разговорным языком; свою точку зрения не навязывал; во время лекций не излагал, а рассуждал, учил думать и размышлять; не перегружал лекции мелкими деталями, а объяснял смысл; готов был читать лекцию даже для одного студента; в общении был весьма прост, дружелюбен и необычайно скромнен; ненавидел обман; обладал тонким чувством юмора [7, 9, 10, 11, 12].

### **Борис Раушенбах и Институт истории естествознания и техники Академии наук**

Тесное сотрудничество Б.В. Раушенбаха с Институтом истории естествознания и техники (ИИЕТ) АН СССР началось во время работы в Физтехе. В 1980 году он в качестве главного редактора, будучи членом-корреспондентом АН СССР, возглавил редакционную коллегию издававшегося при ИИЕТ АН СССР сборника «Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники». Издание было рассчитано как на специалистов, занимающихся проблемами авиации и космонавтики, так и на широкий круг людей, интересующихся развитием этих областей науки и техники. В сборниках представлялись наиболее важные результаты научно-исторических исследований в области создания летательных аппаратов. Большой интерес представляли материалы о творческой деятельности ведущих специалистов авиации и космонавтики. Как правило, сборники выпускались ежегодно. В них печатались известные ученые (М.В. Келдыш, М.К. Тихонравов, В.П. Мишин, О.Г. Газенко и др.), космонавты (А.А. Леонов, К.П. Феоктистов, А.С. Елисеев, В.А. Шаталов и др.), конструкторы, историки.

Начиная с первого выпуска, бессменным заместителем Б.В. Раушенбаха был научный сотрудник ИИЕТ к.т.н. В.Н. Сокольский. Исключительно организованный и ответственный человек, Сокольский выполнял значительную часть работы по подготовке сборников к изданию. Кроме него в их подготовке к печати активное участие принимали и другие сотрудники ИИЕТ: И.В. Баландин, Л.В. Гессон.

В 1982 году В.Н. Сокольский помогал Раушенбаху осуществить визит Г. Оберта в СССР. Позже Сокольский дважды организовывал приезд в Центр под-

готовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина дочери Оберта – Эрны. У него были тесные контакты с учеными ЦПК. Он всячески содействовал их активному участию в Циолковских чтениях и созданию на них специальной секции «Профессиональная деятельность космонавтов», которая успешно работает с 1993 года до настоящего времени.

Борис Викторович был членом редколлегии журнала «Вопросы истории естествознания и техники» и входил в Отделение истории естествознания и техники Советского национального комитета по истории и философии науки и техники. Он всегда настаивал на том, чтобы программные государственные документы по науке и технике согласовывались с ИИЕТ.

### Неизвестный Герман Оберт

По-настоящему в СССР узнали о Г. Оберте благодаря Б.В. Раушенбаху!

Капитальный труд Г. Оберта по вопросам ракетной техники и космонавтики – книга «Ракета для межпланетного пространства», вышедшая в Германии, переиздававшаяся много раз за рубежом и принесшая автору мировую известность, в русском переводе появилась лишь через 54 года. Ее тираж составлял всего 3400 экземпляров. Вторая книга «Пути осуществления космических полетов» была издана в 1948 году и то в сокращенном варианте (редактором книги был Б.В. Раушенбах). Не удивительно, что обе монографии давно стали раритетами.

Кое-что о Г. Оберте можно найти в сборниках ИИЕТ АН СССР, немецкой энциклопедии «Lexikon der Raumfahrt» 1970 года издания, а также книге В. Лея «Ракеты и полеты в космос», выпущенной «Воениздатом» в 1961 году. К сожалению, за прошедшие годы выдающийся немецкий ученый не стал намного известнее в нашей стране.

В специализированной энциклопедии «Космонавтика», вышедшей в свет в 1985 году, для Оберта нашлось места не больше, чем в Большой советской энциклопедии 1974 года издания – всего несколько строк. В России вышла лишь одна книга о нем, написанная Б.В. Раушенбахом [13]. Однако надо признать, что она получилась великолепной. Книга написана в жанре повести и переиздавалась дважды. Она переведена на немецкий и английский языки. В ней масса впечатлений от личных встреч автора с немецким ученым, много ссылок на биографии Оберта, опубликованные за рубежом и, что очень важно, дана квалифицированная оценка его научных работ с позиций современных знаний в сфере космонавтики. По мнению родных Оберта, это его лучшая биография.

Что же касается русскоязычного Интернета, который появился в 1991–1992 гг., то серьезной информации об ученом в нем представлено не так-то много. Определенной компенсацией этому могут служить немецко- и англоязычные сайты, количество которых исчисляется десятками. Всего несколько строк отвели Оберту и во «Всемирной энциклопедии космонавтики», выпущенной издательством «Военный парад» в 2002 году. В ней появился портрет Оберта. Это само по себе прогресс для отечественных изданий. В то же время без досадных ошибок в статье об ученом не обошлось – неправильно приведено название книги на немецком языке. Кроме того, почему-то авторы решили, что коллегой его со времен Куммерсдорфа был не выдающийся немецкий инженер Р. Небель, а некто Нобель (?).

