

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю.В. Лончаков

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ

Б.И. Крючков –
заместитель
главного редактора,

А.В. Кальмин –
ответственный секретарь,

Ю.М. Батурин,

М.Н. Бурдаев,

Л.К. Васильева,

С.П. Власенков,

Н.В. Волкова,

О.С. Гордиенко,

П.П. Долгов,

В.М. Жуков,

С.А. Жуков,

С.В. Игнатъев,

Р.Р. Каспранский,

О.Д. Кононенко,

А.А. Курицын,

Г.Д. Орешкин,

В.И. Почуев,

В.Н. Саев,

Ю.Б. Сосюрка,

И.Г. Сохин,

М.Л. Титова,

М.В. Тюрин,

М.М. Харламов,

В.М. Усов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....5

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-40/41 при выполнении программы космического полета. *М.В. Сураев*.....5

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-40/41 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова*18

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС26

Развитие комплекса тренажеров орбитальных модулей российского сегмента МКС. *Е.В. Полунина, Л.Е. Шевченко*26

Опыт использования систем имитации визуальной обстановки в тренажерах пилотируемых космических аппаратов. *А.И. Масалкин, М.А. Торгашев*.....36

Развитие системы тренажерного моделирования бортовых средств визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности российского сегмента МКС для подготовки космонавтов к выполнению геофизических исследований. *В.С. Бартош, М.С. Дьяков, С.А. Кузиковский, В.И. Брагин*.....43

Система управления средствами жизнеобеспечения экипажа космической станции. *Б.Ф. Зарецкий, Г.И. Морозов, Э.А. Курмазенко, В.Ю. Прошкин*49

Основные результаты исследований характеристик спецбелля, используемого в процессе подготовки космонавтов и в ходе космического полета. *А.Н. Супотницкий, О.С. Гордиенко, А.В. Кальмин, М.В. Дворников*67

Анализ границ применимости методики статистической оптимизации цикла наземной подготовки космического эксперимента по экономико-временным показателям. <i>А.В. Марков, С.Б. Пичугин</i>	83
ОБЗОРЫ.....	93
Особенности подготовки непрофессиональных космонавтов к полетам на МКС. <i>Б.И. Крючков, М.М. Харламов, А.А. Курицын</i>	93
Опыт создания и эксплуатации вычислительных систем космических тренажеров. <i>К.С. Лункин, Ю.А. Виноградов, В.Н. Саев</i>	102
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ	112
40 лет программе ЭПАС.....	112
Тунгусский метеорит и космос в работах художника Н. Федорова. <i>И.А. Рюмина, Н.Н. Федорова</i>	115
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	126
XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос»	126
Вторая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы экономического развития высокотехнологичных отраслей промышленности. Управление, ресурсное обеспечение и кооперация в условиях новых вызовов».....	127
Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и эксперименты на МКС».....	128
База данных «Технические средства, обеспечивающие выполнение работ по ВКД на РС МКС. Основные инструменты и приспособления общего и специального назначения, применяемые при ВКД». <i>О.А. Брель, Д.И. Верба, М.А. Зайцев, В.С. Коренной, В.В. Несмеянов, С.Н. Харлашкин</i>	129
Информация для авторов и читателей	133

CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS	5
Main Results of the ISS-40/41 Expedition Training and Activity When Executing the Mission Plan. <i>M.V. Suraev</i>	5
Express Analysis of Medical Support of the ISS-40/41 Crew Members. <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i>	18
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS	26
Development of the Simulator Complex of Orbital Modules of the ISS Russian Segment. <i>E.V. Polunina, L.E. Shevchenko</i>	26
Experience of Using the Simulation Systems of Visual Environment in the Simulators of Manned Space Vehicles. <i>A.I. Masalkin, M.A. Torgashev</i>	36
Development of the Simulator-Based System of Modeling the Means for Visual Instrumental Observations of the Earth's Surface from the Board of the ISS RS to Train Cosmonauts for Performing Geophysical Investigations. <i>V.S. Bartosh, M.S. Dyakov, S.A. Kuzikovskiy, V.I. Bragin</i>	43
Control System of the Life Support Means of the ISS Crews. <i>B.F. Zaretsky, G.I. Morozov, E.A. Kurmazenko, V.Yu. Proshkin</i>	49
Main Results of Testing Properties of Special-Purpose Underwear Used in the Course of Cosmonaut Training and Space Missions. <i>A.N. Supotnitskiy, O.S. Gordienko, A.V. Kalmin, M.V. Dvornikov</i>	67
Analysis of the Applicability Limits of the Statistical Optimization Technique of the Space Experiment Ground-Based Preparation by Economic and Time Indicators. <i>A.V. Markov, S.B. Pichugin</i>	83
OVERVIEWS.....	93
Features of Training of Non-Professional Cosmonauts for Flight Aboard the ISS. <i>B.I. Kryuchkov, M.M. Kharlamov, A.A. Kuritsyn</i>	93
Experience in Designing and Operating the Computer Systems of Space Simulators. <i>K.S. Lunkin, Yu.A. Vinogradov, V.N. Sayev</i>	102
HISTORY. EVENTS. PEOPLE	112
ASTP Program 40-Year Anniversary	112
Tunguska Meteorite and Cosmos in Paintings of the Artist N. Fedorov. <i>I.A. Ryumina, N.N. Fedorova</i>	115
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	126
XI International Scientific and Practical Conference "Manned Space Missions"	126

2-nd All-Russian Scientific and Practical Conference “Problems and Economic Development Prospects of High Tech Industry. Management, Resources’ Provision, and Cooperation Under Conditions of New Challenges”	127
International Scientific and Practical Conference “Research and Experiments on the ISS”	128
Database “Technical Facilities Ensuring the Execution of Eva on the ISS RS. Basic General- and Special-Purpose Tools and Devices Used in EVA”. <i>O.A. Brel, D.I. Verba, M.A. Zaytsev, V.S. Korennoy, V.V. Nesmeyanov, S.N. Kharlashkin</i>	129
Information for Authors and Readers.....	133

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-40/41 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА М.В. Сураев

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ М.В. Сураев
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-40/41 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-13М» 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-40/41 Expedition Training and Activity When Executing the Mission Plan. M.V. Suraev

The paper considers results of the ISS-40/41 expedition's activity aboard MTV "Soyuz TMA-13M" and the ISS. Also, it represents the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the overall program of spaceflight on the ISS. Particular attention is paid to carrying out 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-40/41 в составе (рис. 1):

Сураев Максим Викторович	командир ТПК «Союз ТМА-13М», бортинженер МКС-40, командир МКС-41 (Роскосмос, Россия)
Рид Вайзман	бортинженер ТПК «Союз ТМА-13М», бортинженер МКС-40/41 (НАСА, США)
Александр Герст	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-13М», бортинженер МКС-40/41 (ЕКА, Германия)

выполнил космический полет длительностью 165 суток с 28 мая 2014 года по 10 ноября 2014 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-13М» – «Цефей».



Рис. 1. Экипаж МКС-40/41

Опыт полетов членов экипажа

Сураев Максим Викторович в отряде космонавтов с 1997 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет с 30 сентября 2009 года по 18 марта 2010 года в качестве командира ТПК. Длительность полета – 169 суток.

Рид Вайзман – астронавт НАСА (США), зачислен в отряд в 2009 году. До назначения в экипаж опыта космических полетов не имел.

Александр Герст – зачислен в отряд ЕКА в 2009 году. Опыта космических полетов не имел.

Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-13М» был произведен 28 мая 2014 года с космодрома Байконур (Казахстан).

Параметры орбиты выведения: период $T = 88,66$ мин, наклонение $i = 51,65$, высота $h \times H = 200,70$ км \times 243,38 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-40/41 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 29 мая 2014 года ТПК «Союз ТМА-13М» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1; $T_{\text{КАСАНИЯ}} = 04:44:04$ ДМВ. Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;

– научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИиЭ;

– техническое обслуживание бортовых систем, дооснащение, ремонтно-восстановительные работы, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок;

– расстыковка ТГК «Прогресс М-21М» от стыковочного узла АО СМ произведена 9 июня 2014 года. Время физической расстыковки – 16:29 ДМВ;

- сближение американского грузового корабля «Sygnus» Orb-2 с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля к надирной части модуля Node2 АС МКС осуществлены 16 июля 2014 года ($T_{М.З.} = 15:59$ ДМВ);
- расстыковка ТГК «Прогресс М-23М» от стыковочного узла СО1 МКС выполнена 21 июля 2014 года ($T_{РАССТЫКОВКИ} = 00:44$ ДМВ);
- стыковка ТГК «Прогресс М-24М» со стыковочным узлом СО1 осуществлена 24 июля 2014 года ($T_{М.З.} = 06:30$ ДМВ). Сближение транспортного грузового корабля выполнено по 4-витковой схеме полета;
- стыковка европейского грузового корабля ATV-5 «Жорж Леметр» с АО СМ произведена 12 августа 2014 года ($T_{М.З.} = 16:29$ ДМВ);
- расстыковка американского грузового корабля «Sygnus» Orb-2 от МКС выполнена 15 августа 2014 года. Время отделения от манипулятора станции – 13:42 ДМВ;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-12М» от стыковочного узла модуля МИМ2 и посадка экипажа осуществлены 11 ноября 2014 года. Время посадки СА – 05:23:00 ДМВ;
- сближение американского грузового корабля многоразового использования «Dragon» SpaceX-4 с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля к надирной части модуля Node2 АС МКС выполнены 23 сентября 2014 года ($T_{М.З.} = 16:27$ ДМВ);
- стыковка ТПК «Союз ТМА-14М» к стыковочному узлу модуля МИМ2 осуществлена 26 сентября 2014 года ($T_{М.З.} = 05:11:29$ ДМВ); сближение транспортного пилотируемого корабля осуществлено по 4-витковой схеме полета;
- расстыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-4 от МКС произведена 25 октября 2014 года; время отделения от манипулятора станции – 16:57 ДМВ;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-24М» от стыковочного узла СО1 МКС выполнена 27 октября 2014 года ($T_{РАССТЫКОВКИ} = 08:38$ ДМВ);
- стыковка ТГК «Прогресс М-25М» со стыковочным узлом СО1 МКС выполнена 29 октября 2014 года ($T_{М.З.} = 16:08$ ДМВ); сближение транспортного грузового корабля выполнено по 4-витковой схеме полета;
- возвращение экипажа МКС-40/41 на Землю, расстыковка ТПК «Союз ТМА-13М» от стыковочного узла модуля МИМ1 и посадка выполнены 10 ноября 2014 года. Время расстыковки – 03:31:32 ДМВ, время посадки СА – 06:59 ДМВ.

Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-40/41 в составе командира ТПК «Союз ТМА-13М» Сураева Максима Викторовича, бортинженера Вайзмана Грегори Рида и бортинженера-2 Герста Александра проводилась с 2012 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по МКС и ТПК «Союз ТМА-13М» являлись:

- подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-13М»;
- 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 ТПК «Союз ТМА-13М» 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 случае срочного покидания МКС при разгерметизации и пожаре;
- 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 экипажа к выполнению сближения и причаливания ТПК «Прогресс-М» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТПК «Прогресс-М» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-39/40 и МКС-41/42;
- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемые корабли;
- подготовка к выполнению технического обслуживания, ремонта и дооснащения систем РС МКС;
- подготовка российских членов экипажа по задачам внекорабельной деятельности в объеме типовых операций и по программе ВКД-40;
- подготовка экипажа к выполнению программы научных экспериментов 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 борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-13М»

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно, $T_{\text{КП}} = 22:57:41$; $T_{\text{КО}} = 23:06:29$ ДМВ. В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено (рис. 2).

29 марта 2014 года на 3 и 4 витках полета выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1

(Т_{М.З.} = 04:44:04 ДМВ); сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме сближения.

После стыковки экипаж выполнил контроль герметичности отсеков корабля, контроль герметичности стыка, ускорения давления между отсеками ТПК и МКС и открытие переходных люков. Выполнив консервацию транспортного корабля, экипаж завершил первый этап программы автономного полета ТПК «Союз ТМА-13ТМ».



Рис. 2. Экипаж корабля «Союз ТМА-13М» перед стартом

10 ноября 2014 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж МКС-40/41 приступил к подготовке к возвращению на Землю. На 11-суточном витке выполнена расконсервация корабля. Переход на автономное питание выполнен на 12-суточном витке по КРЛ в 00:23:00 ДМВ. После разрешения ЦУПа в 00:25:00 выполнили ЗПЛ. На этом же витке выполнили проверку герметичности переходных люков.

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

10 ноября 2014 года на 14-суточном витке в автоматическом режиме с последующим одноимпульсным отводом выполнена расстыковка. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 03:30:00 ДМВ, время фактической расстыковки – 03:31:32 ДМВ.

Спуск выполнен по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-суточном витке, посадка – на 1-суточном витке. По указанию ЦУПа в 05:45:00 экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2.

Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 06:05:07 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 06:32:47 ДМВ.

После разделения отсутствовала связь ЦУПа с экипажем и восстановилась только после ввода ОСП. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +6 секунд. Максимальная перегрузка – 5 единиц. Посадка СА осуществлена 10 ноября 2014 года в 06:59 ДМВ в расчетной точке с координатами 51° 4' с.ш., 67° 19' в.д.

Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе. Работа по эвакуации экипажа началась непосредственно после приземления. Аппарат находился горизонтально, купол парашюта погашен (рис. 3).



Рис. 3. Встреча экипажа МКС-40/41 на Байконуре

Полет на борту МКС

Экипаж МКС-40/41 работал на борту МКС 164 суток с 29 мая 2014 года по 10 сентября 2014 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов, выполнил ремонтно-восстановительные работы, провел большое число телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

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

- мониторинг технического состояния контуров КОБ1, КОБ2;
- мониторинг состояния поверхности элементов конструкции герметичных корпусов РС МКС с использованием многофункционального вихретокового прибора МВП-2К;
- аудит свободного объема РС МКС в зонах хранения грузов на ФГБ, СО1, СМ, МИМ1, МИМ2;
- фотосъемка панелей интерьера СМ с фотометрическими мишенями для изготовления накладных листов;
- проверка работоспособности приборов ВШТВ, ВП-2, ПУМА;
- замена блока фильтров СО2 в газоанализаторе ИКО501 в СМ;

- установка накладных листов на панели интерьера ФГБ с предварительной обработкой дезинфицирующими средствами;
- замена светильников СД1-7 в МИМ1;
- замена блока коммутации интерфейса полезной нагрузки.

Работы по связи с общественностью включали выполнение фото- и видеосъемок для телестудии Роскосмоса, проведение ТВ-сеанса связи с членами Общественной палаты РФ, участниками IX Московского фестиваля науки в МГУ им. М.В. Ломоносова, видеосъемки приветствия для XXII Международной космической олимпиады, посвященной 80-летию Ю.А. Гагарина.

Динамические режимы

В ходе полета выполнялись следующие динамические режимы:

- расстыковка ТГК «Прогресс М-21М»;
- стыковка американского грузового корабля «Cygnus» Orb-2;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-23М»;
- стыковка ТГК «Прогресс М-24М»;
- стыковка европейского грузового корабля ATV-5 «Жорж Леметр»;
- расстыковка американского грузового корабля Orb-2 «Cygnus»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-12М»;
- стыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-4;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-14М»;
- расстыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-4;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-24М»;
- стыковка ТГК «Прогресс М-25М»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-13М».

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

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. ТГК «Прогресс М-21М» | 9 июня 2014 г. – расстыковка. |
| 2. «Cygnus» Orb-2 | 16 июля 2014 г. – стыковка. |
| 3. ТГК «Прогресс М-23М» | 21 июля 2014 г. – расстыковка. |
| 4. ТГК «Прогресс М-24М» | 24 июля 2014 г. – стыковка,
27 октября 2014 г. – расстыковка. |
| 5. ATV-5 «Жорж Леметр» | 12 августа 2014 г. – стыковка. |
| 6. «Dragon» SpaceX-4 | 23 сентября 2014 г. – стыковка,
25 октября 2014 г. – расстыковка. |
| 7. ТГК «Прогресс М-25М» | 29 октября 2014 г. – стыковка. |

Совместный полет с другими экипажами МКС

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-39/40, МКС-41/42.

С 29 мая 2014 года по 11 сентября 2014 года – совместный полет с экипажем МКС-39/40 в составе:

- Скворцов Александр Александрович (бортинженер МКС-39/40, Роскосмос, Россия);
- Артемьев Олег Германович (бортинженер МКС-39/40, Роскосмос, Россия);
- Свонсон Стивен (бортинженер экспедиции МКС-39, командир экспедиции МКС-40, НАСА, США).

С 26 сентября 2014 года по 10 ноября 2014 года – совместный полет с экипажем МКС-41/42 в составе:

- Самокутяев Александр Михайлович (бортинженер МКС-41/42, Роскосмос, Россия);
- Серова Елена Олеговна (бортинженер МКС-41/42, Роскосмос, Россия);
- Уилмор Барри Юджин (бортинженер экспедиции МКС-41, командир экспедиции МКС-42, НАСА, США).

10 июня 2014 года обнаружили дым из блока БРП-М. Были выполнены шаги по процедуре EMER-1a 2.3 «Пожар в РС». Далее, блок БРП-М был демонтирован, упакован и изолирован в ТК «Прогресс М-23М» для утилизации.

29 июля 2014 года во время второго пролива горячей водой клапана ГОР на новом БРП-М в зоне установки блока обнаружили появление задымления и запах гари. По рекомендации специалистов группы СОЖ отключили нагреватель БРП-М. Проведены замеры атмосферы газоанализатором CSA-CP с докладами на Землю. По рекомендации специалистов установили ранее демонтированный блок.