## Хроника жизнедеятельности Г. Оберта в годы Второй мировой войны

Годы	События
Июнь 1938	Вена. Высшая техническая школа (профессор)
Апрель 1940	Приезд фон Брауна к Оберту в Вену
Июль 1940	Дрезден. Высшая техническая школа (работа по теме «Фау-2»)
Июнь 1941	Пенемюнде
Октябрь 1942	Пенемюнде. Первый успешный полет «Фау-2» (3.10.42 г., 84,4 км)
Декабрь 1943	Рейнсдорф (работа над телеуправляемой зенитной ракетой с ТРД)
Май 1945	Лагерь для военнопленных, Париж
Август 1945	Возвращение в Германию, г. Фойхт

**Традиции «кучкизма» в Тагиллаге**

В истории нашей культуры давно известно объединение русских композиторов (М.А. Балакирев, А.П. Бородин и др.), создавших в 60-е годы XIX века творческое содружество, названное впоследствии «могучей кучкой».

В Тагиллаге в период нахождения там Раушенбаха (1942–1946 гг.) вокруг него собралась своего рода «могучая кучка» интеллектуалов – ученых, инженеров, врачей, художников. Несмотря на притеснения со стороны власти, все они оказались объединенными одной общей идеей служения России, ее науке, культуре, людям. Все они были советскими немцами, репрессированными в годы Великой отечественной войны. Строго говоря, они были мобилизованы в трудармию. Однако условия их содержания мало отличались от лагерных.

Общая численность советских немцев в Тагиллаге составляла в тот период около 6500 человек. «Малая научная академия», как себя называла группа Раушенбаха, включала около 15 человек. Вот ее основные представители: П.Э. Хальперн (Риккерт) (химик, геолог), О.Н. Бадер (археолог), В.Г. Вольф (инженер-теплотехник), М.В. Дистергефт (художник), А.Г. Стромберт (физикохимик), В.Ф. Рис (ученый-машиностроитель), врачи и ученые-медики: Т.А. Грасмик, В.Э. Рунг, Г.Я. Рейнихсдорф и др. Члены группы входили в состав спецотряда 18-74 НКВД.

Даже первое знакомство с представителями этой творческой «кучки» показывает, что большинство из них были людьми неординарными, а порой и уникальными.

Пауль Хальперн – немецкий коммунист, бежавший от преследований нацистов из Германии в 1933 году. Находясь в Тагиллаге, разработал «новые технологии производства стройматериалов».

Машиностроитель В.Ф. Рис стал во время «отсидки» в Тагиллаге лауреатом Сталинской премии!

Археолог О.Н. Бадер – еще до войны работал на этнографическом факультете МГУ. Он один из самых известных исследователей Каповой пещеры и палеонтологической стоянки Сунгирь.

А.Г. Стромберт – химик-аналитик, автор ряда популярных учебников, руководил работами более 100 аспирантов. Один из создателей томской электрохимической школы.

«Академики» проводили научные семинары, выполняли различные работы по своей специальности, организовывали курсы немецкого языка, пытались сотрудничать с местными краеведами, всем, кому могли, оказывали медицинскую помощь. Удивительно, какой огромный у этих людей был запас духа и прочности.

Возможно, именно на этих семинарах у Раушенбаха и выработалось свойственное ему целостное миропонимание и особый интегральный стиль мышления, выражающийся в смелом сравнении явлений из совершенно разных областей жизни, помогавшие ему в выявлении их смысла и сущности.

### **Герман Оберт и Борис Раушенбах в Центре подготовки космонавтов**

В августе 1982 года в ЦПК им. Ю.А. Гагарина стало известно, что с визитом в Центр прибудет один из самых крупных ученых в области ракетной техники и космонавтики Г. Оберт. Его приезд в СССР готовился в рамках международной конференции, посвященной 25-летию запуска первого искусственного спутника Земли.

Приведем точный список организаторов конференции. В их число входили: Институт истории естествознания и техники АН СССР, Комиссия АН СССР по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, Совет «Интеркосмос», Комиссия АН СССР по разработке научного наследия К.Э. Циолковского, Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Государственный музей истории космонавтики им. К.Э. Циолковского. Конференция проходила в Москве и Звездном городке. Ее открытие состоялось 20 сентября 1982 года в зале конгрессов гостиницы «Космос» на проспекте Мира. На следующий день 21 сентября ее участники собрались в Звездном городке [14, 15].

Организацией конференции и визита Оберта в ЦПК занимался непосредственно начальник Центра дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР, заслуженный летчик-испытатель СССР генерал-лейтенант авиации Г.Т. Береговой. Оберту в то время было уже 88 лет.

В Звездном гости традиционно собрались у памятника Ю.А. Гагарину для возложения цветов (рис. 4). Приехал Оберт, которого сопровождали Б.В. Раушенбах, а также уже упомянутый нами В.Н. Сокольский из ИИЕТ. С Обертом приехала его дочь Эрна. После возложения цветов все участники конференции направились в Дом космонавтов. Пленарное заседание проходило в большом зрительном зале, где собралось около четырехсот человек. В президиум, который разместился на сцене в четыре ряда, были приглашены крупные советские и зарубежные ученые, космонавты. Германа Оберта пригласили за первый стол в центре рядом с председательствующими (рис. 5). Его дочь также находилась в президиуме. Заседание вели заместитель начальника ЦПК, дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР, генерал-майор авиации А.А. Леонов и член-корреспондент АН СССР Б.В. Раушенбах.

Знакомство Г. Оберта с ЦПК началось с музея. Особый его интерес вызвали подлинные экспонаты – тренажер космического корабля «Восток», скафандры первых космонавтов, стыковочный узел для программы «Союз–Аполлон». Последним из четырех залов музея он осматривал кабинет Ю.А. Гагарина, который поразил Оберта своей простотой и строгостью. Вместе с Г. Обертом в музей пришли космонавты З. Йен и Д. Прунариу. Иногда они давали пояснения, ссылаясь, в основном, на свой собственный опыт космических полетов. В дальнейшем при осмотре тренажной техники немецкий и румынский космонавты также всегда были рядом с Обертом.



Рис. 4. Г. Оберт, Б. Раушенбах и космонавты у памятника Ю.А. Гагарину в ЦПК



Рис. 5. Конференция в Доме космонавтов

После музея его пригласили на служебную территорию ЦПК. Первым объектом, который планировалось осмотреть, был комплексный тренажер орбитальной космической станции «Салют-7». Это был натуральный макет-аналог новой станции, которая уже несколько месяцев находилась на орбите Земли.

В зале было много космонавтов-участников программы «Интеркосмос», советских и зарубежных ученых. Не обошлось без коллективного фотографирования на память около орбитальной станции. После этого началось знакомство с «Салютом-7». О системах ориентации и управления станции Б.В. Раушенбах рассказывал сам. Это была сфера его профессиональных интересов.

После «Салюта» осматривали тренажер космического корабля «Союз». Корабль, конечно, внешне выглядел не столь внушительно как орбитальная пилотируемая станция, но это был космический аппарат-труженик, отлично выполнявший свои научные и транспортные задачи. К концу 1982 года в космосе побывало уже более 40 «Союзов». Особое внимание немецкого ученого привлекло оборудование спускаемого аппарата корабля, которое можно было достаточно хорошо рассмотреть через открытый люк.

Однако, как оказалось, самые большие эмоции вызвали у Оберта увиденные им работы в гидролаборатории – огромном специальном бассейне, вмещающем

5000 куб. м воды и позволяющем моделировать работы в открытом космосе. В нем на глубине 8 м на специальной платформе находился макет «Салюта-7», на котором космонавты, облаченные в скафандры, в условиях моделированной невесомости отрабатывали операции внекорабельной деятельности. Г. Оберт, когда-то первым предложивший использовать бассейн для имитации невесомости в наземных условиях, теперь зачарованно смотрел на космонавтов и, возможно, вспоминал свои эксперименты по обезвешиванию в воде, которые он ставил более 60 лет назад. Здесь в гидролаборатории Оберт задал больше всего вопросов специалистам ЦПК. Он расспрашивал об устройстве космических скафандров, особенностях динамики перемещений в воде, о подводном телеметрическом комплексе, других возможностях моделирования работ в открытом космосе.

### **Герман Оберт и Вернер фон Браун («трагедия пионеров»)**

В 1930 году Вернер фон Браун, будучи студентом Технического университета в Берлине, вступил в «Общество межпланетных сообщений». Здесь вместе с Обертом они проводили опыты по созданию первых ракет. Брауну было всего 18 лет. В 1932 году он стал гражданским служащим Рейхсвера в Куммерсдорфе.

Поддерживаемый высокопоставленными военными, фон Браун создал мощную конструкторскую группу, которая успешно работала над созданием ЖРД. Однако среди известных фигур (Р. Небель, В. Ридель, В. Тиль и др.), бывших партнеров по VfR, мы не встретим Г. Оберта. В Куммерсдорфе дороги Брауна и Оберта разошлись на целых 7 лет. В начале 1940 года Браун вдруг вспомнил об Оберте и приехал к нему в Вену, где он работал в Высшей технической школе в должности профессора. Здесь он получил приглашение переехать в Дрезден и заняться там разработкой одной из систем для «Фау-2». Через несколько месяцев Оберт понял, что это была уловка. За большую зарплату, при не очень нужной Брауну работе, его просто взяли под негласный надзор. Оберт слишком много знал о создании ракет, которые становились «оружием возмездия» Германии. Когда же он захотел уйти с этой работы – ему пригрозили концлагерем. В 1941 году Вернер фон Браун пригласил (под чужим именем) в Пенемюнде своего учителя (техническим директором этого ракетного полигона Браун был назначен еще в 1937 году).