30 августа 2014 года обнаружили запах гари и признаки дыма в МИМ2. Нажали клавишу «FIRE» на ПСС СМ. Выявленным источником явился ТБУ-В, установленный 29 августа. Прибор выключили и отсоединили РБС.

Внекорабельная деятельность

Во время полета экспедиции МКС-40 и МКС-41 были выполнены 3 выхода в открытый космос.

Первый выход в открытый космос ВКД-38 осуществлен из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» 19 июня 2014 года продолжительностью 7 ч 24 мин в скафандрах «Орлан-МК».

Выход совершили космонавты из состава экспедиции МКС-40 А.А. Скворцов, О.Г. Артемьев. Максимом Сураевым была оказана помощь космонавтам на этапе входа в скафандры.

Второй выход в космос ВКД-39 осуществлен 18 августа 2014 года из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» в скафандрах «Орлан-МК» продолжительностью 5 ч 10 мин. Выход выполнили космонавты А.А. Скворцов, О.Г. Артемьев. В процессе шлюзования Максимом Сураевым была оказана помощь космонавтам на этапе входа в скафандры (рис. 4).

Третий выход в космос ВКД-40 проведен из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» 22 октября 2014 года в скафандрах «Орлан-МК» продолжительностью 3 ч 38 мин. Выход совершили космонавты М.В. Сураев, А.М. Самокутяев из составе экспедиции МКС-41 (рис. 5).

Время открытия выходного люка стыковочного отсека (СО1) «Пирс» – 16:28 ДМВ, закрытие – в 20:06 ДМВ.

Целевые задачи выхода:

- демонтаж радиометрического комплекса РК 21-8 с отталкиванием в открытый космос с УРМ-Д по скорости РО БД СМ;
- демонтаж и перенос в СО1 защитной крышки моноблока «Expose-R» с УРМ-Д по II плоскости РО БД СМ, фотографирование образцов;
- демонтаж антенн 2АСФ1-1 и 2АСФ1-2 с модуля МИМ2 с отталкиванием в открытый космос;



Рис. 4. М.В. Сураев оказывает помощь при входе в скафандры А.А. Скворцову и О.Г. Артемьеву



Рис. 5. Выход в открытый космос космонавта М.В. Сураева

- отбор проб-мазков с иллюминатора ВЛ-2 стыковочного отсека СО1 (космический эксперимент «Тест»);
- проведение фотосъемок внешней поверхности РС МКС.

Особенности выхода:

- А. Герст оказывал помощь экипажу ВКД на этапе входа в скафандры;
- продолжительность работы экипажа ВКД в открытом космосе составила 3 ч 38 мин, что значительно меньше запланированного времени – 6 ч 07 мин.

Основные задачи экипажа при выполнении научной программы

В процессе полета экипажем на борту российского сегмента МКС выполнялись исследования и эксперименты на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-39 и МКС-40» и «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-41 и МКС-42» (рис. 6, 7, таблица).

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

- ТХН-9 «Кристаллизатор».

Исследование Земли и космоса:

- ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат: эксперимент выполняется без участия космонавтов);
- ГФИ-1 «Релаксация»;
- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ-11 «Обстановка»;
- ГФИ-28 «Микроспутник» (автомат);
- ДЗЗ-17 «Напор-мини РСА»;
- КПП-22 «Экон-М»;
- КПП-23 «Радар-Прогресс» (автомат).

Человек в космосе:

- МБИ-16 «Взаимодействие-аттитюды»;
- МБИ-19 «Виртуал-1»;
- МБИ-25 «Пародонт-2»;
- МБИ-28 «Хроматомасс-спектр М»;
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работы с дозиметром «Пилле-МКС».

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-2 «Биориск»;
- БИО-4 «Аквариум (этап «Аквариум-AQH»);
- БИО-14 «Биосигнал»;
- БТХ-6 «АРИЛ» (помощь);
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БТХ-26 «Каскад» (помощь);
- БТХ-39 «Асептик» (помощь);
- БТХ-41 «Бактериофаг»;
- БТХ-42 «Структура» (фото);
- БТХ-44 «Кальций» (рис. 6).

Технология освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (автомат);
- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;



Рис. 6. Выполнение М.В. Сураевым эксперимента «Кальций»

- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);
- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-53 «Биополимер»;
- ТЕХ-58 «Выносливость»;
- ТЕХ-59 «Дальность» (автомат);
- КПП-24 «Тест» (включая ВКД-40).

Образование и популяризация космических исследований:

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

Контрактные эксперименты:

- КНТ-36 «Expose-R» (включая ВКД-40).

Эксперименты на АС МКС в интересах российских ученых:

- АСР-4 «IVA Clothing Study» (тестирование одежды ВнукКД).

Всего выполнено 45 экспериментов, из них 8 – в автоматическом режиме.

Новые эксперименты:

- БИО-14 «Биосигнал»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-53 «Биополимер»;
- МБИ-25 «Пародонт-2»;
- АСР-4 «IVA Clothing Study».



Рис. 7. М.В. Сураев в эксперименте «Великое начало»

Таблица

Структура российской научной программы МКС-40/41

№ п/п	Направления исследований	Всего	С участием экипажа
1	Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	1	1
2	Исследование Земли и космоса	8	5
3	Человек в космосе	6	6
4	Космическая биология и биотехнология	11	11
5	Технологии освоения космического пространства	13	9
6	Образование и популяризация космических исследований	4	4
7	Контрактные эксперименты	2	2
Всего:		45	38

В процессе выполнения медико-биологического эксперимента «Виртуал-1» отмечено неудовлетворительное состояние кабеля, подключенного к компьютеру. В период проведения эксперимента оборудование должно быть установлено, чтобы не возникало необходимости разбирать схему до окончания выполнения серии экспериментов.

Качество радиogramм для эксперимента «Матрешка-Р» неудовлетворительное (много перекрестных ссылок на б/д), невозможность считывания штрихкода на детекторе аппаратуры «Бабл-дозиметр» и случаи наличия детекторов с пузырьками воздуха – моменты, затрудняющие процесс выполнения экспериментов.

В этой связи можно отметить: аппаратура для проведения эксперимента «Отклик» установлена за панелью, которая часто загружена используемым оборудованием. Целесообразно перенести ее в другое место.

На контрактный эксперимент КНТ-36 «Expose-R» (включая ВКД-40) было затрачено 3 ч 40 мин. Экспонировались образцы органических и биологических материалов в условиях открытого космоса.

На эксперимент АС МКС в интересах российских ученых АСР-4 «IVA Clothing Study» затраты времени составили за 15 дней 4 ч 40 мин (включая бортовую тренировку, разовую операцию 10 минут, заполнение листа-опросника и укладку одежды на хранение после выполнения кардиотренировок, заполнение листа-опросника для одежды повседневного ношения).

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

Заключение

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-40/41, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-40/41 по транспортному кораблю «Союз ТМА-13М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.
2. Полет экипажа МКС-40/41 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами.
3. Высказанные экипажем в ходе полета и послеполетного разбора замечания и предложения целесообразно использовать заинтересованным организациям для совершенствования космической техники, повышения качества подготовки космонавтов и деятельности экипажа в ходе выполнения программы полета, организации работы персонала ГОГУ и других.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Виноградов П.В., Мисуркин А.А. Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-35/36 при выполнении программы космического полета // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(10). – 2014. – С. 4–16.
- [2] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-36/37 при выполнении программы космического полета // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(11). – 2014. – С. 4–17.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-40/41
(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-40/41. Дается краткая характеристика функционирования систем медицинского обеспечения полета и поддержания стабильности среды обитания космонавтов на РС МКС. Подведены итоги выполнения рекомендаций медицинских специалистов, программы медицинского контроля и использования бортовых средств профилактики нарушения состояния здоровья космонавтов в полете.

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

Express Analysis of Medical Support of the ISS-40/41 Crew Members.**V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper presents the results of medical maintenance of the ISS-40/41 expedition members. Also, it gives a brief description of operation of the systems of a mission's medical support and maintaining the stability of human environment aboard the ISS RS. Besides, the paper sums up the results of carrying out medical recommendations, medical monitoring program and the use of onboard means to prevent the alteration of cosmonauts' health status in spaceflight.

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

Выполнение программы полета

28 мая в 22:57:40 ДМВ с 5-й пусковой установки 1-й площадки космодрома Байконур стартовые расчеты предприятий ракетно-космической промышленности России осуществили пуск ракеты-носителя «Союз-ФГ» с пилотируемым космическим кораблем «Союз ТМА-13М». В составе экипажа: командир корабля, бортинженер-4 экспедиции МКС-40 и командир МКС космонавт-испытатель 3-го класса Роскосмоса Максим Викторович Сураев; бортинженер-1 корабля и бортинженер-5 МКС-40/41 астронавт НАСА, капитан 2-го ранга ВМС США Рид Вайзман; бортинженер-2 корабля, бортинженер-6 МКС-40/41 астронавт ЕКА гражданин Германии Александр Герст. Позывной экипажа – «Цефеи».

После выполнения маневров сближения 29.05.14 г. в 04:44 ДМВ была проведена стыковка ТПК № 713 с МКС в автоматическом режиме. Стыковка корабля проводилась по короткой 4-витковой схеме. Во время полета свое самочувствие экипаж оценивал как хорошее.

После открытия переходного люка (06:38 ДМВ/03:38 GMT) и перехода на станцию космонавты занимались переносом грузов из ТПК № 713, провели инструктаж по безопасности и другие работы. БИ-1 А. Скворцов активно помогал экипажу по разгрузке ТПК «Союз». Согласно штатному расписанию МКС функции БИ-4 были возложены на космонавта М. Сураева, БИ-5 – на астронавта НАСА Р. Вайзмана и БИ-6 – на астронавта ЕКА А. Герста.

После завершения рабочего дня на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 08:30 (29.05.14 г.) до утра 06:00 (30.05.14 г.) по GMT продолжительностью 21,5 часа.

31.05.14 г. и 01.06.14 г. экипажу были запланированы два дня отдыха. Согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 30.05.14 г. рабочая зона у БИ-4 сокращена на 1 час, а это время (по 1 часу) стали планировать на адаптацию и ознакомление со станцией.

30.05.14 г. и в последующие рабочие дни БИ-4 занимался разгрузкой ТПК № 713, подготовкой научной аппаратуры к проведению экспериментов, выполнением текущих работ на станции. Физические тренировки в полном объеме БИ-4 стали планировать с 01.06.14 г.

В последующий период (5–8-я недели) структура недельных циклов была штатной, планировались по 5 рабочих и 2 дня отдыха в неделю. На 6-й неделе полета экипажу были запланированы 4 рабочих и 3 дня отдыха, один из которых планировался в связи с празднованием в США Дня независимости. Рабочая нагрузка у БИ-4 не превышала нормативных величин. Эпизодически он выполнял работы (эксперименты) по программе Task List по своей инициативе, занимался мониторингом поверхности корпусов РС, осмотром стекол иллюминаторов в СМ и МИМ2, выполнением научных экспериментов.

На 9-й неделе (23–25.07.14 г.) экипаж занимался подготовкой к проведению стыковки ТГК № 423 с МКС с последующей разгрузкой срочных грузов. Стыковка ТГК проведена штатно в ночь на 24.07.14 г. в 03:32 GMT/06:32 ДМВ. После стыковки экипажу был предоставлен отдых с 04:30 до 13:00 24.07.14 г., продолжительностью 9,5 часа.

В последующий период полета (10–11-я недели) БИ-1 и БИ-2 занимались подготовкой к ВКД-39. БИ-4 согласно плану занимался текущими работами на станции, в том числе и срочными ремонтно-восстановительными работами АСУ. Кроме этих работ БИ-4 в свободное время занимался разгрузкой ТГК № 423.

В последующие недели полета БИ-4 занимался, в основном, установкой накладных листов на панели интерьера ФГБ, укладкой удаляемых грузов в ТГК № 423 и другими текущими работами. На 16-й неделе после завершения укладки срочных грузов в ТПК № 712 в 02:01 ДМВ 11.09.14 г. была проведена расстыковка ТПК № 712. После расстыковки и посадки экипажа ТПК № 712, оставшимся космонавтам на станции было предоставлено время для отдыха и сна продолжительностью 27 часов 20 минут. После ухода экипажа ТПК № 712 функции КЭ МКС были возложены на космонавта М. Сураева. На 17-й неделе (17–24.09.14 г.) КЭ продолжил работы по укладке удаляемых грузов в ТГК № 423, произвел замену комплекта АСУ, приступил к подготовке к стыковке ТПК № 714.

Стыковка ТПК № 714 была проведена 26.09.14 г. в 05:11 ДМВ/02:11 GMT штатно в автоматическом режиме.

КЭ продолжал работы по укладке удаляемых грузов в ТГК № 423 и вместе с БИ-1 проводили установку накладных листов на панели интерьера ФГБ. 22.10.14 г. КЭ и БИ-1 выполнили операцию «Выход» ВКД-40. Во время «Выхода» космонавты работали с опережением графика. Время ВКД составило 3 часа 38 минут (планировалось 6 часов 40 минут). После завершения ВКД экипажам было предоставлено время для отдыха (сна) с 01:00 до 09:30 GMT продолжительностью 8,5 часа.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 27.10.14 г. рабочая зона у КЭ была сокращена на 1 час с целью предоставления ему времени по

одному часу на подготовку к возвращению на Землю. 29.10.14 г. согласно плану была проведена стыковка ТГК № 424 с МКС штатно в автоматическом режиме. В последующие дни космонавты занимались разгрузкой ТГК, а КЭ продолжил работы по подготовке и укладке возвращаемых грузов на ТПК № 713. 08.11.14 г. после завершения работ по укладке грузов в ТПК № 713 экипаж произвел работы по расконсервации ТПК и укладке срочных грузов для возвращения на Землю. 09.11.14 г. перед расстыковкой ТПК сон космонавтам планировался продолжительностью 13,5 часа с 23:00 до 09:30 GMT. После завершения работ по укладке грузов в 03:27 ДМВ/00:27 GMT 10.11.14 г. была проведена расстыковка ТПК № 713. Посадка СА проведена 10.11.14 г. в 06:58 ДМВ в заданном районе. Таким образом, 166-суточный полет был завершен.

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

Общее полетное время экипажа составило 166 суток, из которых КЭ (БИ-4) планировались 111 рабочих и 55 дней отдыха. Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у КЭ было 33 полноценных дня отдыха, когда время работы не превышало 2 часов, 16 неполных дней отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от 2 до 4 часов и 6 дней практически были рабочими днями, когда время работы составило более 4 часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у КЭ составила 73 часа. Фактически в дни отдыха КЭ на выполнение рабочих операций затратил 96,5 часа. На работы по программе Task List в дни отдыха КЭ планировалось 78 часов. Фактически на эти работы он затратил 16 часов. Общее время работ в дни отдыха у КЭ составило 112,5 часа.

Во время рабочей встречи в ЦПК имени Ю.А. Гагарина 28.11.14 г. КЭ РТО во время полета оценил как нормальный, штатный, который способствовал успешному завершению программы полета.

Выделение времени по 1 часу на начальном этапе полета на адаптацию и на подготовку к возвращению на заключительном этапе полета космонавт оценил положительно.

При выполнении ночных операций по стыковке ТГК № 423 и ТПК № 715 проблем особых КЭ не испытывал. Перед ночными работами экипажу планировался дневной отдых 4–5 часов. По докладу КЭ в это время он не спал, а использовал время, чтобы расслабиться, отдохнуть от работы, посмотреть видеофильмы. Разгрузкой ТГК № 423 занимался только КЭ, так как он считал это важным моментом.

Перед ВКД и после ВКД дней отдыха было вполне достаточно.

Спать ложился обычно после 23–24 часов. Сон в среднем за полет составлял порядка 6–6,5 часа. Перед расстыковкой сон у КЭ составил 6 часов, планировалось 13,5 часа. Период бодрствования с момента старта ТПК был большим и составил 21,5 часа.

Вывод: РТО экипажа по своей структуре и рабочей нагрузке в целом соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный, нормальный и, по мнению КЭ, способствовал выполнению программы полета в полном объеме.

Успешному выполнению программы полета во многом способствовали опыт и профессионализм КЭ, приобретенные в предыдущем полете, оптимальная орга-

низация работ на станции, разумное взаимодействие и взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции, а также настрой на своевременное и в полном объеме выполнение профессиональных задач.

Состояние здоровья и медицинское обеспечение членов экипажа в полете

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа БИ-4 жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие и настроение были хорошими.

Выведение, автономный полет ТПК «Союз ТМА-13М» и стыковку с МКС перенес хорошо. Сонливости и утомления не было. РТО в предстартовый день был спланирован грамотно и позволил поддерживать хорошую работоспособность во время старта, выведения и стыковки. Перегрузки на выведении соответствовали ожидаемым. Организм сразу «вспомнил» невесомость. Симптомов болезни движения не было. Симптомы перераспределения жидкости к голове были невыраженными. Профилактическое изделие «Браслет-М» не использовал. В период автономного полета АСУ БО не использовалось. При входе на станцию вестибулярных расстройств не было. После выполнения предписанных после стыковки работ и приема пищи спал около 8 часов. Начальный этап острого периода адаптации к невесомости для БИ-4 протекал благоприятно.

На протяжении всего полета жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие было хорошим, настроение веселое, бодрое. Очень комфортно себя ощущал в составе экипажа из трех человек. Работы выполнял в соответствии с планом. Сон был достаточным, приносил чувство полноценного отдыха. Дни отдыха проводил по своему усмотрению.