Ко времени приезда Оберта в Пенемюнде почти все основные работы по созданию «Фау-2» уже были выполнены командой Брауна. Оберту поручались лишь отдельные второстепенные задачи. Успешный пуск ракеты состоялся 3 октября 1942 года. Оберт стал свидетелем того, как «Фау-2» достигла высоты 84,4 км! При создании оружия возмездия маститый ученый оказался ненужным своему ученику.

Подобный случай повторился еще раз в их судьбе, когда после войны Вернер фон Браун уехал в США и добился выдающихся успехов в реализации лунной программы. На фоне головокружительных научно-технических побед Браун опять вспомнил о своем учителе и пригласил его на работу. Однако и здесь, как когда-то в Пенемюнде, он держал Оберта даже не на вторых, а ... на «десятых» ролях. Предложенная работа оказалась неинтересной для Оберта и он вернулся в Германию. Всего в США Г. Оберт был менее 4 лет – 2,5 года в период с мая 1955 года по декабрь 1958 года, затем в течение 9 месяцев в 1961 году и далее было несколько коротких гостевых поездок в связи с запусками по программе «Аполлон».



В книге об Оберте Б.В. Раушенбах провел подобные параллели с другими основателями ракетно-космической техники и назвал этот феномен «трагедией пионеров» – они любят и могут работать лишь в одиночку. Однако это никак не объясняет взаимоотношения Оберта и Брауна в периоды достижения наивысших успехов последним.

Вряд ли такое поведение фон Брауна было случайным. Скорее всего, он боялся, что высочайший авторитет Германа Оберта – ученого с мировым именем – в какой-то степени затмит его собственный вклад в развитие ракетной техники и космонавтики.

Откроем книгу Германа Оберта «Ракета для межпланетного пространства» с предисловием Вернера фон Брауна, написанным в 1959 году к ее третьему изданию. Вот что пишет в нем знаменитый ученик о своем великом учителе: «Герман Оберт был первым, кто в связи с размышлениями о реальных полетах в космос, обратился к логарифмической линейке и в цифрах представил проработанные концепции и проекты конструкций ... Приведенные здесь расчеты и проекты стали исходным пунктом для создания крупных ракет в Германии и оказали существенное влияние на более поздние исследования в этой области в других странах ... Сам я обязан ему не только путеводной звездой моей жизни, но и моими первыми соприкосновениями с теоретическими и практическими сторонами ракетной техники и полетов в космос».

### **Герман Оберт и Борис Раушенбах – мировоззрение ученых**

Оберт и Раушенбах принадлежали к разным обществам, в которых существовали свои определенные ценности и социальные нормы – религиозные, моральные, культурные, философские, правовые.

Период активной творческой деятельности Оберта в Германии совпал с приходом к власти нацистов. Оставаясь классическим ученым-теоретиком, он фактически сотрудничал с ними, особенно в период работы в Пенемюнде. Однако Оберт не был допущен Брауном к решению не только ключевых, но даже сколько-нибудь серьезных задач по «Фау-2». Скорее его можно отнести к «попутчикам национал-социализма» – так называли в Германии после войны ученых и конструкторов, сотрудничавших с фашистами (к ним, например, относились известные авиаконструкторы Э. Хейнкель, В. Мессершмитт, К. Дорнье и др.).

Фигура Оберта до настоящего времени воспринимается в Германии неоднозначно. В 2001 году в Берлине была представлена пьеса немецкого драматурга Р. Хоххута со скандальным названием «Гитлеровский доктор Фауст», а ее главным действующим лицом стал Г. Оберт. Герой немецких легенд XVI века доктор Фауст продал душу дьяволу ради земного могущества, власти и богатства. Через 56 лет после окончания войны автор обвинил Оберта в прямой причастности к атакам «Фау-2» на Лондон и гибели жителей английской столицы.

Странно, что в этом произведении Фаустом назван Герман Оберт, а не Вернер фон Браун – штурмбанфюрер СС (членский билет № 185068, 1 мая 1940 года) и член НСДАП (партийный билет № 5738692, 1 декабря 1938 года), истинный создатель «оружия возмездия» «Фау-2» [16].

В годы войны Г. Оберт, сотрудничая с нацистами, работая на войну, не избежал трагического ее влияния на собственную судьбу. Двоих из четырех детей он потерял в военные годы. Сын Юлиус пропал без вести в 1943 году под городом

Сталино (ныне Донецк). Дочь Эльза погибла при взрыве на военном химическом заводе в Австрии в 1944 году.

Уже в 60–70-е годы XX столетия Оберт прекрасно осознавал необходимость моральной ответственности ученых перед обществом [17, 18]. Ракеты, теорию полета и конструкции которых он разрабатывал, стали эффективным носителем ядерного оружия. Он считал, что избежать военных конфликтов можно, если представители народов создадут «Всемирный парламент», в котором будут приниматься главные политические решения по обустройству общества. Он видел, что ООН не стала таким «всемирным парламентом» и тем более межнациональным правительством на нашей планете. О пользе такого правительства, кстати, высказывались и А. Эйнштейн, и Н. Бор, и Л. Сциллард. В книге Б.В. Раушенбаха об Оберте [13] в качестве приложения помещена его статья о моральной ответственности ученого.

Оберт мечтал об идеальном государстве, которое не напоминало бы «большую коммунальную квартиру» [13, 18], а было бы гармоничным сообществом людей, в котором не было бы войн, преступлений, экологических кризисов и безработицы. Свое видение этого парламента он изложил в книге «Азбука для избирателей мирового парламента» (1983 г.), которую написал в конце жизни (в возрасте 89 лет). Возможно, работа над этой книгой также была одной из причин приезда Оберта в СССР – страну, принципиально отличающуюся по общественному устройству от западных государств.

Б.В. Раушенбах вспоминал: «Я чувствую себя одновременно русским и немцем» [6].

Вся его активная творческая деятельность пришлось на советский период. Начальный этап его работы был связан с созданием ракет, однако наиболее яркий след в космонавтике он оставил при решении задач полетов АКА к Луне и полетов ПКА.

Репрессии в годы войны не вызвали в нем враждебного отношения к власти. Это было характерно для многих талантливых ученых и конструкторов, прошедших сталинские «шарашки» (С.П. Королёв, А.Н. Туполев и др.).

После войны Раушенбах, как и некоторые другие ученые (например, Н. Бор, В. Гейзенберг, Л. Сциллард [19] и др.) посвятил значительную часть своей жизни борьбе за мир, работая в различных соответствующих комитетах, фондах, конгрессах.

Особое место в жизни Раушенбаха занимала религия. По стопам родителей он в детстве был причислен к протестантской религии (одно из трех главных направлений христианства наряду с православием и католицизмом). Однако позже принял православие, ставшее частью его жизни. Он верил в бога, посещал храмы, прекрасно знал историю религии, ее каноны и заповеди, был знаком с патриархом, митрополитами. Глубину знания религиозной темы Раушенбахом можно легко оценить даже по одной его статье «Логика троичности», опубликованной в журнале «Вопросы философии», издаваемом АН СССР [20]. И вместе с тем, особенности его мышления и способа научного познания давали ему возможности удивительных находок, таких как математическая модель Троицы в виде вектора, описанная в статье «Логика троичности».

В 70–90-е годы Раушенбах занимался исследованиями древнерусской живописи и издал несколько трудов, которые можно отнести к фундаментальным: «Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов», «Системы перспективы в изобразительном искусстве», «Геометрия картины и зритель-

ное восприятие». Вряд ли можно назвать кого-либо другого в нашей стране, кто в то время лучше бы, чем Раушенбах, разобрался в иконописи. Любопытно, что интерес Раушенбаха к иконописи был вызван чисто технической задачей.

В 1969 году встала задача стыковки космических кораблей. Для ее решения, в частности, надо было ответить на вопрос: как отображается на плоскости объемная конфигурация космического корабля и стыковочного узла при сближении кораблей, которое космонавт контролирует не непосредственно, как, например, летчик через фонарь кабины при посадке, а на экране опико-электронного устройства? Ошибка восприятия космонавта может привести к неудачной стыковке, а следовательно, к срыву задачи полета.

Б.В. Раушенбах исходил из того, что перцептивное пространство, которое получается путем преобразования отражения на сетчатке системой восприятия человека (глаз–мозг), оказывается пространством Римана переменной кривизны. Кривизна положительна на больших удалениях от наблюдателя (эллиптическая геометрия), постепенно уменьшается по мере приближения к нему, а в непосредственной близости становится отрицательной (гиперболическая геометрия). В последнем случае мы должны наблюдать предметы не в прямой перспективе, с линиями, сходящимися на горизонте в точку, как приучили нас художники Возрождения, а немного непривычно – в обратной перспективе, то есть расходящимися. Раушенбах сообразил, что много раз видел предметы, изображенные в обратной перспективе – на русских иконах, и стал вычислять параметры пространства восприятия человека по множеству произведений древнерусской живописи [21]. Впоследствии он написал несколько книг по восприятию пространства в живописи [22, 23, 24, 25].