23.10.14 г. после ВКД жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Во время выполнения работ по внекорабельной деятельности свое самочувствие оценивал как хорошее. Температурный режим в скафандре был комфортный. Ограничений в движении и дискомфорта при работе в скафандре не отмечал.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

При ежемесячных отборах проб воздуха пробоотборником ИПД-СО в СМ монооксида углерода не определялось. При отборах проб воздуха пробоотборником ИПД-NH₃ в СМ аммиака не обнаружено.

В сеансах радиосвязи замечаний от экипажа не поступало.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на протяжении всего полета БИ-4/КЭ санитарно-гигиеническую обстановку на станции оценивал как достаточно комфортную, обычную.

БИ-4 спал в левой каюте СМ, использовал спальный мешок. Во время проведения работ в зоне шумящего оборудования периодически носил наушники с активным поглощением шума. Отмечал, что на российском сегменте, в сравнении с его предыдущим полетом, уровень шума заметно уменьшился.

Во время сна дверь в каюту на ночь закрывал, периодически использовал наушники с активным шумоподавлением.

Питание и водопотребление

На всем протяжении полета замечаний от экипажа в сеансах радиосвязи не поступало.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на всем протяжении полета: аппетит хороший, водопотребление в норме.

Результаты акустических измерений

Во время полета проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы NoisePro).

Место сна российского члена экипажа М.В. Сураева – левая каюта СМ.



Место сна БИ-4

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка превышала предельно-допустимый уровень (ПДУ) за дневной период как у российских космонавтов (на 8,3–8,8 дБА), так и у американских астронавтов (на 12,8–18,7 дБА), а за ночной период – на 2,1–14,2 дБА и 1,3–4,2 дБА соответственно.

Уровни звука внутри гигиенической кабины модуля Node 3 за 14,5 часа дневного периода превышали допустимые значения на 10,0 дБА, а за 8,5 часа ночного периода – на 2,7 дБА.

В СМ в районе беговой дорожки БД-2 за 14 часов дневного периода превышали допустимые значения на 7,1 дБА, а за 8,5 часа ночного периода – на 6,3 дБА.

В связи с превышением допустимых значений акустической нагрузки за дневной период времени для всех членов экипажей рекомендовали использовать средства индивидуальной защиты слуха (беруши или наушники с активным подавлением шума) при работе в местах расположения шумящего оборудования. На период сна БИ-4 рекомендовали закрывать дверь каюты и использовать средства индивидуальной защиты слуха.

Проведенная замена вентиляторов в СМ и в СО1 способствовала снижению уровня шума в СМ (ПхО и ПрК) на 4,8 дБА и 3,7 дБА, а в СО1 (КТ 1) – на 2 дБА.

15.09.14 г. проводились исследования в модулях РС МКС (СМ, МИМ1 и МИМ2).

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

В СМ на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 0,8–6,5 дБА с максимальным значением в КТ2 (район СКВ и вентиляторов ВПО5 и ВПО6); в каютах превышение уровня звука 0,2–0,8 дБА.

По сравнению с предыдущими замерами уровни шума на рабочих местах СМ снизились на 0,7–2,9 дБА с максимальным снижением в КТ8 (рабочий стол) и КТ11 (ПрК). В каютах СМ уровни шума понизились на 4,0 и 6,2 дБА за счет полного закрытия каютной двери во время проведения замеров.

В МИМ1 на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 1,5–8,7 дБА с максимальным значением в КТ6.

По сравнению с предыдущими замерами уровень шума на рабочих местах МИМ1 понизился на 0,5–2,8 дБА практически во всех КТ, за исключением КТ4, где отмечено повышение уровня шума на 2,2 дБА.

В МИМ1 замеры выполнены после замены вентилятора БВН на малошумный аналог.

В МИМ2 на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 2,5–5,2 дБА с максимальным значением в КТ1.

По сравнению с предыдущими замерами уровень шума на рабочих местах МИМ2 понизился во всех КТ на 2,3–4,6 дБА.

В МИМ2 замеры выполнены после замены вентилятора БВН на малошумный аналог.

Таким образом, проведенная замена вентиляторов БВН в МИМ1 и МИМ2 способствовала снижению уровня шума в МИМ1 практически во всех КТ на 0,5–2,8 дБА и в МИМ2 – на 2,3–4,6 дБА.

Закрытая дверь в каютах СМ способствовала снижению уровня шума в левой и правой каютах на 4,0 дБА и на 6,2 дБА соответственно.

Радиационная обстановка в РС МКС

За время полета РО внутри станции оставалась спокойной.

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

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

В работе использовался комплект дозиметрических датчиков в количестве 11 ед.

Наименьшая мощность поглощенной дозы регистрировалась в NOD левая каюта на месте сна российского члена экипажа и СМ на панели 435. Большая мощность поглощенной дозы зарегистрирована в правой каюте СМ.

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

Система профилактики в полете

КЭ (БИ-4) 30–31.05.14 г. планировалось ознакомление с процедурами выполнения физических тренировок (ФТ) на бортовых тренажерах.

С 01.06.14 г. физические тренировки планировались по российской программе два раза в день общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2 и ВБ-3М/ARED.

С 13.10.14 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов ИМБП, планировались двухразовые тренировки на беговой дорожке БД-2 и ОДНТ-тренировки (с 28.10.14 г.).

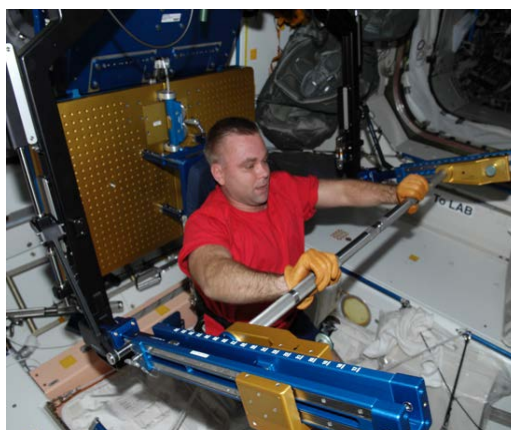
Профилактическое изделие «Браслет» не использовал.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» (155-е сутки полета) проведена без замечаний.

По ежедневным докладам ФТ выполнял в основном в полном объеме.



Измерение массы тела



Физические тренировки

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа, БИ-4 на протяжении всего полета физические тренировки выполнял в соответствии с формой 24.

03.06.14 г. БИ-4 выполнил локомоторную тренировку в ознакомительном режиме, сообщил, что адаптация организма к условиям невесомости прошла легко.

Вопросов и замечаний со стороны экипажа не было.

10.06.14 г. БИ-4 высказал предпочтение тренироваться на беговой дорожке Т-2, так как в СМ из-за высокой температуры воздуха бегать не комфортно.

08.07.14 г. доложил, что физические тренировки выполняет на Т-2 и ВБ-3М. На ВБ-3М выполняет большой объем тренировок в режиме ручной велоэргометрии. Во время тренировок на Т-2 всегда использует монитор ЧСС. Регулярно тренируется с эспандером (средним). БИ-4 предложил провести инвентаризацию эспандеров, так как ему попадались только один короткий эспандер, один средний и несколько (2–3) длинных. По мнению БИ-4, длинные эспандеры наименее востребованы, высказал пожелание доставить на РС МКС как минимум еще один комплект эспандеров.

Медико-биологические эксперименты

В период полета экипаж МКС-40/41 выполнил следующие медицинские эксперименты:

- БИО-1 «Полиген» – 30.10.14–09.11.14;
- БИО-2 «Биориск» – ежедневно в течение всего полета;
- БИО-4 «Аквариум» – 27.09.14–09.11.14;
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- РБО-3 «Матрешка-Р» – в течение всего полета;
- IVA – Тестирование одежды – с 15.09.14 до 01.10.14;
- МБИ-16 «Взаимодействие» – 05.06.14, 17.06.16, 17.07.14, 29.07.14, 14.08.14, 28.08.14, 08.09.14, 24.09.14, 07.10.14, 21.10.14, 06.11.14;
- МБИ-19 «Виртуал» – 30.05.14, 04.06.14, 11.06.14, 27.06.14, 28.07.14, 27.08.14, 24.09.14, 24.10.14;
- МБИ-25 «Пародонт-2» – 07.11.14;
- МБИ-28 «Хроматомасс» – 04.06.14, 12.06.14, 27.06.14, 05.09.14, 24.10.14.

Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-40/41 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Состояние здоровья членов экипажа в ходе полета оценивается как «хорошее» и «соответствующее длительности полета».



Работа в модуле МИМ2

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

Медицинские операции и медико-биологические эксперименты выполнены экипажем в полном объеме в соответствии с программой полета на высоком профессиональном уровне. Уровень предполетной подготовки – адекватный задачам полета.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

NODE 2 – модуль станции

TVIS – американская беговая дорожка (тредмил виброизолирующая система)

АСУ – ассенизационно-санитарное устройство

ВБ-3М – велоэргометр бортовой

ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера

ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела

СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности

СОГС – средства обеспечения газовой среды

СТР – система теплорегуляции

ФГБ – функциональный грузовой блок

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.072.8

РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА ТРЕНАЖЕРОВ ОРБИТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

Е.В. Полунина, Л.Е. Шевченко

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

Рассмотрен состав, особенности структуры и функциональные возможности комплекса тренажеров орбитальных модулей российского сегмента МКС и перспективы его развития в соответствии с государственной программой Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы».

Ключевые слова: российский сегмент МКС, комплексные и специализированные тренажеры для подготовки космонавтов, комплекс тренажеров, перспективное развитие.

Development of the Simulator Complex of Orbital Modules of the ISS Russian Segment. E.V. Polunina, L.E. Shevchenko

The paper considers the configuration, structure features, and functionality of the simulator complex of orbital modules of the ISS Russian segment and the prospects for its development in accordance with the State program of the Russian Federation "Space activities of Russia in 2013-2020".

Keywords: the ISS Russian Segment, integrated and dedicated simulators for cosmonaut training, simulator complex, long-term development.

Введение

Развитие комплекса тренажеров орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) определяется стратегией пилотируемой космонавтики, предусматривающей постепенное наращивание российских орбитальных модулей в течение предстоящих лет [1]. Планируется, что в состав РС МКС будут введены многоцелевой лабораторный модуль (МЛМ), узловой модуль (УМ), научно-энергетический модуль (НЭМ) и многоцелевой автоматический космический аппарат (КА) «ОКА-Т».

Создание новых тренажеров будет осуществляться с учетом предшествующего многолетнего опыта, принятой концепции, технологических и технических принципов проектирования и разработки тренажеров модулей РС МКС. Предстоит решить ряд научных и инженерно-технических вопросов, касающихся не только разработки и интеграции тренажеров в структуру современного тренажерного комплекса, но и изменение самой структуры тренажерного комплекса с целью обеспечения неуклонно возрастающего объема подготовки космонавтов.

Современный комплекс тренажеров модулей РС МКС

Комплекс тренажеров модулей РС МКС (рис. 1) 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. На протяжении уже почти 20 лет комплекс тренажеров находится в состоянии постоянного развития. В соответствии с постепенным наращиванием МКС новыми модулями в состав комплекса интегрируются новые тренажеры, дорабатываются тренажерные системы, математические и визуальные модели.



Рис. 1. Комплекс тренажеров модулей российского сегмента МКС

Тренажеры, входящие в состав современного комплекса, по специализации и структурной организации можно разделить на две группы. В первую группу входят тренажеры, разработанные в составе тренажерного комплекса (ТК) РС МКС:

- комплексный тренажер служебного модуля «Звезда» – тренажер «СМ»;
- комплексный тренажер функционально-грузового блока «Заря» – тренажер «ФГБ»;
- комплексный тренажер стыковочного отсека «Пирс» – тренажер «СО1»;
- комплексный тренажер малого исследовательского модуля № 1 «Рассвет» – тренажер «МИМ1»;
- комплексный тренажер малого исследовательского модуля № 2 «Поиск» – тренажер «МИМ2»;
- учебно-тренировочный макет транспортного грузового корабля «Прогресс» – УТМ ТКГ.

Во вторую группу входят специализированные тренажеры автономные:

- специализированный тренажер европейского манипулятора – тренажер «Дон-ERA»;
- специализированный тренажер телеуправления транспортными грузовыми кораблями и целевыми модулями – тренажер «Телеоператор»;
- тренажер шлюзования и выхода в открытый космос – тренажер «Выход».

На всех тренажерах орбитальных модулей обеспечивается решение общих задач подготовки, таких как:

- изучение экипажем внутреннего интерьера модулей, расположения оборудования, приборов и элементов бортовых систем и полезной нагрузки, способов их крепления, монтажа и демонтажа;
- отработка навыков по работе с бортовыми системами и научной аппаратурой в штатных и расчетных нештатных ситуациях;
- отработка навыков выполнения монтажно-демонтажных работ, операций технического обслуживания научной аппаратуры и бортовых систем модулей;
- отработка навыков по расконсервации и консервации модулей;
- отработка действий экипажа в аварийных ситуациях (пожар, разгерметизация, токсичность атмосферы).

Помимо перечисленных задач в соответствии со специализацией модулей на тренажерах обеспечивается решение ряда специфических задач подготовки.

В СМ находятся основные вычислительные средства и системы, обеспечивающие управление бортовыми системами и полезной нагрузкой модулей РС МКС и МКС в целом и взаимодействие с Центром управления полетами и центральным компьютером американского сегмента. Поэтому в дополнение к общим задачам на комплексном тренажере «СМ» отрабатываются навыки выполнения мультисегментных операций (совокупность взаимосвязанных операций, выполняемых экипажами на российском и американском сегментах или на одном из сегментов с дистанционным изменением режимов работы бортовых систем другого сегмента).

На комплексном тренажере «ФГБ» акцент сделан на тренировки по размещению грузов и проведению их инвентаризации.

На тренажере «СО1» проводится обучение космонавтов по выполнению операций выхода в открытый космос, включая операции, выполняемые в день выхода: подготовка скафандра к использованию, управление комплексом средств шлюзования модуля СО1 в соответствии с требуемыми циклограммами работ.

Основным целевым назначением тренажеров «МИМ1» и «МИМ2» является отработка навыков подготовки и проведения космических экспериментов: монтаж, подключение аппаратуры к бортовым системам модулей, проведение экспериментов, экспресс-обработка результатов исследований и их передача на Землю.

Учебно-тренировочный макет ТК «Прогресс» обеспечивает подготовку космонавтов к выполнению разгрузочных работ с использованием системы инвентаризации, отработку проведения операций по восполнению ресурсов системы жизнеобеспечения РС МКС.

Специализированный тренажер европейского манипулятора «Дон-ERA» предназначен для отработки практических навыков при выполнении ручных режимов управления европейским робототехническим манипулятором «ERA» с внешнего и внутреннего пультов управления.

Специализированный тренажер «Телеоператор» обеспечивает подготовку к контролю автоматических и выполнению ручных операций сближения и стыковки транспортных грузовых кораблей и целевых модулей к различным портам РС МКС в режиме телеоператорного ручного управления.

Специализированный тренажер «Выход» предназначен для подготовки космонавтов по операциям обслуживания и эксплуатации выходного скафандра «Орлан», по процедурам шлюзования и отдельным рабочим операциям внекорабельной деятельности.

Технологические и технические принципы разработки комплекса тренажеров орбитальных модулей РС МКС

Комплекс тренажеров орбитальных модулей РС МКС разработан на основе технологий создания программно-аппаратных комплексов с использованием математического и натурального моделирования. Разработка комплекса тренажеров орбитальных модулей РС МКС началась в декабре 1995 года. Главным разработчиком комплекса тренажеров орбитальных модулей РС МКС является ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала». В кооперацию разработчиков входят ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва», ГКНПЦ имени М.В. Хруничева и другие отечественные и зарубежные партнеры.

Большая часть тренажеров орбитальных модулей, согласно приведенному выше перечню, разработана в составе ТК РС МКС. В рамках создания ТК РС МКС разными группами разработчиков параллельно разрабатывались три его составляющих: тренажерный комплекс РС МКС, модель бортовой вычислительной системы (МБВС), имитатор американского сегмента МКС (AST).

Тренажерный комплекс включает в свой состав:

- полномасштабные макеты российских модулей – рабочие места оператора (РМО), оснащенные оборудованием в технологическом, тренажном и габаритно-макетном исполнении блоков;
- функциональные системы тренажера: вычислительная система (ВС), устройство сопряжения оборудования макетов с вычислительной системой (УСО), пульт контроля и управления тренировкой (ПКУ), система медицинского контроля (СМК), система электропитания (СЭП), система имитации связи «борт–Земля» (СИСБЗ), система имитации визуальной обстановки (СИВО), телевизионная аппаратура (ТВА);
- сетевые средства, интегрирующие тренажерные системы и модули в тренажерный комплекс.



а) РМО – полномасштабные макеты модулей



б) пульт контроля и управления

Рис. 2. Тренажерный комплекс РС МКС

На рисунке 2 показаны основные компоненты тренажерного комплекса – рабочие места операторов и пульт контроля и управления.

Комплекс создавался по технологии, разработанной на основе более чем тридцатилетнего опыта построения космических тренажеров, опробованной на последних тренажерах по программе «Мир» и усовершенствованной в свете новых информационных технологий [2]. Основная концепция технологии заключается в выделении и унификации идентичных для всех тренажеров систем, построении унифицированных систем в виде типовых модулей, разрабатываемых как открытые системы, которые в последующем могут дополняться и расширяться с учетом конкретного применения. К унифицированным системам в тренажерном комплексе относятся ВС, СИВО, СМК, СИСБЗ, СЭП. В рамках данной технологии предварительно создается инфраструктура тренажера из типовых унифицированных модулей и средств сопряжения между ними, которая затем наполняется специфическими элементами и системами. К специфическим системам относятся РМО вместе с устройством сопряжения, математические модели бортовых систем и динамических режимов МКС и форматы ПКУ.

Модель бортовой вычислительной системы («МБВС»), разработчиком которой является РКК «Энергия», представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, включающий:

- модель БВС (штатное программное обеспечение, реализованное на наземных вычислительных средствах);
- штатный интерфейс экипажа с БВС;
- модель ЦУПа в части функций выдачи управляющих воздействий и контроля в минимальном, но достаточном для тренажера объеме;
- инженерную станцию, служащую для контроля и управления тренировочным процессом, организации интерфейса с тренажерным комплексом и имитатором американского сегмента.

Для возможности отработки штатного программного обеспечения БВС на инструментальном комплекте «МБВС» на базе разработчика – РКК «Энергия», в «МБВС» были включены также модели бортовых систем, управляемых БВС, модель движения МКС в целом, ее внешней и внутренней среды. «МБВС» интегрирована с тренажерным комплексом и имитатором американского сегмента «AST». Наличие собственной системы управления позволяет проводить также автономные занятия в классе «МБВС» по бортовым системам российского сегмента, управляемым БВС, и режимам станции.

Имитатор «AST», разработанный американскими партнерами, включает модель американского сегмента, интерфейс экипажа, систему управления тренировочным процессом и моделью американского сегмента.

«МБВС», «AST» и все системы тренажерного комплекса, кроме РМО, построены на основе вычислительной техники. Они включаются и загружаются автономно, имеют свой интерфейс разработки и отладки программного обеспечения, контроля, управления режимами работы и тестирования оборудования и мо-



Рис. 3. Класс «МБВС»

гут работать как в автономном варианте, так и в составе тренажерного комплекса. На время тренировки системы комплекса объединяются в единую вычислительную сеть. В процессе тренировки управление системами тренажерного комплекса ведется централизованно с ПКУ тренажера «СМ». Управление «МБВС» и «АСТ» осуществляется с использованием собственных средств. Такая структура тренажерного комплекса позволяет проводить гибкое конфигурирование программных и аппаратных средств под задачи подготовки, развивать и модернизировать отдельные компоненты, не затрагивая остальные части комплекса. При проведении тренировок используются различные конфигурации программно-аппаратных средств тренажерного комплекса: от минимальной (при проведении практических занятий на «МБВС») до максимальной (при проведении мультисегментных операций) с использованием всех компонентов тренажерного комплекса, включая «МБВС» и имитатор «АСТ».

Опыт подготовки первых международных экипажей на МКС показал, что системы тренажерного комплекса несут различную нагрузку. Наиболее интенсивно используется «МБВС». При этом суммарное время на подготовку космонавтов и сопровождение комплекса (смена версий программного обеспечения, в том числе и штатного, расширение задач моделирования, устранение замечаний, выявленных в ходе эксплуатации, проведение отладочных, испытательных и профилактических работ) превышало возможности комплекса [3]. Поэтому в ноябре 2000 года в тренажерный комплекс был интегрирован второй комплект «МБВС», что позволило увеличить количество занятий и не прерывать процесс подготовки на период установки и последующей проверки новых версий программного обеспечения «МБВС».

Благодаря тому, что в тренажерный комплекс в настоящее время интегрированы 2 комплекта «МБВС», одновременно можно проводить до трех практических занятий по бортовым системам и отработке методик проведения космических экспериментов или комплексную тренировку и одно практическое занятие.

Тренажеры перспективных модулей РС МКС

Специализация планируемых к запуску модулей МЛМ, УМ, НЭМ и КА «ОКА-Т» различна. При этом они будут использоваться для выполнения обширной программы научно-прикладных и фундаментальных исследований [4]. Программа направлена на отработку ключевых элементов перспективных космических систем, отработку новой технологической и приборной базы, создание упреждающего научно-технического задела по новым материалам, базовым элементам и схемотехническим решениям для различных космических комплексов и бортовой аппаратуры, осуществления образовательных и популяризаторских проектов, обеспечения космических полетов, проведения фундаментальных исследований.

На 2017 год намечен запуск МЛМ, который должен предоставить самые широкие возможности осуществления российской научной программы. На 2018 год также намечен запуск УМ, который будет пристыкован к надирному узлу МЛМ. УМ имеет 6 стыковочных агрегатов, благодаря чему в дальнейшем обеспечит прием транспортных кораблей «Союз» и «Прогресс» новых модификаций и стыковку орбитального модуля НЭМ с РС МКС.

В 2020 году планируется запуск научно-энергетического модуля. Модуль предназначен для наращивания орбитальной инфраструктуры РС МКС с целью проведения фундаментальных и научно-прикладных исследований и экспериментов

внутри и снаружи модуля и независимого энергетического обеспечения РС МКС. На модуле НЭМ предусматривается резервирование решения задач построения и поддержания ориентации МКС при нештатных ситуациях на СМ.

В период до 2021 года планируется выведение многоцелевого автоматического космического аппарата «ОКА-Т», который предназначен для проведения научных исследований на орбите с использованием преимуществ свободнолетающего КА: низкого уровня микрогравитации и возможности создания зоны открытого космического пространства с высоким вакуумом. КА «ОКА-Т» будет функционировать в режиме автономного полета на околоземной орбите, близкой к орбите МКС, и периодически стыковаться к порту УМ РС МКС в автоматическом режиме. Контроль состояния и управление бортовыми системами КА «ОКА-Т» будет выполнять ЦУП. Длительность автономного полета в цикле составляет от 90 до 180 суток. Длительность цикла обслуживания КА «ОКА-Т» в составе орбитальной станции или перспективной пилотируемой транспортной системы составляет не более семи суток. В составе РС МКС экипаж должен выполнять работы внутри КА «ОКА-Т» для получения результатов проведенных прикладных технологических и биотехнологических исследований, готовить КА к следующему циклу автономного полета, проводить техническое обслуживание научной аппаратуры и бортовых систем.

На основе анализа эскизных проектов на разработку модуля НЭМ и КА «ОКА-Т» определен состав технических средств подготовки космонавтов и разработаны технические предложения по их созданию.

С учетом многофункциональности задач подготовки в состав технических средств подготовки космонавтов по модулю НЭМ и КА «ОКА-Т» должны войти (для каждого из названных летных изделий):

- комплексный тренажер для проведения тренировок экипажей по выполнению программы полета, включая обнаружение и локализацию нештатных ситуаций;
- специализированный тренажер «Телеоператор» (доработанный под задачи летного изделия) для проведения тренировок по контролю автоматических режимов сближения, причаливания, облета и стыковки и выполнению телеоператорного режима причаливания и стыковки;
- макет экспериментальной установки для отработки операций ВКД в условиях моделированной невесомости в гидросреде;
- функционально-моделирующий стенд виртуальной реальности для изучения конструкции и компоновки, состава служебных бортовых систем и научной аппаратуры отработки первоначальных навыков по выполнению режимов управления бортовыми системами;
- средства для подготовки к выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов;
- учебные интерактивные средства.

Комплексные тренажеры «НЭМ» и «ОКА-Т» будут создаваться на базе и в составе ТК РС МКС. После интеграции тренажеров в состав ТК РС МКС должно быть обеспечено как автономное их функционирование, так и совместное функционирование с тренажерами комплекса в режимах состыкованной фазы полета.

С развитием комплекса тренажеров по мере интеграции в его состав тренажеров модулей РС МКС, расширением программ подготовки, увеличением численности экипажей соответственно увеличивается количество тренировок (рис. 4). В настоящее время комплекс эксплуатируется на 70 % мощности.

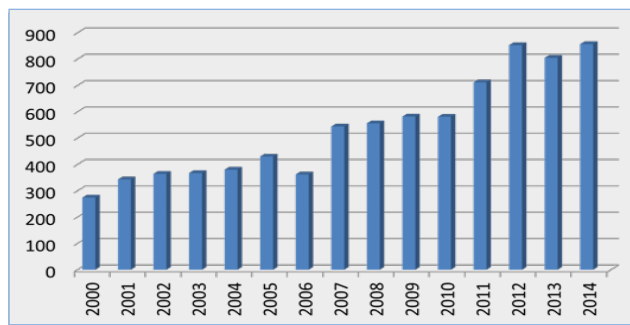


Рис. 4. Количество проведенных тренировок на комплексе тренажеров РС МКС

Анализ загруженности комплекса тренажеров модулей РС МКС за последние полгода свидетельствует о большом объеме и интенсивности проводимых занятий. В течение этого времени проводилась подготовка 39 космонавтов и астронавтов: девяти экипажей МКС, экспедиции посещения и трех групп российских космонавтов, находящихся на этапе подготовки в составе групп. Ежемесячно (2 или 3 раза в месяц) проводятся методические сборы инструкторов для отработки методик подготовки космонавтов на тренажерах комплекса и обучение новых инструкторов и преподавателей. С выведением на орбиту модулей МЛМ, УМ, НЭМ и КА «ОКА-Т» при тех же сроках тренажерной подготовки экипажей к выполнению программ полетов значительно возрастет объем подготовки и нагрузка на тренажерный комплекс.

В настоящее время ведется интеграция тренажера «МЛМ» в ТК РС МКС.

Для управления бортовыми системами орбитального модуля МЛМ и полезной нагрузкой, в отличие от предыдущих орбитальных модулей РС МКС, используется лэптоп регионального поста МЛМ, подключенный непосредственно к терминальной вычислительной машине МЛМ. С учетом этого на примере интеграции тренажера МЛМ в состав тренажерного комплекса были рассмотрены три варианта развития структуры комплекса и его функциональных возможностей по обеспечению проведения тренировок.

Вариант 1. В этом варианте наращивание программных и аппаратных средств происходит без изменения базовой структуры тренажерного комплекса. В тренажерный комплекс вводится макет МЛМ (РМО) вместе с устройством сопряжения. В «МБВС» тренажерного комплекса добавляется модель БВС МЛМ. Добавляется телевизионная аппаратура, которая устанавливается в макет «МЛМ» и коммутируется с ПКУ комплекса. Во всех системах тренажерного комплекса, за исключением системы медицинского контроля, происходит наращивание программных и аппаратных средств. До настоящего времени именно так осуществлялась интеграция тренажеров выводимых на орбиту модулей в состав тренажерного комплекса РС МКС. При этом варианте, так же как и сейчас, мы получаем тренажерный комплекс (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2», «МЛМ») с гибкой конфигурацией программных и аппаратных средств, на котором одновременно можно проводить до трех практических занятий по бортовым системам и полезной нагрузке российского сегмента или одно практическое занятие и одну из следующих трех тренировок:

- 1) тренировка на тренажере «МЛМ»;
- 2) тренировка на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»);
- 3) тренировка на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2», «МЛМ»).

Вариант 2. Как и в первом варианте, в «МБВС» тренажерного комплекса добавляется модель БВС МЛМ. В структуру тренажерного комплекса интегрируется третий сервер ВС (2 из них используются при проведении тренировок или практических занятий, третий находится в резерве) и ПКУ «МЛМ». Благодаря этому появляется возможность проводить:

- 1) две тренировки: тренировку на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2») и тренировку на тренажере «МЛМ»;
- 2) тренировку на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2», «МЛМ») и одно практическое занятие на «МБВС» в автономном варианте;
- 3) до четырех практических занятий по бортовым системам и полезной нагрузке.

Вариант 3. В этом варианте модель БВС МЛМ не добавляется в «МБВС» комплекса («СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»), как это было сделано в первом и втором вариантах. Вместо этого в тренажерный комплекс интегрируются два автономных комплекта «МБВС» тренажера «МЛМ». При этом «МБВС» тренажера «МЛМ» и «МБВС» комплекса («СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2») могут функционировать как отдельно, так и совместно. При таком варианте на тренажерном комплексе появляется возможность проводить:

- 1) тренировку на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»), тренировку на тренажере «МЛМ» и два практических занятия на «МБВС» комплекса («СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2») и «МБВС» тренажера «МЛМ»;
- 2) тренировку на комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2», «МЛМ») и два практических занятия на «МБВС» комплекса («СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2») и «МБВС» тренажера «МЛМ» или одно практическое занятие на «МБВС» тренажера «МЛМ» совместно с «МБВС» комплекса («СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»);
- 3) до шести практических занятий по БС и полезной нагрузке.

Первый вариант является наиболее экономичным с точки зрения затрат на интеграцию тренажера «МЛМ» в состав тренажерного комплекса. При данном варианте расширяются функциональные возможности комплекса для обеспечения предстоящего объема подготовки, но не происходит увеличения числа одновременно проводимых практических занятий и тренировок.

На модуле МЛМ оборудованы автоматизированные рабочие места экипажа для выполнения исследований по всем десяти направлениям научной программы, предстоит активное участие экипажа в управлении научной аппаратурой на базе многоуровневой информационно-управляющей системы комплексом целевых нагрузок. Значительную часть модели МЛМ будут составлять модели научной аппаратуры и космических экспериментов. Поэтому уже второй вариант, при котором возможно реализовать одновременно два тренировочных процесса – на тренажере «МЛМ» и комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»), позволит увеличить количество часов подготовки по управлению бортовыми системами МЛМ и научной аппаратурой и отработке методик проведения космических экспериментов.

Третий вариант является наиболее затратным, но лучшим с точки зрения увеличения объема и часов подготовки за счет возможности проведения большего числа одновременно проводимых занятий и тренировок. Поэтому для интеграции тренажера «МЛМ» был принят третий вариант развития структуры тренажерного комплекса РС МКС.

Учитывая, что НЭМ, так же как и МЛМ, при полете в составе МКС управляется с ноутбука НЭМ, в перспективе целесообразно использовать третий вариант интеграции тренажера «НЭМ» в тренажерный комплекс. Это позволит проводить одновременно тренировки на тренажерном комплексе (в составе тренажеров «СМ», «ФГБ», «МИМ1», «МИМ2»), тренировку на тренажере «МЛМ» и тренировку на тренажере «НЭМ».

В каждом отдельном случае интеграции тренажеров новых орбитальных модулей в состав тренажерного комплекса РС МКС может быть выбран любой из трех рассмотренных вариантов. При этом общей тенденцией развития структуры тренажерного комплекса является введение моделей БВС перспективных модулей и серверов ВС тренажерного комплекса, на которых реализуются математические модели новых орбитальных модулей и их интерфейсы, а также введение дополнительных ПКУ.

Заключение

Технология построения комплекса тренажеров орбитальных модулей РС МКС на основе унификации и модульного построения тренажерных систем обеспечила возможность эффективной модернизации комплекса и интеграции тренажеров в его состав в соответствии с наращиванием МКС новыми модулями.

Дальнейшее развитие комплекса тренажеров РС МКС связано с интеграцией в его состав тренажеров модулей МЛМ, УМ и предстоящей разработкой тренажеров модулей НЭМ и ОКА-Т, которые будут создаваться на базе и в составе тренажерного комплекса РС МКС.

Для обеспечения предстоящего объема подготовки космонавтов, связанного с интеграцией новых тренажеров в состав тренажерного комплекса, в его структуру необходимо будет вводить модели бортовых вычислительных систем перспективных модулей, дополнительные серверы вычислительной системы тренажерного комплекса и дополнительные пульты контроля и управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Основы государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности до 2030 года и на дальнейшую перспективу (утверждены Президентом Российской Федерации 19 апреля 2013 г. № Пр-906).
- [2] Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. Под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [3] Полунина Е.В. Комплексный тренажер российского сегмента Международной космической станции // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 5. – С. 40–45.
- [4] Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС.

УДК 629.78.072.8

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ИМИТАЦИИ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ В ТРЕНАЖЕРАХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.И. Масалкин, М.А. Торгашев

Канд. тех. наук, доцент А.И. Масалкин (ЗАО «Бликс», г. Москва)
Канд. физ.-мат. наук М.А. Торгашев (НИИСИ РАН, г. Москва)

В статье рассматриваются исторические аспекты и опыт использования систем имитации визуальной обстановки в тренажерах пилотируемых космических аппаратов, созданных и эксплуатируемых в Центре подготовки космонавтов (Звездный городок). Подробно рассмотрена структура систем генерации изображений и развитие технических средств для их реализации, начиная от оптико-механических имитаторов до компьютерных генераторов, использующих современные средства машинной графики. Приведен исторический обзор созданных систем с описанием их возможностей и опыта эксплуатации. В заключительной части рассмотрено состояние систем имитации визуальной обстановки, используемых для решения задач подготовки космонавтов в настоящее время, приведены характеристики визуальных моделей и возможности разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: системы имитации визуальной обстановки, компьютерная генерация изображений, тренажеры пилотируемых космических аппаратов, подготовка космонавтов.

Experience of Using the Simulation Systems of Visual Environment in the Simulators of Manned Space Vehicles. A.I. Masalkin, M.A. Torgashev

The paper discusses the historical aspects and experience in using the simulation systems of visual environment in the simulators of manned space vehicles designed and operated at the Cosmonaut Training Center (Star City). Also, it examines in detail the structure of the image generation systems and the progressive development of technical means for their realization beginning with the optical-mechanical simulators to computer generators that use the modern means of computer graphics. The paper gives a historical review of the developed systems and describes their performance capabilities and experience of operation. The final part of the paper describes the status of the simulation systems of visual environment, used presently to tackle issues of cosmonaut training, characteristics of visual models and capabilities of the developed software.

Keywords: simulation systems of visual environment, computer image generation, simulators of manned space vehicles, cosmonaut training.

Одной из важнейших составных частей тренажеров пилотируемых космических аппаратов, впрочем, как и подавляющего большинства тренажеров других динамических объектов, является система имитации визуальной обстановки в приборах и средствах наблюдения (СИВО), структура которой изображена на рис. 1.