Целый ряд мировоззренческих статей Раушенбаха опубликован в сборнике «Пристрастие» [17]. Здесь материалы об искусстве, религии, советской и российской науке и многое другое. Интересно, что рассуждая о науке, Раушенбах приводит в пример, чуть ли не в качестве эталона, большую организационную деятельность Ленина в послереволюционные годы, ставя его в пример нынешним руководителям государства. Удивительно, что при этом Раушенбах односторонне представляет Ленина, словно забывая о его разрушительной деятельности в отношении столь почитаемой академиком русской церкви, а значит, и русской культуры.

Будучи крупным специалистом в области ракетной и космической техники (по сути «технократом»), он являлся председателем Научного совета РАН по комплексной проблеме «История мировой культуры». Этот факт еще раз подчеркивает его высочайшую компетенцию в самых разных сферах человеческой деятельности, в том числе таких формах ее выражения как искусство, история, философия, педагогика, политология и др. Б.В. Раушенбах как-то признался: «Я стараюсь, по возможности, не отказывать себе в удовольствии заниматься тем, чем хочу...» [11, 12, 24].

### **Герман Оберт, Сергей Королёв и Борис Раушенбах (идея и осуществление, «полководцы» и «штабисты»)**

Выделим несколько характеристик (черт), которые были общими в судьбах ученых: оба были немцами; родились не в Германии и оказались «иностранцами» в своей стране; пострадали в годы войны; приобрели глубокие знания в разных областях; стали учеными и проходили одни и те же этапы в развитии ракетно-космической техники; были весьма ценимы своими «полководцами» – С.П. Коро-

лёвым и В. фон Брауном; оставили занятия космонавтикой, когда были еще в творческом возрасте; написали мировоззренческие работы.

Сделаем две оговорки, которые говорят о некоторых важных различиях.

Б.В. Раушенбах считал, что Оберт «не имел классического в нашем понимании образования. Хотя формально он закончил университет, но получил «рваное» образование, переезжая из университета в университет. Это неплохо, может быть, даже хорошо, но в результате в его образовании появились диспропорции: в какой-то области знаний слишком много, а в другой – чересчур мало. Человек, который каждый день ходит в школу, потом в университет, слушает все, что положено, получает «сплошное» образование, а у Оберта получилось несколько иначе. Поэтому у него, как у всякого самоучки, есть и «завиральные» вещи. Но в основном на него работает здравый смысл, и он оказывается прав» [25]. У Раушенбаха было не просто «сплошное» образование, оно было «сплошным многослойным», во многом благодаря университетам Тагиллага. Но здравый смысл – и у Оберта, и у Раушенбаха – не изменял обоим никогда.

Мы поставили рядом, как полководцев, С.П. Королёва и В. фон Брауна, исходя из несколько формальных соображений – достижение исторически значимых результатов в космонавтике. Оберт в период этих успехов уже отошел от дел. Сам же Раушенбах называет Королёва «русским Обертом» [25]. То есть для него немецким «полководцем» был именно Оберт. Впрочем, не единственным: «полководцами» Раушенбах называл организаторов в науке и технике. А для Оберта таким «полководцем» был В. фон Браун, с чем полностью согласен и Раушенбах.

Оберт и Раушенбах относятся к разным поколениям. «Если у Оберта главной была идея, то у меня – ее осуществление», – рассказывал Б.В. Раушенбах [25]. Видимо, «триумvirат полководцев» – Оберт, Королёв и фон Браун – возник из-за особенностей поколенческого восприятия. Первые два имени названы Раушенбахом, а третье – самим Обертом, который работал с фон Брауном и признавал его превосходство как организатора производства, но не как ученого. В. фон Браун, родившийся в 1912 году, относится к одному поколению с Б.В. Раушенбахом, который родился в 1915 году. Г. Оберт на два десятилетия старше – 1894 года рождения. Пожалуй, рядом можно было бы поставить Германа Поточника (Ноордунга), родившегося в 1892 году, много сделавшего для развития идей космонавтики, но рано, в 1929 году ушедшего из жизни. Каждому поколению ракетчиков пришлось решать свои задачи для достижения одной общей цели – выхода человечества в космос. У каждого поколения были свои «полководцы». И вопреки мнению Б.В. Раушенбаха, высказанному в книге об Оберте, осмелимся предположить, что «полководцы» нужны и сегодня.

Не менее нужны и «штабисты». Ярослав Голованов писал: «То, что Раушенбах не был хорошим организатором, Королёв видел. Но он считал, что сейчас наступил такой момент, когда умение быстро и точно разобраться в капризах техники важнее таланта руководителя, что именно такой «нестандартный» ведущий конструктор и требуется ему сегодня» [26].