Для первых тренажеров пилотируемых космических кораблей создавались уникальные, не имеющие аналогов оптико-механические имитаторы визуальной обстановки, предназначенные для моделирования визуальной обстановки в конкретных средствах наблюдения. В этих имитаторах функции формирования изображения и функции отображения изображения в средстве наблюдения были совмещены, а для контроля изображения использовалась телевизионная камера, которая передавала изображение визуальной обстановки на видеомонитор пульта инструктора. Учитывая уникальность и сложность таких имитаторов, стоимость

их была весьма большой, а сроки изготовления растягивались на годы. В 1971 году была запущена первая космическая станция «Салют», и появилась задача подготовки экипажей по осуществлению режимов сближения и стыковки транспортных кораблей со станциями. И в тренажерах в конце 60-х и начале 70-х годов появились первые оптико-телевизионные имитаторы, в которых функции формирования первичного изображения и функции отображения этого изображения в средстве наблюдения были разделены. Прежде всего, это было связано с тем, что появились штатные бортовые телевизионные системы, в задачи которых, в числе прочих, входил контроль процесса сближения и стыковки, или с помощью которых непосредственно осуществлялась стыковка.

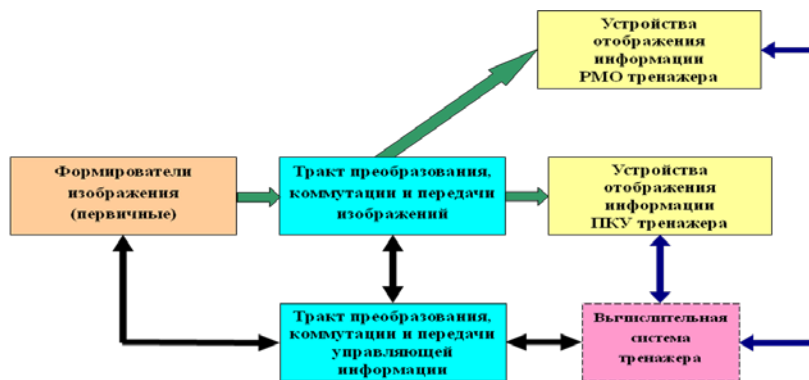


Рис. 1. Структура СИВО

Объем средств СИВО для тренажеров являлся достаточно большим. Поэтому при разработке средств СИВО требовалось соединить два разноплановых требования – создание средств для имитации визуальной обстановки в конкретном приборе или средстве наблюдения и чтобы они, по возможности, были унифицированными, поскольку это является основополагающим принципом централизации средств. Кроме того, технические средства должны были быть достаточно надежными или обеспечены резервированием и должно было быть обеспечено документирование процесса тренировки путем видеозаписи любых нужных сюжетов с помощью видеомагнитофонов.

Наиболее полно требованиям универсальности соответствовали разрабатываемые в Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения Академии наук так называемые синтезирующие системы визуализации (ССВ). Подключение Института автоматики и электрометрии в качестве соисполнителя по созданию синтезирующих систем визуализации позволило ЦПК имени Ю.А. Гагарина в 1985 году получить первую рабочую систему «Аксай». «Аксай» был разработан для задач моделирования визуальной обстановки в передних иллюминаторах тренажеров изделия «Буран». Однако, так как создание этих тренажеров затягивалось, в 1988 году было решено доработать «Аксай» в части визуальных моделей (ВМ) для проведения подготовки операторов по управлению автономным средством перемещения космонавта на тренажере «Дон-21КС». Работа была успешно выполнена, и в декабре 1988 года была проведена первая тренировка на тренажере. Подготовка операторов по программе пятой основной экспедиции на

тренажере «Дон-21КС» прошла хорошо, что и позволило 1 февраля 1990 года летчику-космонавту А.А. Сереброву провести испытания средства перемещения в открытом космосе. Всего на системе «Акса́й» было проведено около 70 тренировок.

Ограниченные технические возможности и низкая надежность не позволяли использовать эту систему ни на тренажерах изделия «Буран», ни на тренажерах транспортного корабля «Союз-ТМ». Поэтому в 1987 году была начата разработка системы компьютерной генерации изображений следующего поколения – синтезирующей системы визуализации «Альбатрос». При разработке и изготовлении этой системы был учтен опыт создания «Акса́я». В 1991–1992 годах три комплекса ССВ «Альбатрос» были поставлены в ЦПК. Эти системы были предназначены для моделирования визуальной обстановки в средствах наблюдения тренажеров по программе «Буран». Однако в связи с приостановкой в 1993 году работ по тренажерам изделия «Буран», два комплекта были перенацелены на работу в специализированных тренажерах причаливания и стыковки транспортного корабля «Союз-ТМ». После доработки визуальных моделей с 1 марта 1995 года началась эксплуатация этих систем в составе тренажеров «Телеоператор» и «Дон-Союз-ТМ» и продолжалась вплоть до 2000 года. При этом формировались изображения объектов стыковки, Земли и звездного неба для оптического визира ВСК-4, бортового телевизионного индикатора КЛ-107 и блистера. С применением систем «Альбатрос» было проведено более 1000 тренировок.

Следует отметить, что при разработке систем «Акса́й» и «Альбатрос» вопросы экономической целесообразности практически не поднимались. Основными требованиями были расширение функциональных возможностей генераторов по имитации визуальной обстановки, увеличение мощности графических процессоров, обеспечение необходимых эксплуатационных характеристик оборудования. Указанные системы представляли собой уникальные разработки, реализованные на специализированных графических процессорах и специально созданном программном обеспечении.

События начала 90-х годов нанесли серьезный удар по работам. После остановки работ по программе «Буран» стало ясно, что в существующем виде централизованная система визуализации для обеспечения работ по программе «Мир» уже не нужна. Поэтому с середины 90-х годов наступил период небольших доработок, произошло перераспределение функций между средствами СИВО и их приближение к рабочим местам тренажеров. И именно в этот период наиболее ярко обозначились преимущества компьютерных генераторов изображений.

Создавая оптико-телевизионные имитаторы визуальной обстановки и связывая тренажеры телевизионными сигналами вещательного стандарта, специалисты понимали ограниченные возможности этих средств, однако в то время и системы генерации изображения еще не могли составить конкуренцию этим имитаторам вследствие ограниченных возможностей вычислительной техники, низкой надежности, нехватки опыта у разработчиков компьютерных генераторов изображений. И только третье поколение систем (конец 90-х годов) не просто составило конкуренцию оптико-телевизионным имитаторам, а заменило их к настоящему времени практически везде.

Таким образом, в конце 90-х годов мы пришли к системам, работающим в составе конкретного тренажера, но созданным с использованием новейших технологий. Вместе с тем, сетевые технологии позволяют, при необходимости, создавать и определенную централизацию средств СИВО (так уже любая из двух систем «Альбатрос» практически работала на любом из двух тренажеров по любой из двух программ – «Мир» и МКС).

Первая система компьютерной генерации изображений (СКГИ) «Ариус-3» (рис. 2), разработанная в 1998 году, явилась промежуточной моделью на пути перехода от специализированных графических устройств к серийным средствам общего назначения. В качестве генератора изображения использовалось оригинальное устройство на базе серийно выпускаемых программируемых цифровых сигнальных процессоров (DSP). Остальные подсистемы СКГИ были выполнены на базе серийно выпускаемых устройств. Помимо создания генератора изображения были решены следующие основные задачи: проектирование общей структуры системы, подбор и сопряжение подсистем, отработка многоканального режима работы, отладка взаимодействия с вычислительной системой тренажера и т.д. Опыт создания СКГИ «Ариус-3» позволил сформировать современные принципы построения СКГИ и отработать технические решения, которые затем были реализованы в последующих системах, полностью построенных на серийных устройствах.



Рис. 2. СКГИ тренажера ТДК-7СТ № 3 («Ариус-3»)

После неоднократных доработок «Ариус-3» продолжает и в настоящее время обеспечивать моделирование визуальной обстановки в центральном и периферийных полях зрения визира специального космонавта ВСК-4, на средстве отображения ИНПУ, в иллюминаторах спускаемого аппарата нового комплексного тренажера ТДК-7СТ № 3.

В 1999 году подготовка экипажей по программе МКС стала проводиться на специализированном тренажере сближения и стыковки «Дон-Союз-ТМ» (рис. 3). Для этого была создана новая система «Ариус-СТ». После непродолжительной отладки ее в составе тренажера в феврале 2000 года была проведена первая тренировка с применением трех каналов этой системы. В том же году количество каналов формирования сюжетов визуальной обстановки было доведено до семи, что позволило обеспечить формирование изображений одновременно во всех средствах наблюдения тренажера. Кроме того, программные средства СКГИ «Ариус-СТ» позволили формировать символьную информацию, генерируемую штатной бортовой системой «Символ-Ц» и отображаемую на средстве отображения интегрированного пульта управления.

Мощный импульс для разработки новых СКГИ был дан при создании новых тренажеров российского сегмента МКС. Задачи формирования сюжетов визуальной обстановки в средствах наблюдения тренажера служебного модуля были решены системой «Альтаир». Основное назначение пятиканальной системы «Аль-

таир» – формирование изображений земной поверхности (рис. 4), так как экипажи проходят подготовку на тренажере и по визуально-инструментальным наблюдениям. В ходе них они должны визуальнo опознавать географическую местность, наблюдаемую в оптических средствах. Именно поэтому требования к изображению земной поверхности в приборах наблюдения здесь существенно отличаются от требований к другим аналогичным системам. С этой целью в визуальные модели земной поверхности были включены достаточно детальные снимки отдельных природных и техногенных объектов, позволяющие оператору производить многократное (до 10 раз) увеличение рассматриваемого объекта.



Рис. 3. Моделирование стыковки транспортного корабля «Союз-ТМ» с МКС



Рис. 4. Моделирование изображения земной поверхности

Таблица

Тренажер (СКГИ в его составе)	Бортовые средства наблюдения	Средства отображения информации в РМО
Специализированный тренажер сближения и стыковки «Дон-Союз-ТМА» (СКГИ «Ариус-СТ»)	1. Оптический визир ВСК-4 (ВСК-ЦП, ВСК-ПП) 2. «Блистер» 3. ИНПУ (ТВ-камера) 4. Левый иллюминатор 5. Правый иллюминатор	ЖК видеопроектор, оптическая часть ВСК-4Т ЖК видеопроектор ТВ-монитор SVGA-монитор, коллиматор SVGA-монитор, коллиматор
Комплексный тренажер ТДК-7СТ № 3 транспортного корабля «Союз-ТМА» (СКГИ «Ариус-3»)	1. Оптический визир ВСК-4 (ВСК-ЦП, ВСК-ПП) 2. Левый иллюминатор 3. Правый иллюминатор 4. ИНПУ (ТВ-камера)	ЖК видеопроектор, оптическая часть ВСК-4Т SVGA-монитор, коллиматор SVGA-монитор, коллиматор ТВ-монитор
Тренажер служебного модуля РС МКС (СКГИ «Альтаир»)	1. Визир ВШТВ 2. Визир ПВП (илл. № 6) 3. Визир ВП-2 (илл. № 8) 4. Иллюминатор № 7 5. Иллюминатор № 9	ЖК видеопроектор, ВШТВ-Т SVGA-монитор, ПВП-Т SVGA-монитор, коллиматор SVGA-монитор, коллиматор ЖК-монитор, коллиматор

В настоящее время тренажеры по программе МКС практически полностью обеспечены средствами имитации визуальной обстановки на основе систем компьютерной графики, что подтверждает информация, приведенная в таблице. Указанные средства имеют хороший запас по модернизации относительно несложным способом (заменой центрального процессора и графических акселераторов и соответствующей доработкой программного обеспечения), что потенциально способствует решению всех задач программы МКС.

В СКГИ используется детальная трехмерная модель МКС, состоящая из более чем 1 млн полигонов (треугольников) и более 500 Мб текстур. При создании модели использовались чертежи, фото- и киносъемки отдельных модулей и станции в целом. Максимально подробно смоделированы особенно важные участки станции, такие как стыковочные узлы и механизмы, мишени стыковки, поручни, предназначенные для перемещения космонавтов по внешней поверхности и т.д. Модель Земли содержит около 150 тыс. полигонов и более 1.5 Гб текстур разрешением 150 метров на пиксел. В модели реализована дневная и ночная стороны Земли (включая линию терминатора), атмосфера, облачный покров, восход и заход Солнца и освещение Земли Луной и Солнцем.

Для СКГИ разработана также собственная система визуализации «GLView», позволяющая выполнять высококачественную визуализацию трехмерных виртуальных сцен в масштабе реального времени в моно- и стерео режимах. Реальный масштаб времени предполагает синтез каждого кадра изображения виртуальной сцены за время, не превышающее 40 миллисекунд, что соответствует скорости визуализации не менее 25 кадров в секунду. Для моделирования сложных визуальных свойств поверхностей используется попиксельное вычисление освещенности с использованием диффузных текстур, текстур микрорельефа, прозрачности, отражения и степени зеркального блеска. Для моделирования направленных источников света реализуется попиксельный эффект фары. Система поддерживает синтез теней, которые очень важны для задач стыковки пилотируемых кораблей. Реализована также ключевая анимация, скелетная анимация, системы частиц, многопортовость и мультиэкранность. В частности, с помощью ключевой анимации моделируется вращение Земли, с помощью системы частиц – работа двигателей. Многопортовый режим позволяет наблюдать визуальную обстановку одновременно с нескольких ракурсов (нескольких виртуальных камер) на одном мониторе, а также моделировать специализированные средства наблюдения типа ВСК (рис. 5). Мультиэкранный режим основан на использовании нескольких каналов, каждый из которых синтезирует свою часть формируемого изображения. Для реализации этого режима система визуализации GLView поддерживает распределенный синтез изображения динамических трехмерных виртуальных сцен в масштабе реального времени на нескольких каналах с синхронизацией вывода частей изображения на экраны (рис. 6).

При использовании СКГИ в составе тренажеров ПКА были проведены работы по модернизации средств моделирования визуальной обстановки: 1) своевременно обеспечены замены устаревших технических средств СИВО новыми системами компьютерной генерации изображений, полностью отвечающим нынешним требованиям, и в этом направлении ЦПК остается лидером; 2) приобретен большой опыт в эксплуатации сложной техники и создания средств СИВО; 3) были решены не только задачи имитации внешней визуальной обстановки, а также и задачи моделирования некоторых бортовых информационных систем с помощью систем компьютерной генерации изображений.



Рис. 5. Моделирование прибора ВСК



Рис. 6. Иллюстрация программного комплекса, предназначенного для моделирования динамики манипулятора «ERA» (многопортовый режим с виртуальным пультом управления)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев. Система визуализации "GLView" для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4. – С. 60–72.

УДК 629.78.072.8

**РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ТРЕНАЖЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В.С. Бартош, М.С. Дьяков, С.А. Кузиковский, В.И. Брагин

В.С. Бартош; М.С. Дьяков; С.А. Кузиковский (ЗАО «СофтЛаб-НСК», г. Новосибирск)
В.И. Брагин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В данной статье представлено развитие системы тренажерного моделирования бортовых средств визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности российского сегмента МКС и дано описание программно-аппаратного комплекса для решения задач подготовки космонавтов к геофизическим исследованиям и мониторингу Земли с борта РС МКС. Данная система была разработана в 2011 году ЗАО «СофтЛаб-НСК» и непрерывно совершенствуется и применяется в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» по настоящее время.

Ключевые слова: космические тренажеры, системы виртуальной реальности, визуально-инструментальные наблюдения, компьютерная графика.

**Development of the Simulator-Based System of Modeling the Means for
Visual Instrumental Observations of the Earth's Surface from the Board
of the ISS RS to Train Cosmonauts for Performing Geophysical
Investigations. V.S. Bartosh, M.S. Dyakov, S.A. Kuzikovskiy, V.I. Bragin**

The paper describes the development of the simulator-based system of modeling the means for visual instrumental observations of the Earth's surface and also the soft/hardware complex for tackling tasks of cosmonaut training for geophysical investigations and monitoring of Earth from the board of the ISS Russian Segment. This complex was designed in 2011 by joint-stock company "SoftLab-NSK", is continuously being improved, and used at SO "Gagarin R&T CTC" at present.

Keywords: space simulators, virtual reality systems, visual and instrumental observations, computer graphics.

ЗАО «СофтЛаб-НСК» занимается разработкой систем компьютерной генерации изображения для космических тренажеров ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с 1990-х годов. Последовательно были созданы две такие системы для подготовки космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений (ВИН) с борта космического аппарата: сначала это был канал формирования изображений в панкратическом визире пилота (ПВП) – «канал ПВП» на базе системы компьютерной генерации изображений (СКГИ) «Альтаир» тренажера служебного модуля (СМ) российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС), а затем – тренажер «ВИН» для решения аналогичных задач.

Введение

Служебный модуль российского сегмента Международной космической станции первоначально был оснащен оптическим визиром ПВП, использовавшимся в качестве основного средства инструментального наблюдения поверхности Земли. Для наземной отработки навыков использования этого прибора на тренажере СМ РС МКС в конце девяностых годов был разработан формирователь изображе-

ний канала ПВП – СКГИ «Альтаир». Система визуализации тренажера для этого канала имела следующие характеристики:

- разрешение текстуры земной поверхности – 1 км/тексел. Текстура земной поверхности соответствовала летнему времени одновременно во всех полушариях;
- карта огней ночной Земли отсутствовала, однако была реализована смена времени суток (средствами компьютерной графики), закат и восход, линия терминатора;
- имитировалась облачность в пяти фиксированных градациях;
- облака формировались на стадии подготовки земной поверхности путем модификации основной текстуры, что приводило к необходимости иметь соответствующее количество полных текстур Земли, отличающихся только плотностью облаков.

Полный объем текстуры земной поверхности занимал несколько гигабайт и не позволял загрузить в видеопамять всю текстуру целиком. Для обеспечения непрерывного отображения была реализована упреждающая подкачка текстур, которая в фоновом режиме загружала в видеопамять участки текстуры, которые могли потребоваться в ближайшее время.

Работа с прибором предусматривала поиск и наблюдение объектов на поверхности Земли, в том числе в режиме приближения (при вариофокации). Отработка навыков такой работы на тренажере требовала визуализации некоторых объектов с разрешением, существенно превышающим разрешение полной текстуры Земли, имеющееся на тот момент (1 км/тексел). Для этого были предусмотрены так называемые точки детального наблюдения с текстурами требуемого разрешения (десятки метров на один тексел), которые заранее подвергались цветовой коррекции и встраивались в визуальную модель. Всего было подготовлено несколько десятков таких точек.

Прибор ПВП не имеет средств фотофиксации, поэтому в настоящее время на борту МКС вместо него активно используются цифровые фотокамеры с мощной вариофокальной оптикой. Для отработки навыков визуально-инструментальных наблюдений с применением новой аппаратуры понадобился новый тренажер. И такой тренажер был разработан. Он получил наименование «ВИН», и первая очередь этого тренажера уже введена в эксплуатацию. Идея и технические решения, реализация которых легла в основу создания этого тренажера, запатентована. Патентообладатель – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Обзор тренажера «ВИН»

Специализированный тренажер «ВИН» используется для подготовки космонавтов к решению задач визуально-инструментальных наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС, привития умений и навыков поиска, обнаружения и идентификации объектов на земной поверхности (рис. 1).

Программно-аппаратный комплекс состоит из шести рабочих мест: инструктора (РМИ), оператора 1 (РМО1), оператора 2 (РМО2), преподавателя (РМП), подготовки тренировки 1 (РМПТ1), подготовки тренировки 2 (РМПТ2).

Для того чтобы прививать космонавту на тренажере правильные навыки, потребовалось генерировать с помощью специального программного обеспечения (СПО) и предъявлять изображение, видимое невооруженным глазом или в видоискателе фотокамеры с учетом оптического приближения, взаимного расположения космонавта, фотокамеры, иллюминатора и станции в нужной точке орбиты.



Рис. 1. Мониторинг объектов земной поверхности через иллюминаторы станции

Рабочее место инструктора предназначено, в первую очередь, для управления процессом тренировки. Инструктор имеет возможность задать имитируемые условия полета, определяющие выбор учебной орбиты и состав наблюдаемых объектов. Для этого СПО РМИ обеспечивает задание конкретной высоты и наклона орбиты пилотируемого космического аппарата (ПКА). Далее возможны два варианта конкретизации витка орбиты и начальной точки пролета: либо указать широту и долготу подспутниковой точки, с которой необходимо начать пролет, либо указать долготу витка на экваторе и задать время (возможно – отрицательное), прошедшее с момента начала витка. Следует отметить, что инструктор в любой момент может приостановить имитацию движения ПКА, возобновить ее, а также, для учебных целей, изменить направление движения и скорость – от четверной до десятикратной.

Также реализована возможность имитации движения ПКА по орбите, задаваемой при помощи бортовой компьютерной модели полета (БКМП) «Сигма» (разработка РКК «Энергия» имени С.П. Королёва).

Помимо управления параметрами орбиты инструктор имеет возможность задавать следующие условия наблюдения:

1) Направление бега местности для имитации различного положения космонавта относительно иллюминатора на станции.

2) Различные уровни облачности с дымкой: от отсутствия до практически полного закрытия подстилающей поверхности – всего пять дискретных градаций. При этом положением облачности можно управлять путем ее непрерывного смещения вдоль параллелей и меридианов для того, чтобы скрыть или, наоборот, проявить необходимые участки наблюдения.

3) Выбирать время года – летний и зимний периоды – для отображения подстилающей поверхности Земли. Подстилающая поверхность формируется для летнего периода с разрешением 15–30 м/тексел, для зимнего – 500 м/тексел.

4) Включать и отключать отображение элементов станции. Отрисовка элементов станции может использоваться в качестве усложнения задачи оператора, поскольку частично закрывает подложку земной поверхности.

5) Устанавливать модель фотоаппарата и фокусного расстояния объектива для имитации различных инструментальных средств наблюдения.

Для контроля во время проведения тренировки и анализа уже завершившегося занятия СПО РМИ регистрирует основные параметры деятельности операторов: точку визирования, подспутниковую точку, угол обзора, отклонение от кон-

трольных точек. Также возможна видеозапись сеанса и аудиозапись речевых комментариев оператора.

Для инструктора, как и для операторов, формируется растровое перспективное изображение земной поверхности, в том числе с прорисовкой линии горизонта (рис. 2), причем подспутниковая точка при имитации пролета ПКА будет одинаковой для всех рабочих мест. В любой момент проведения тренировки летняя или зимняя подложка на РМИ может быть заменена подложкой в виде географической карты. При этом на рабочих местах операторов подстилающая поверхность останется неизменной.



Рис. 2. Перспективное изображение внешней визуальной обстановки. На изображении видны подстилающая поверхность Земли с облачностью и лимбом, а также элементы МКС, наблюдаемые из российского сегмента

Рабочие места операторов (РМО1 и РМО2) предназначены для непосредственной отработки навыков космонавтов. Обучаемые на рабочих местах могут выполнять различные задачи в зависимости от целей тренировки, например: ориентирование по подстилающей поверхности, локализация и регистрация контрольных объектов. Сложностью тренировки – наличием облачности и дымки, отображением загораживающих обзор элементов станции и прочее – управляет инструктор.

Рабочее место преподавателя используется также для проведения лекционных и семинарских занятий. Для управления и отображения перспективного изображения земной поверхности, кроме вышеописанных программных средств, РМП укомплектовано дополнительными средствами группового обучения – двумя телевизорами (с диагональю экрана 55") и монитором-планшетом. Аудитория для проведения занятий оборудована столами и стульями для десяти обучаемых.

Рабочие места для подготовки к тренировке (РМПТ1 и РМПТ2) предназначены для разработки учебных фото- и видеоматериалов, а также исходных данных на тренировку. Для этих целей на рабочие места установлено СПО РМПТ, позволяющее формировать начальные данные для СПО РМИ, программное обеспечение для фотообработки и нелинейного видеомонтажа. РМПТ1 дополнительно оборудовано сканером и цветным струйным принтером формата А3.

Особенности имитации визуальной обстановки для задач ВИН

Предположим, что иллюминатор имеет прямоугольную форму, совпадающую по размерам с монитором РМО. Для того чтобы имитировать внешний вид конкретного иллюминатора, его изображение в дальнейшем будет графически отображе-

но на экране монитора с соответствующим перекрытием видимости по окружности остекления. Тогда сопоставление изображений земной поверхности видимого невооруженным глазом и через инструментальное средство наблюдения можно представить в виде наложения, представленного на рис. 3.



Рис. 3. Виды в видеоискателе фотокамеры и в иллюминаторе

Для отработки задач визуальных наблюдений в РМО установлены макеты иллюминаторов (рис. 4). СПО РМО, при помощи которого осуществляется имитация внешней визуальной обстановки, позволяет отображать цифровую визуальную модель (ВМ) Земли, начиная с разрешений 15–30 м/тексел с возможностью плавной трансфокации угла обзора от 110° до 2°. При этом возможна подготовка отдельных точек детального наблюдения Земли с поверхностным разрешением вплоть до 4 м/тексел. Реализована возможность наложения облачности и дымки разного уровня таким образом, что оператор может регистрировать параллактическое смещение облаков относительно земной поверхности. Эффективная организация данных и система подкачки обеспечивают ускоренную имитацию (до десяти крат) орбитального полета ПКА со средней длительностью витка около 90 минут.

Для отработки навыков инструментального наблюдения и регистрации на тренажере «ВИН» реализуется следующий способ моделирования условий операторской деятельности. Поверх основного окна, в котором отображается земная поверхность, соответствующая условиям наблюдения невооруженным глазом в иллюминаторе МКС, одновременно отображается дополнительное окно (рис. 3). В дополнительном окне имитируется изображение, видимое через фотоаппарат с объективами фиксированного фокусного расстояния 400 мм и 800 мм, а также объективом с переменным фокусным расстоянием. Данное дополнительное окно управляется оператором с использованием джойстика, при помощи которого можно смещать линию визирования, управлять поворотом кадра, изменять фокусное расстояние объектива и делать снимок. При этом в дополнительном окне бег местности значительно быстрее, оператор видит как бы приближенную оптикой часть земной поверхности. Во время съемки не только сохраняется область, видимая имитатором фотоаппарата, но и накладывается траектория движения линии визирования относительно контрольной точки. Таким образом, инструктор может контролировать качество проводки, выполняемой обучаемым.



Рис. 4. Макет иллюминатора на РМО2
с изображением подстилающей поверхности Земли, формируемом СПО РМО

На тренажере «ВИН» может использоваться и другой способ отработки навыков инструментального наблюдения и регистрации. Он заключается в использовании специального устройства – имитатора инструментального средства наблюдения и регистрации (имитатора фотокамеры). В качестве имитатора используется модифицированная фотокамера – аналог цифровой зеркальной камеры, используемой на борту. В имитатор встроен микродисплей, на котором формируется изображение в соответствии с положением фотокамеры относительно макета иллюминатора. Имитатор фотоаппарата закреплен на устройстве обезвешивания для облегчения работы. Изображение на мониторе за макетом иллюминатора формируется в соответствии с положением головы оператора относительно макета иллюминатора.

Положение головы и имитатора фотокамеры определяется при помощи комбинированной системы позиционирования, в которой используются ультразвуковые приемники, передатчики и инерциальный датчик.

Именно это техническое решение запатентовано авторами.

Заключение

Использование новых бортовых средств визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности на российском сегменте МКС потребовало развития соответствующих систем тренажерного моделирования. Описанный тренажер «ВИН» является логическим развитием стенда ПВП, что связано с использованием на борту МКС новых средств наблюдения и фиксации. Это стало возможным с появлением новых беспроводных средств позиционирования, совершенствованием систем компьютерной генерации изображений и миниатюрных систем отображения информации.

Перспектива развития тренажера «ВИН» заключается в следующем:

- отработка и внедрение системы обезвешивания и позиционирования имитатора фотокамеры;
- доработка аппарата фиксации действий операторов;
- разработка системы объективного оценивания качества деятельности обучаемых операторов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Патент на полезную модель. RU 136618 U1. Система имитации внешней визуальной обстановки в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера.

УДК 629.78.04

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Б.Ф. Зарецкий, Г.И. Морозов, Э.А. Курмазенко, В.Ю. Прошкин

Канд. техн. наук Б.Ф. Зарецкий; докт. техн. наук, профессор, академик РАКЦ Г.И. Морозов (МАИ)

Докт. техн. наук, профессор Э.А. Курмазенко; канд. техн. наук В.Ю. Прошкин (ОАО «НИИХиммаш»)

Создание эффективной автоматизированной системы управления комплексной системой жизнеобеспечения экипажа дальней космической экспедиции является сложной многокритериальной задачей. Предложена система обобщенных глобальных критериев, позволившая разбить общую задачу на ряд подзадач оптимизации и решить эту проблему. Приведен ряд конкретных приложений.

Ключевые слова: космические системы жизнеобеспечения, автоматизированная система управления, глобальный обобщенный критерий.

Control System of the Life Support Means of the ISS Crews.**B.F. Zaretsky, G.I. Morozov, E.A. Kurmazenko, V.Yu. Proshkin**

The creation of an effective automated system to control the integrated life support system for crews in deep space missions is a complex multicriterion problem. The paper suggests the system of generalized global criteria that allows dividing the overall problem into a number of optimization subtasks and solving it. A number of specific applications are given.

Keywords: space life support systems, automated control system, global generalized criterion.

Комплекс систем жизнеобеспечения (КСЖО) экипажа космической станции [1] представляет собой новый класс объектов управления. Создание эффективной автоматизированной системы управления (АСУ) КСЖО сопряжено с целым рядом сложностей. Необходимо создать техническое обеспечение, адекватное условиям обитаемого космического объекта. Нет достаточно надежного математического описания КСЖО.

АСУ КСЖО – сложная техническая система. Имеется множество противоречивых критериев эффективности АСУ, существенно усложняющее решение задачи [2]. Отсутствует общее математическое решение задачи многокритериальной оптимизации. Однако решение этой задачи чрезвычайно актуально в связи с перспективами развития пилотируемой космонавтики, будущими полетами человека к другим планетам и созданием обитаемых планетных баз. Поэтому приходится, используя конкретные технические особенности объекта управления и АСУ, искать специфические для этого случая методы решения задачи.

КСЖО состоит из множества подсистем: отдельных систем жизнеобеспечения (СЖО) – регенерационных и на запасах. В единую систему они объединяются с помощью АСУ, реализующей все связи между подсистемами и между элементами в составе подсистем. АСУ обеспечивает в составе бортового комплекса управления (БКУ) связи с другими системами пилотируемого космического аппарата и с наземным комплексом управления (НКУ).

АСУ КСЖО должна обеспечивать:

- автоматический пуск и останов всех подсистем КСЖО;
- контроль технического состояния всех подсистем КСЖО и параметров среды обитания экипажа;
- поддержание на заданном уровне параметров среды обитания экипажа и технологических параметров КСЖО;
- контроль и сигнализацию возникновения нештатных ситуаций (НшС);
- прогнозирование НшС и предупреждение экипажа о возможной НшС;
- локализацию возникших НшС, первичные мероприятия по их компенсации и выдачу рекомендаций по их устранению;
- функциональное согласование всех подсистем КСЖО с целью обеспечить комфортные параметры среды обитания экипажа и максимум живучести КСЖО;
- оптимальное взаимодействие в системе «человек–машина»;
- совместимость с условиями подготовки и проведения космического полета.

В России имеется большой опыт по созданию КСЖО космических аппаратов [3, 4]. Первая попытка создания бортовой АСУ для части КСЖО была предпринята в российском сегменте Международной космической станции (МКС) на группе регенерационных систем обеспечения газового состава. Опыт МКС [5] выявил ряд недостатков созданной АСУ, главные из которых:

- наличие единой и единственной централизованной системы управления ведет к необходимости отключать все управляемые подсистемы при любом вмешательстве в деятельность системы управления или при НшС в АСУ;
- потери информации о параметрах систем, вызванные отсутствием запоминания, передачи на Землю и обработки части текущих сигналов с датчиков.

При выполнении программ дальних космических полетов и создании планетных баз существенно ужесточатся технические требования к автономности и живучести систем жизнеобеспечения [6, 7]. Будут повышаться требования и к АСУ КСЖО [8]. В этом случае изменится сама стратегия автономности управления КСЖО, а экипаж должен быть подготовлен для принятия самостоятельных решений, в том числе и в нештатных ситуациях. Приобретает особый смысл само понятие живучести, т.е. сохранение в течение всего полета функций КСЖО, определяющих здоровье, работоспособность и жизнь экипажа.

Глобальные обобщенные критерии эффективности АСУ

В литературе рассматриваются подходы к созданию КСЖО как сложной технической системы, эффективность создаваемых систем и действующие ограничения [3, 6, 7, 9]. Все это можно использовать и при создании АСУ для КСЖО.

Создание АСУ для КСЖО (точно так же, как и создания КСЖО в целом) является задачей принятия решений, которая в общем виде включает составляющие:

- исходная постановка задачи;
- множество рассматриваемых альтернатив;
- множество показателей эффективности;
- множество функционалов отображения – множество шкал измерения;
- множество оценок альтернатив по показателям эффективности;
- предпочтения лица (группы лиц), принимающего решения;
- правила выбора (одно или несколько);
- действующая для данной задачи система принятия решений.

При создании АСУ необходимо построить иерархическую структуру критериев эффективности, начиная с глобальных. Множество критериев эффективно-

сти разобьем на три группы таким образом, чтобы критерии одной группы не противоречили друг другу.

1-я группа. Критерии, связанные с показателями живучести технической системы. Сюда относятся такие показатели как надежность, ресурс, ремонтпригодность и т.д. Введем глобальный обобщенный критерий «живучесть» G. Для этой группы критериев существенным является время. Современная техника может обеспечить живучесть технической системы в течение определенного промежутка времени. Для дальних космических полетов этот показатель имеет большое значение. Чем больше это время, тем нужно меньше запасов. Тем меньше риск потери живучести. Оптимум живучести зависит от длительности полета.

2-я группа. Критерии, связанные с себестоимостью. Стоимость разработки и изготовления, масса подсистем КСЖО, масса необходимого для эксплуатации доставляемого и резервного оборудования и материалов, энергозатраты, затраты времени экипажа на эксплуатацию и т.д. Введем глобальный обобщенный критерий «себестоимость» С. Обычно в качестве аналогичного критерия эффективности использовалась приведенная масса [6, 9, 10]. Себестоимость – более удобный критерий, позволивший включить в перечень частных критериев затраты времени экипажа на эксплуатацию КСЖО.

3-я группа. Критерии, связанные с функциональными параметрами системы. Комфортные условия среды обитания экипажа по температуре, составу атмосферы, водообеспечению и т.д. Введем глобальный обобщенный критерий «комфортность» F. В настоящее время под понятием «комфортность» следует понимать соответствие среды обитания космонавтов требованиям ГОСТ Р 50804-95 [11]. С развитием обитаемой космонавтики это понятие тоже будет развиваться.

Для решения задачи оптимизации создание АСУ КСЖО предлагается разбить на три этапа:

Этап 1. Разработка структуры (идеологии) системы управления.

Этап 2. Разработка или выбор средств технического обеспечения.

Этап 3. Разработка алгоритмов управления комплексом СЖО.