Актуальная сегодня проблема подготовки, подбора, совместимости и назначения «полководцев» и «штабистов» для ракетно-космической деятельности в историческом плане требует тщательного исследования. Возможно, поэтому понадобится еще один «двойной портрет» – Оберта и Королёва (и у Оберта, и у Королёва была общая идея – создание ракеты для полета в космос). И «групповой» – Оберт, Королёв, фон Браун и другие «полководцы»; Келдыш, Раушенбах и другие «штабисты».

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Oberth H. Die Rakete zu den Planetenräumen. Munchen (1923, 1925, 1960, 1964, 1984). 92 s.
- [2] Краффт Э. Космический полет. – Т. 1. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1963. – 586 с.
- [3] Ярополов В.И. Подготовка и осуществление полета Ю.А. Гагарина /Пилотируемые полеты в космос. – № 2(11). – 2014. – С. 98–116.
- [4] Раушенбах Б.В. Развитие систем управления движением космических аппаратов // Из истории ракетно-космической науки и техники. – Вып. 3. – М.: ИИЕТ РАН, 1999. – С. 91–131.
- [5] Карлов Н.В. Они создавали Физтех (По архивным папкам МФТИ и воспоминаниям старых физтехов). [http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/146/58146/28089?p\\_page=10](http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/146/58146/28089?p_page=10).
- [6] Борис Викторович Раушенбах. К 100-летию со дня рождения. – М.: Изд-во РМП, 2015.
- [7] Гаушус Э.В. Рассказы об управлении в космосе и на Земле. – М.: РТСофт, 2012. – 208 с.
- [8] Раушенбах Б.В. Гармонизация хаоса // Я – физтех. – М.: Изд-во ЦетрКом, 1996.
- [9] Белоглазова Е.Т. Рыцарь российской науки // Наука в России. – 1995. – № 6.
- [10] Бернгардт Э.Г. Академик Б.В. Раушенбах // Штрихи к судьбе народа. – Кн. II. – М., 2000. – 270 с.
- [11] Трухан Н.М. Талант быть человеком // Журнал МФТИ. – Вып. 1503. – 2000.
- [12] Книга судьбы. Стенограмма беседы Б.В. Раушенбаха и С. Чернышева по поводу книги С. Платонова «После коммунизма». – Февраль 1990. – 14 с.
- [13] Раушенбах Б.В. Герман Оберт, 1894–1989. – М., 1993.
- [14] Крючков Б.И. Герман Оберт: к 30-летию визита в Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина // Вопросы истории естествознания и техники. – 2013. – № 1. – С. 115–125.
- [15] Бурдаков В. Полчаса с Обертом. Калининградская правда. – г. Королев, 12 февраля 2004.
- [16] Weyer I. Wernher von Braun, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg, 1999, 157s.
- [17] Раушенбах Б.В. Пристрастие. – М.: Аграф, 2002. – 426 с.
- [18] Шапиро В.Г. Мораль и бомба: О моральной ответственности ученых и политиков в ядерную эпоху. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 192 с.
- [19] Сциллард Л. К вопросу о «центральном вокзале», <http://dtskpl.ru/work/1042/>.
- [20] Раушенбах Б.В. Логика трючности // Вопросы философии. – 1993. – № 3. – С. 63–70.
- [21] Батурин Ю.М. Почему естественные науки развивались так, как развивались? Ответ можно найти в искусстве. – Тетради по истории науки и техники. Серия молодых ученых, № 1. – Первая школа молодых ученых. Москва, 9–10 ноября 2011. – М.: ИИЕТ РАН, 2011. – С. 6–7.
- [22] Раушенбах Б.В. Пространственные построения в древнерусской живописи. – М.: Наука, 1975. – 184 с.
- [23] Раушенбах Б.В. Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов. – М.: Наука, 1980. – 288 с.
- [24] Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. – М.: Наука, 1986. – 256 с.
- [25] Раушенбах Б.В. Геометрия картины и зрительное восприятие. – Спб.: Азбука-классика, 2001. – 320 с.
- [26] Голованов Я. Королёв: факты и мифы. – Т. 1. – М.: Фонд «Русские Витязи», 2007. – 496 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

### INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина») с 2011 года издает научный журнал «Пилотируемые полеты в космос» по широкому кругу проблем, связанных с тематикой пилотируемых полетов в космос. В журнале публикуются работы по следующим областям: результаты выполнения и обеспечения пилотируемых космических программ; отбор, подготовка и реабилитация космонавтов после выполнения космических полетов; обеспечение безопасного пребывания космонавтов на орбите; научно-прикладные исследования и эксперименты в космосе и на Земле; создание и модернизация космической техники и наземных технических средств, применяемых для подготовки космонавтов; внедрение результатов космической деятельности; образовательные программы по тематике пилотируемой космонавтики.

С 1 декабря 2015 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК) (письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 01.12.2015 № 13-6518), по следующим специальностям:

- 05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление;
- 05.26.00 – безопасность деятельности человека;
- 14.03.00 – медико-биологические науки;
- 13.00.00 – педагогические науки.