Предлагается на каждом этапе создания системы управления принимать свой глобальный обобщенный критерий из указанных трех групп, по которому производится выбор оптимального решения, а на остальные критерии накладываются ограничения. Такой подход существенно упрощает создание эффективной АСУ КСЖО и упрощает работу лица, принимающего решение.

Этап 1. Разработка структуры системы управления

На этом этапе, как показывает опыт, определяется живучесть всей системы. Поэтому живучесть принята в качестве глобального обобщенного критерия. Задача состоит в выборе структуры АСУ, обеспечивающей максимум живучести при наложении ограничений на критерии 2-й и 3-й групп.

$$G \rightarrow \max_{\substack{C \in R_c \\ F \in R_f}} \quad (1)$$

где G, C, F – соответственно глобальные обобщенные критерии: живучесть, себестоимость и комфортность. R_c , R_f – соответственно области ограничений для критериев групп C и F.

При этом рассматривается счетное множество возможных структур АСУ КСЖО. Таких структур может быть две: централизованная и распределенная.

Централизованная структура предполагает прямую передачу всех информационных сигналов подсистемы КСЖО в бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) с реализацией всех алгоритмов управления в БЦВМ.

Такая структура имеет следующие недостатки:

- НшС в БЦВМ ведет к НшС всего КСЖО (этот опыт имеется на МКС [5]);
- большая общая протяженность сети связей представляет серьезный источник помех;
- повышенные массовые характеристики сети;
- большее время реакции АСУ на отклонения параметров КСЖО из-за существенного времени опроса БЦВМ.

Опыт также показал, что в подсистемах КСЖО приходится создавать блок согласования сигналов и команд. Это означает, что при такой структуре управления не исключается локальный блок управления.

Распределенная структура АСУ КСЖО. При этом оперативное управление подсистемой КСЖО осуществляется локальным блоком управления (БУ). Бортовой интерфейс на базе оптоволоконного кабеля объединяет сеть локальных БУ и БЦВМ в БКУ и создает бортовую информационную сеть (БИС). Здесь БУ является неотъемлемой частью подсистемы КСЖО. Такая структура АСУ КСЖО обеспечивает следующие преимущества:

- отказ БЦВМ не приводит к отказу всего КСЖО, а только экипажу придется осуществлять в ручном режиме управления согласование работы подсистем, тем самым экипаж получает время на восстановление штатной работы БЦВМ;
- поскольку в этой структуре имеется возможность создания интерфейса на базе оптоволоконного кабеля, то можно избежать возникновения помех;
- такая структура позволяет минимизировать массогабаритные характеристики АСУ КСЖО;
- время реакции БУ меньше, чем время реакции БЦВМ;
- при отказе БУ на время его замены управление может быть передано БЦВМ в составе БКУ;
- имеется возможность в максимальной степени унифицировать конструкцию БУ и снизить массу запасных блоков.

Возможно, такая структура будет несколько дороже, но повышенная живучесть оправдывает это.

Таким образом, оптимальным решением, обеспечивающим максимальную живучесть, является распределенная система управления (рис. 1).

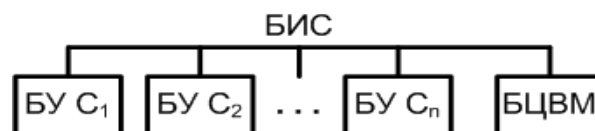


Рис. 1. Структура распределенной АСУ КСЖО, объединенная в бортовой комплекс управления

Распределенная система управления реализует следующую идеологию:

- оперативное управление отдельными подсистемами в составе КСЖО осуществляется локальными контроллерами;
- центральный бортовой компьютер обеспечивает решение задач верхнего (второго) уровня;
- обеспечивается функциональное дублирование с существенным повышением живучести системы в целом.

В штатном режиме общее управление осуществляется с БЦВМ, а оперативное (текущее) – с БУ. Дисплей на локальном БУ отключен. При нештатном режиме БЦВМ все управление передается на локальный БУ и включается его дисплей. При нештатном режиме на БУ все управление может быть передано БЦВМ на время замены БУ на резервный.

На верхнем (втором) уровне АСУ КСЖО могут решаться следующие задачи:

- согласование работы отдельных подсистем КСЖО между собой;
- функциональное дублирование локальных контроллеров БЦВМ на время замены вышедших из строя БУ;
- обеспечение максимально комфортных условий жизнеобеспечения экипажа (например, оптимального состава атмосферы и пр.);
- идентификация нештатных ситуаций;
- выдача рекомендаций экипажу на основе диагностики и прогнозирования технического состояния КСЖО, имитационных моделей, накопленного опыта, методов искусственного интеллекта;
- БЦВМ обеспечивает связь АСУ КСЖО с БКУ и с НКУ через бортовую телеметрическую систему.

Для решения задач второго уровня необходима достаточная вычислительная мощность, сосредоточенная в БЦВМ. При отказе БЦВМ не происходит потеря живучести АСУ КСЖО, поскольку АСУ не теряет оперативного управления. Контроллер более надежен по конструкции и программному обеспечению в сравнении с БЦВМ.

Этап 2. Выбор средств технического обеспечения для АСУ

В качестве глобального обобщенного критерия принимаем себестоимость технических средств АСУ. Задача: выбор технических средств, обеспечивающих минимум себестоимости при наложении ограничений на критерии 1-й и 3-й групп.

$$C \rightarrow \min_{\substack{G \in R_g \\ F \in R_f}} , \quad (2)$$

где R_g – область ограничений для критериев группы G.

Решение:

- максимально унифицированная конструкция контроллера для КСЖО;
- применение блоков и устройств, изготовленных с использованием технологии серийного производства, минимизирующей человеческий фактор;
- применение современных средств и методов диагностики, включая методы прогнозирования;
- создание бортовой информационной системы на основе современных интерфейсов (одной из важных задач на этом этапе является обеспечение помехозащищенности, для чего наиболее перспективным представляется использование оптоволоконного кабеля);
- максимальное использование унифицированных изделий серийного производства, секционно-модульных конструктивов КСЖО с обеспечением в пределе

двух кабелей связи подсистемы КСЖО с бортом: силового питания и информационного, что обеспечит минимизацию массогабаритных характеристик;

– представляется возможным создание контроллера универсальной конструкции для всех подсистем КСЖО на основе современной микроселектронной элементной базы, что также минимизирует массогабаритные характеристики АСУ за счет снижения необходимого количества резервных контроллеров.

Описанная распределенная структура АСУ КСЖО полностью соответствует указанным принципам и позволяет на современной микроселектронной элементной базе создать как универсальный контроллер для локальных БУ подсистем КСЖО, так и бортовой комплекс управления для КСЖО в целом, отвечающий минимуму глобального обобщенного критерия себестоимости.

Из трех рассматриваемых глобальных критериев эффективности только себестоимость имеет структуру, которую можно описать в математическом виде с большой долей определенности. Описание структуры глобального критерия живучести и комфортности требует учета распределения вероятностей для частных критериев в их составе (особенно для живучести). Поэтому рассмотрим структуру критерия себестоимости выражения (2) как более простую и определенную.

В общем виде глобальный обобщенный критерий себестоимости C состоит из ряда частных критериев в количестве N_c : себестоимость изготовления, себестоимость массы, себестоимость энергопотребления, себестоимость занимаемого объема, себестоимость трудозатрат экипажа на обслуживание и т.д.

Если в составе глобального критерия C частные критерии c_1, c_2, \dots, c_{N_c} можно считать независимыми друг от друга, то выражение (2) примет вид:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_{N_c}\} = \sum_{j=1}^{N_c} c_j, \quad \text{где} \quad c_j \rightarrow \min_{\substack{G \in R_g \\ F \in R_f}}$$

Тогда каждый частный критерий c_j из множества $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{N_c}\}$ можно записать в виде j -го произведения \prod_j ряда величин:

$$c_j = c_j^0 \cdot \prod_j \{c_1^y, c_2^y, \dots, c_{N_c^*}^y\}_j, \quad \text{где} \quad c_j^0 \rightarrow \min_{\substack{G \in R_g \\ F \in R_f}} \quad \text{и} \quad c_{j^*}^y \rightarrow \min_{\substack{G \in R_g \\ F \in R_f}}$$

$$\text{для} \quad j = 1, 2, \dots, N_c \quad \text{и} \quad j^* = 1, 2, \dots, N_c^*,$$

где c_j^0 – j -й член из множества $\{c_1^0, c_2^0, \dots, c_{N_c}^0\}$ абсолютных величин параметров; $\{c_1^y, c_2^y, \dots, c_{N_c^*}^y\}_j$ – j -е подмножество из множества $\{c_1^y, c_2^y, \dots, c_{N_c^*}^y\}$ удельных величин («себестоимостей») параметров; в общем виде $N_c \neq N_c^*$.

Проиллюстрируем примером расчет величины C по этим выражениям.

Пусть множество абсолютных величин параметров АСУ КСЖО состоит из пяти членов ($N_c = 5$): стоимость изготовления (c_1^0 , руб.), масса (c_2^0 , кг), энергопотребление (c_3^0 , Вт), занимаемый объем (c_4^0 , м³), трудозатраты экипажа на обслуживание (c_5^0 , чел.-ч). Пусть множество удельных величин («себестоимостей») параметров АСУ КСЖО состоит из четырех членов ($N_c^* = 4$): удельная стоимость доставки груза (c_1^y , руб./кг), удельная масса системы энергопитания для АСУ

КСЖО (c_2^y , кг/Вт), удельная дополнительная масса затрат для размещения на борту объема оборудования (c_3^y , кг/м³), удельная стоимость человеко-часа на борту (c_4^y , руб./чел.-ч).

Для каждого частного критерия c_j из множества глобального обобщенного критерия себестоимость $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ запишется:

– частный критерий себестоимость изготовления ($j = 1$)

$$c_1 = c_1^0 \quad \text{т.к.} \quad \{c_1^y, c_2^y, c_3^y, c_4^y\}_1 = \{\emptyset\},$$

– частный критерий себестоимость массы ($j = 2$)

$$c_2 = c_2^0 \cdot c_1^y \quad \text{т.к.} \quad \{c_1^y, c_2^y, c_3^y, c_4^y\}_2 = \{c_1^y\},$$

– частный критерий себестоимость энергопотребления ($j = 3$)

$$c_3 = c_3^0 \cdot c_1^y \cdot c_2^y \quad \text{т.к.} \quad \{c_1^y, c_2^y, c_3^y, c_4^y\}_3 = \{c_1^y, c_2^y\},$$

– частный критерий себестоимость занимаемого объема ($j = 4$)

$$c_4 = c_4^0 \cdot c_1^y \cdot c_3^y \quad \text{т.к.} \quad \{c_1^y, c_2^y, c_3^y, c_4^y\}_4 = \{c_1^y, c_3^y\},$$

– частный критерий себестоимость трудозатрат экипажа на обслуживание ($j = 5$)

$$c_5 = c_5^0 \cdot c_4^y \quad \text{т.к.} \quad \{c_1^y, c_2^y, c_3^y, c_4^y\}_5 = \{c_4^y\}.$$

Глобальный обобщенный критерий себестоимость:

$$C = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5.$$

Абсолютные величины из множества $\{c_1^0, c_2^0, \dots, c_{N_c}^0\}$ задаются в Техническом задании на проектирование КСЖО (или АСУ КСЖО), а удельные величины («себестоимости») из множества $\{c_1^y, c_2^y, \dots, c_{N_c}^y\}$ оцениваются на стадии разработки концепции космического полета.

Этап 3. Разработка алгоритмов управления комплексом СЖО

Алгоритм управления определяет качество функционирования АСУ КСЖО, т.е. комфортность экипажа. Этот показатель принят в качестве глобального критерия. Задача: выбор алгоритма управления, обеспечивающего максимально комфортную среду обитания экипажа при наложении ограничений на критерии 1-й и 2-й групп.

$$F \rightarrow \max \begin{cases} G \in R_g \\ C \in R_c \end{cases}. \quad (3)$$

Решение:

– задача управления комфортностью среды обитания экипажа возлагается на БЦВМ как задача верхнего (второго) уровня управления;

- БЦВМ отдает команды локальным БУ, которые регулируют работу отдельных подсистем КСЖО как задачу нижнего (первого) уровня управления;
- непосредственно алгоритмы управления АСУ КСЖО основаны на принципах адаптивного управления (АСУ сама выбирает режимы работы подсистем КСЖО, которые обеспечивают поддержание максимальной комфортности);
- применение систем самовосстановления КСЖО.

Описанная структура управления наиболее важна для систем, работа которых происходит непрерывно (или в течение периодов времени большой длительности). Из всей совокупности КСЖО на борту к таким системам относятся, в первую очередь, системы обеспечения газового состава атмосферы.

Управление системой обеспечения газового состава атмосферы

В составе КСЖО в систему обеспечения газового состава (СОГС) российского сегмента МКС входят следующие подсистемы (рис. 2):

- система мониторинга параметров атмосферы (СМП);
- система поддержания общего давления атмосферы (СПД) для компенсации штатных утечек;
- система генерации кислорода «Электрон-ВМ» (СГК) [12];
- система очистки атмосферы от углекислого газа (СОА-УГ);
- система очистки атмосферы от вредных микропримесей (СОА-МП);
- система кондиционирования воздуха (СКВ) для удаления паров воды.

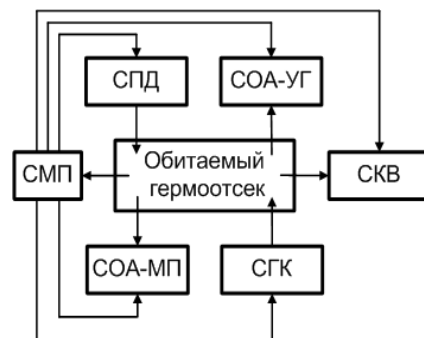


Рис. 2. Система обеспечения газового состава РС МКС

При работе СОГС важна стабилизация давления и температуры атмосферы в гермоотсеке. Давление поддерживается СПД [1]. Температура стабилизируется системой обеспечения теплового режима (СОТР) [13]. Для простоты будем рассматривать работу СОГС при постоянном давлении и температуре.

Целью управления каждой из подсистем в составе СОГС является поддержание заданного парциального давления соответствующей составляющей атмосферы, определяемой системой мониторинга, путем воздействия на производительность каждой из подсистем. Команды на включение и выключение каждой из подсистем формируются на верхнем (втором) уровне АСУ. На рис. 3 приведена структурная схема взаимодействия центрального бортового компьютера БЦВМ с блоками управления подсистем БУ.

Также в СОГС включены системы аварийного наддува, аварийной очистки атмосферы и аварийные запасы кислорода и воздуха (эти системы включаются в работу только при НшС на очень короткое время и основаны на запасах компонентов). В будущем на российском сегменте МКС в составе СОГС будет использоваться система концентрирования углекислого газа для его переработки и система переработки углекислого газа. Управление для этих аварийных и перспективных систем здесь не рассматривается, хотя его можно построить на тех же самых принципах, что и рассмотренное ниже управление.

Задачей верхнего (второго) уровня АСУ в этом случае является обеспечение требуемого состава атмосферы в кабине. Помимо этого, второй уровень АСУ, решая задачи общего управления КСЖО по критериям выражений (1)–(3), выдает команды локальным БУ на пуск и останов соответствующих систем. Для постановки задач управления рассмотрим действующие в СОГС возмущения. Все рассматриваемые возмущения для подсистем в составе СОГС являются штатными и постоянно присутствующими воздействиями. Характеристики параметров жизнедеятельности экипажа взяты согласно ГОСТ Р 50804-95 [11].

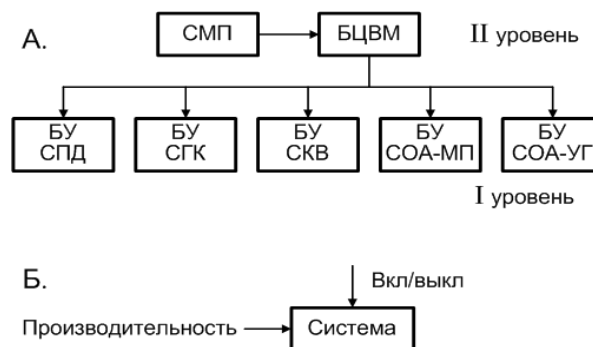


Рис. 3. Структура части АСУ, обеспечивающей управление СОГС
(А – структура АСУ; Б – управления с верхнего (II уровня) АСУ в подсистему I уровня)

Для СГК и СОА-УГ главная составляющая внешнего воздействия, соответственно, потребление кислорода экипажем $0,86 \text{ кг}/(\text{сут}\cdot\text{чел.}) \pm 10 \%$ и выделение углекислого газа $0,95 \text{ кг}/(\text{сут}\cdot\text{чел.}) \pm 10 \%$. Колебания и отклонения от среднего уровня и их воздействие на параметры атмосферы будут сглажены объемом гермоотсека. Влияние других факторов на содержание O_2 и CO_2 : наличие на борту биообъектов (например, ананаса), окислительные процессы в КСЖО (при регенерации конденсата, очистке от микропримесей и т.п.), утечки из гермоотсека и т.д. является много меньшим по сравнению с влиянием экипажа. Взяв значения потребления O_2 и выделения CO_2 , зная, как будет меняться численность экипажа и установив оптимальные или другие требуемые значения содержания O_2 и CO_2 , по имитационной модели можно планировать производительность систем. Реальные содержания в атмосфере гермоотсека O_2 и CO_2 , которые получает СМП, будут мало отличаться от расчетных, но если отклонение больше допустимых пределов, то в планируемую производительность вносятся коррективы.