Приглашаются к сотрудничеству ученые и специалисты в различных областях, а также начинающие авторы.

Конструктивная и доброжелательная критика специалистов на страницах журнала призвана способствовать повышению уровня и качества работ начинающих исследователей, стимулировать приток свежих сил в сложнейшую отрасль мировой науки и техники.

<http://www.gctc.ru>

### Вниманию авторов

Авторы присылают подготовленные к изданию работы и экспертное заключение на них. Необходима качественная распечатка (лазерный принтер) на хорошей белой бумаге и пересылка по электронной почте. Предоставляемые для публикации материалы должны строго соответствовать нижеперечисленным требованиям. Статья объемом от 5 до 15 страниц должна быть **тщательно отредактирована**. Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word версии 97–2007.

1. Предоставляемый материал (статья) должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

2. Статья научного характера должна иметь следующие обязательные элементы:

- постановку задачи (вопрос, на который дается ответ в статье);

– анализ существующих методологических подходов к решению данной задачи;

- исследовательскую часть;
- систему доказательств и научную аргументацию;
- список цитируемой литературы.

Статья должна быть написана языком, понятным не только специалистам в данной области, но и широкому кругу читателей.

3. Первая страница текста должна содержать следующую информацию:

- УДК;
- заглавие статьи;
- имя, отчество, фамилию автора(ов);
- сведения об авторе/авторах: должность, место работы, ученое звание, ученая степень, домашний адрес (с индексом), контактные телефоны (раб., дом.), адрес электронной почты;
- аннотацию к статье (3–10 строк);
- ключевые слова по содержанию статьи (8–10 слов), которые размещаются после аннотации.

4. В конце статьи приводится список цитируемой литературы в алфавитном порядке (сначала литература на русском языке, затем на иностранном) по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

#### *Параметры страницы*

В диалоге «Файл – Параметры страницы» используется размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее и нижнее – 4,82 см; левое и правое – 4,25 см. В тексте статьи необходимо установить автоматический перенос слов.

#### *Заголовок*

В левом углу проставляется УДК (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 10 пунктов).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 11 пунктов, полужирный), выравнивание по левому краю.

Инициалы, фамилия автора(ов) размещаются после названия статьи по левому краю (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 11 пунктов).

#### *Аннотация и ключевые слова*

Текст аннотации и ключевые слова (шрифт «Times New Roman», 9 пунктов) оформляется с отступом от левого края – 1,25 см. Ключевые слова печатаются после аннотации, начиная словом «Ключевые слова» с прописной буквы (шрифт полужирный); двоеточие; затем идет перечисление ключевых слов через запятую (шрифт «Times New Roman» – обычный), выравнивание по ширине.

На английском языке повторить название статьи, инициалы и фамилию автора(ов) (шрифт «Times New Roman», 10 пунктов, полужирный). Оформляется с отступом от левого края – 1,25 см, выравнивание по ширине.

На английском языке повторить аннотацию статьи и ключевые слова (шрифт «Times New Roman», 9 пунктов, обычный), выравнивание по ширине.

#### *Основной текст*

Основной текст статьи на русском языке, используется шрифт «Times New Roman», 10 пунктов, интервал между строками «одинарный». Отступы в начале абзаца – 0,8 см. Иллюстрации – в компьютерном исполнении (рисунок в Word, файлы с расширением – .bmp, .jpg, .gif) с возможностью их редактирования. Ри-

сунки размещаются в тексте. Формулы печатаются в редакторе Microsoft Equation. Таблицы, схемы, рисунки и формулы в тексте должны нумероваться; схемы и таблицы должны иметь заголовки, размещенные над схемой или полем таблицы, а каждый рисунок – подрисовочную подпись. Рисунки, диаграммы, схемы, таблицы делать в черно-белом варианте, если цвет на них не несет нагрузку.

#### *Список литературы*

Набирается шрифтом «Times New Roman», 9 пунктов, интервал между строками «одинарный». Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

За автором сохраняется право копирования своей публикации.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в двух экземплярах. На первом экземпляре располагается подпись автора статьи. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Материалы, предоставленные для публикации в редакцию журнала, авторам не возвращаются.

**Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.**

#### **Вниманию читателей**

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редколлегия вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

#### **To the Attention of Readers**

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

#### ***Наши координаты для контактов***

***(по вопросам публикации, рекламы и деловых предложений)***

**Кальмин Андрей Валентинович** (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>



**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

**ПИЛОТИРУЕМЫЕ  
ПОЛЕТЫ В КОСМОС**  
(научный журнал)

Научный редактор *Л.К. Васильева*  
Редактор *С.Г. Токарева*  
Технический редактор *Н.В. Волкова*  
Корректор *Т.И. Лысенко*  
Перевод *С.Б. Беляковская*

Подписано в печать 01.06.17.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 214-17.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»