Для СКВ главной составляющей внешнего воздействия является экипаж. Ориентировочная величина выделения влаги человеком в воздух гермоотсека $1200\text{--}1500 \text{ мг}/(\text{сут}\cdot\text{чел.})$. Фактическая величина выделения влаги существенно зависит от температуры и влажности воздуха, физической нагрузки и индивидуальных особенностей человека. Кроме того, значительное количество влаги может попадать в воздух из систем жизнеобеспечения экипажа. Поэтому СКВ должна иметь определенный запас по максимальной производительности (по удалению влаги), и ее планируемая текущая производительность будет корректироваться значениями реальной влажности атмосферы гермоотсека, получаемыми СМП.

Для СОА-МП главными составляющими внешнего воздействия (выделения микропримесей) наряду с экипажем являются материалы и системы гермоотсека. При этом удаление микропримесей (как и их преобразование) происходит не только СОА-МП, но и другими системами борта. Описание динамики микропримесей на борту рассматривается на уровне постановки задачи в работе [5], а в дальнейшем потребуется решение этой задачи для создания имитационной модели динамики микропримесей в гермоотсеке (как суммарного показателя загрязненности и для отдельных микропримесей). Поэтому СОА-МП должна иметь большой запас по производительности (по удалению микропримесей), широкий диапазон по поглощаемым веществам, а ее текущая производительность будет определяться данными содержания микропримесей и фактической загрязненности атмосферы, получаемыми СМП.

Для СПД главные составляющие внешнего воздействия (утечка атмосферы) – допустимая штатной негерметичность гермоотсека, шлюзование при внекорабельной деятельности и при расстыковке космических аппаратов, работа СЖО (например, СОА-УГ, когда происходит выброс удаляемого CO_2 за борт). Оценив каждую составляющую утечки и предполагаемую деятельность на борту, можно сделать прогноз потерь атмосферы, составить имитационную модель и планировать работу СПД, корректируя ее текущую производительность значениями реального давления в гермоотсеке, получаемого СМП. Для МКС сегодня средние потери атмосферы из-за утечки $\sim 0,22 \text{ кг/сут.}$ (подробно об утечках на МКС в работе [14]), а наддув для повышения общего давления атмосферы проводится периодически из запасов газов. Но при создании будущих планетных баз существенно возрастут объемы гермоотсеков (и, соответственно, утечки), газы для атмосферы будут получать из местных ресурсов, поэтому потребуется непрерывная работа СПД и планирование ее производительности.

Структура алгоритма управления СОГС

Локальный критерий эффективности управления формулируется приложением глобального критерия комфортности выражения (3) к соответствующей подсистеме СОГС. В общем виде задача управления состоит в поддержании концентрации кислорода, углекислого газа, микропримесей и влажности на заданном уровне. Тогда качество регулирования оценивается величиной рассогласования:

$$\left| p_{i[\text{зад}]} - p_i(\tau) \right| \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где индекс i – составляющая атмосферы, на которую направлено действие соответствующей подсистемы СОГС (рис. 2 и 3), $i = 1$ – это кислород, 2 – углекислый газ, 3 – микропримеси, 4 – водяной пар (влажность воздуха); $p_{i[\text{зад}]}$, $p_i(\tau)$ – соответственно, заданное (уставка) и текущее (во времени τ) значения парциального давления рассматриваемого газа (составляющей атмосферы); τ – время; ε – допустимый предел рассогласования.

Для последующего синтеза регулятора запишем модель объекта управления. Объем i -го газа (компонента атмосферы) в обитаемом гермоотсеке:

$$v_i(\tau) = \frac{p_i(\tau)}{P} \cdot V, \quad (5)$$

где $v_i(\tau)$ – текущий парциальный объем i -го газа в атмосфере обитаемого гермоотсека; V – общий объем гермоотсека (атмосферы), P – общее давление атмосферы в обитаемом гермоотсеке.

Обеспечение цели управления (4) предлагается осуществить путем отслеживания материального баланса по каждой составляющей атмосферы (рис. 4):

$$\frac{dv_i(\tau)}{d\tau} = q_{i[\text{под}]}(\tau) - q_{i[\text{уд}]}(\tau), \quad (6)$$

где $q_{i[\text{под}]}(\tau)$, $q_{i[\text{уд}]}(\tau)$ – соответственно, текущие объемные расходы поступающей (подача или выделение) и расходуемой (удаление или потребление) составляющей атмосферы.

Поскольку АСУ контролирует парциальное давление и управляет расходом подаваемой или удаляемой составляющих атмосферы, из (5) и (6) получим:

$$p_i(\tau) = p_i(0) + \frac{P}{V} \cdot \int_0^{\tau} (q_{i[\text{под}]}(\tau) - q_{i[\text{уд}]}(\tau)) d\tau, \quad (7)$$

где $p_i(0)$ – константа интегрирования для составляющей атмосферы.

Уравнение (7) представляет собой математическую модель объекта управления. Согласно этой модели объект управления не обладает самовыравниванием. При снятии возмущения, т.е. при восстановлении баланса между расходами поступающего и удаляемого компонента, его концентрация не восстанавливается до первоначального значения. В этом случае невозможно поддержание заданной концентрации без управления по рассогласованию. Однако большая постоянная времени объекта управления, связанная со значительными объемами гермоотсеков для экипажей межпланетных кораблей и планетных баз, создает трудности для реализации такого управления. Поэтому предлагается использовать *комбинированное управление по рассогласованию и по возмущению*.

Определим часть алгоритма, связанную с *управлением по возмущению*.

С учетом большой инерции объекта управления, выражение (6) можно записать в более удобной форме в виде уравнения в конечных разностях для значений параметров в моменты времени $\tau = \tau_1$ и $\tau = \tau_2$:

$$v_i(\tau_2) - v_i(\tau_1) = \left(\frac{q_{i[\text{под}]}(\tau_2) + q_{i[\text{под}]}(\tau_1)}{2} - \frac{q_{i[\text{уд}]}(\tau_2) + q_{i[\text{уд}]}(\tau_1)}{2} \right) \cdot (\tau_2 - \tau_1). \quad (8)$$

На основании этого уравнения и с учетом выражения (5) можно построить управление по возмущению, т.е. определить сигнал управления, который должна вырабатывать АСУ для задания производительности соответствующей подсистемы в составе СОГС, необходимой для поддержания каждой составляющей атмосферы на заданном уровне без автоколебаний.

Для СГК (для нее принят индекс $i = 1$) производительность $q_{1[\text{УПР}]}(\tau)$ – это подача кислорода в гермоотсек:

$$q_{1[\text{УПР}]}(\tau_2) = q_{1[\text{под}]}(\tau_2) = q_{1[\text{под}]}(\tau_1) - K_1 \cdot \left(\frac{p_1(\tau_2) - p_1(\tau_1)}{\tau_2 - \tau_1} \right) \cdot \frac{V}{P}. \quad (9)$$

Для других подсистем в составе СОГС: СОА-УГ ($i = 2$), СОА-МП ($i = 3$) и СКВ ($i = 4$) производительность $q_{i[\text{УПР}]}(\tau)$ – это удаление соответствующей составляющей атмосферы из гермоотсека:

$$q_{i[\text{УПР}]}(\tau_2) = q_{i[\text{уд}]}(\tau_2) = q_{i[\text{уд}]}(\tau_1) + K_i \cdot \left(\frac{p_i(\tau_2) - p_i(\tau_1)}{\tau_2 - \tau_1} \right) \cdot \frac{V}{P}, \quad (10)$$

где $q_{i[\text{УПР}]}(\tau_2)$ – управляющий сигнал по возмущению для соответствующей подсистемы (т.е. ее производительность) в момент времени τ_2 ; K_i – коэффициент усиления для подсистемы, который обеспечивает компенсацию отклонения парциального давления составляющей атмосферы от заданного уровня.

Возможные автоколебания устраняются подбором коэффициентов K_i и периодов усреднения (шага по времени) $\tau_2 - \tau_1$. Этот подбор целесообразно выполнять путем имитационного моделирования с использованием методов нелинейного программирования, например, метода наискорейшего спуска по критерию (4). Таким образом, уравнения (7)–(10) являются теоретической базой для построения и отработки алгоритмов управления составом атмосферы по возмущению. При этом величина возмущения определяется исходя из динамики контролируемой составляющей атмосферы.

Основным источником возмущений для составляющих атмосферы является человек. Поэтому предлагается ввести специальный контур управления с алгоритмом *управления по численному составу экипажа*:

$$q_{i[\text{УПР}/\text{Э}]}(\tau) = n(\tau) \cdot q_{i[\text{чел}]}, \quad (11)$$

где $q_{i[\text{УПР}/\text{Э}]}(\tau)$ – управляющий сигнал по численности экипажа для соответствующей подсистемы (т.е. ее производительность) в момент времени τ ; $n(\tau)$ – численность экипажа в момент времени τ ; $q_{i[\text{чел}]}$ – среднее потребление или выделение человека для i -ой составляющей атмосферы.

На МКС количество членов экипажа небольшое и остается постоянным в течение несколько дней (до прилета или отлета очередной экспедиции). Поэтому величину $n(\tau)$ можно вводить в ручном режиме. Но при создании больших планетных баз количество людей, находящихся в каждом отдельном автономном гермоотсеке базы, будет постоянно изменяться. Поэтому можно снабдить каждого человека на базе электронной меткой с кодом (электронный браслет и т.п.) и АСУ будет непрерывно отслеживать численность экипажа и подстраивать под него производительность подсистем СОГС.

Определим часть алгоритма, связанную с *управлением по рассогласованию*, для чего применим известный пропорционально-интегральный регулятор. В СГК:

$$q_{i[\text{УПР}]}^*(\tau) = q_{i[\text{под}]}(\tau) = K_1^{\text{П}} \cdot (p_{i[\text{зад}]} - p_i(\tau)) \cdot \frac{V}{P} + K_1^{\text{И}} \cdot \frac{V}{P} \cdot \int_0^{\tau} (p_{i[\text{зад}]} - p_i(\tau)) d\tau, \quad (12)$$

где $q_{i[\text{УПР}]}^*(\tau)$ – управляющий сигнал по рассогласованию для СГК (т.е. ее производительность) в момент времени τ ; $K_1^{\text{П}}$, $K_1^{\text{И}}$ – соответственно, коэффициенты усиления для пропорциональной и интегральной составляющих управляющего сигнала; $p_{i[\text{зад}]}$, $p_i(\tau)$ – соответственно, заданное (уставка) и текущее (во времени τ) значения парциального давления кислорода в гермоотсеке.

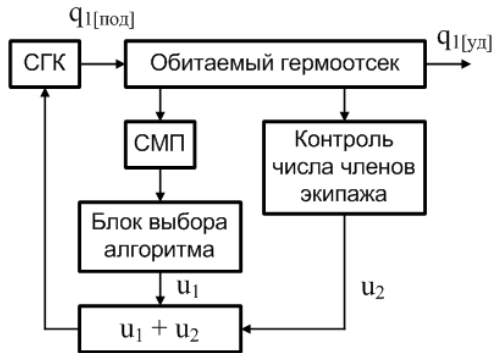


Рис. 4. Структура алгоритма управления газовым составом на примере СГК

В выражении (12) значения коэффициентов $K_1^П$, $K_1^И$ подбираются на имитационной модели СГК с помощью методов нелинейного программирования, например, антиградиентный метод поиска экстремума по критерию (4).

Предлагаемая структура алгоритма управления газовым составом атмосферы на примере регулирования производительности по кислороду в СГК представлена на рис. 4. Суммарное управление СГК во времени τ (суммарный управляющий сигнал) задает производительность системы по кислороду и включает в себя две

составляющие: $u_1(\tau)$ и $u_2(\tau)$.

Изменение во времени τ составляющей управляющего сигнала $u_1(\tau)$ формируется или алгоритмом управления по возмущению $q_{1[УПР]}(\tau)$ выражения (9), или алгоритмом управления по рассогласованию $q_{1[УПР]}^*(\tau)$ выражения (12). Переключение алгоритмов осуществляется специальным блоком переключения и идет по величине рассогласования λ между заданным $p_{1[зад]}$ и текущим $p_1(\tau)$ значением парциального давления кислорода в гермоотсеке:

$$\lambda = |p_{1[зад]} - p_1(\tau)|. \tag{13}$$

Если абсолютная величина между $p_{1[зад]}$ и $p_1(\tau)$ больше λ , то будет управление по возмущению (9), если меньше λ – управление по рассогласованию (12). Для исключения автоколебаний предусмотрена зона нечувствительности $2 \cdot \delta$, т.е., если расхождение между $p_{1[зад]}$ и $p_1(\tau)$ не превышает значения δ , то значение $u_1(\tau)$ в следующий момент времени τ_2 по сравнению с предыдущим моментом времени τ_1 не изменяется. Все сказанное можно записать как:

$$u_1(\tau_2) = \begin{cases} u_1(\tau_1), & |p_{1[зад]} - p_1(\tau)| \leq \delta \\ q_{1[УПР]}^*(\tau_2), & \delta < |p_{1[зад]} - p_1(\tau)| \leq \lambda \\ q_{1[УПР]}(\tau_2), & \lambda < |p_{1[зад]} - p_1(\tau)| \end{cases} \tag{14}$$

Изменение во времени τ составляющей управляющего сигнала $u_2(\tau)$ формируется алгоритмом управления по численному составу экипажа $u_2(\tau) = q_{1[УПР/Э]}(\tau)$ выражения (11).

Предложенный комбинированный алгоритм управления обеспечивает ускорение стабилизации заданной концентрации кислорода в гермоотсеке.

Подобно алгоритму управления СГК можно записать структуру алгоритма управления для других подсистем: СОА-УГ, СОА-МП и СКВ, предварительно записав управляющий сигнал по рассогласованию, аналогично выражению (12).

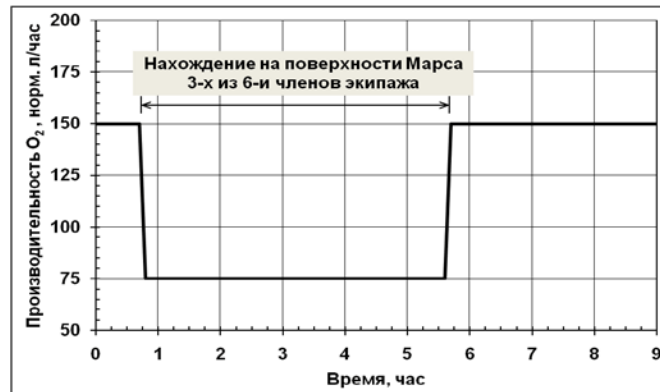


Рис. 5. Управление производительностью по кислороду СГК при выходе на поверхность Марса половины экипажа

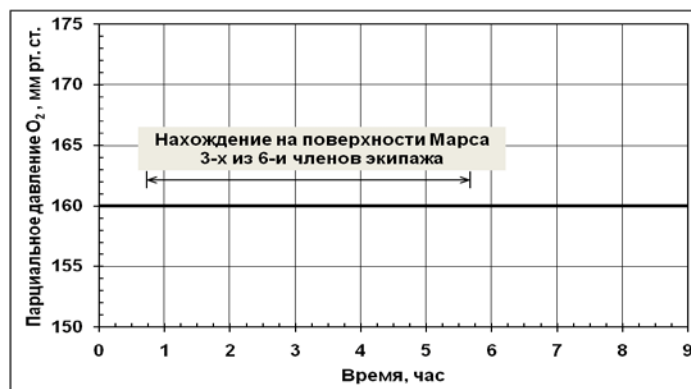


Рис. 6. Парциальное давление кислорода в гермоотсеке при комбинированном управлении и возмущении 50 %

Для проверки предложенной теории в наземном эксперименте «МАРС-500» для параметров жилого модуля было проведено имитационное моделирование алгоритма управления производительностью по кислороду для СГК с целью поддержания парциального давления кислорода. При изменении потребления кислорода на 50 % в ходе имитации выхода части экипажа на Марс и его возвращении отклонение содержания кислорода в гермоотсеке не наблюдалось (рис. 5 и 6).

Контроль текущего технического состояния КСЖО, его прогнозирование во времени и определение нештатных ситуаций

Для контроля текущего состояния КСЖО требуется из технологических соображений определить минимум необходимых параметров. При этом надо учесть отличительные особенности рассматриваемых объектов автоматизации. Далее определяют предельные значения параметров, при выходе за которые имеет место нештатная ситуация. Для обеспечения живучести КСЖО требуется контроль те-

кущего технического состояния, прогнозирование технического состояния во времени и своевременное обнаружение и идентификация возникающей НШС. В этих условиях существенным является наблюдаемость объекта управления. Далее рассмотрим условия обеспечения достаточной наблюдаемости.



Рис. 7. Наблюдаемость системы жизнеобеспечения

Рассмотрим n -мерное пространство контролируемых параметров. Предельные значения этих параметров определяют допустимую область работы КСЖО. В качестве метрики этого пространства примем среднее арифметическое значение n параметров. Тогда допустимое множество значений этих параметров можно представить на плоскости в виде круга с радиусом R (рис. 7):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (15)$$

где x_i – предельное значение i -го параметра в безразмерном виде; n – общее число параметров.

Если контролировать только предельные значения параметров, то наблюдаемость системы U_1 можно оценить величиной:

$$U_1 = \frac{1}{R}. \quad (16)$$

Поскольку все процессы в КСЖО имеют большие постоянные времени, то динамикой контролируемых параметров можно пренебречь.

Если производить непрерывное измерение контролируемых параметров датчиками аналогового типа, то область существования системы в данный момент можно изобразить в виде круга малого радиуса r , где r определяется точностью измерения датчиков. Наблюдаемость системы U_2 в этом случае:

$$U_2 = \frac{1}{r}. \quad (17)$$

При этом $U_2 \gg U_1$.

Такое представление ситуации позволяет прогнозировать состояние КСЖО во времени с предвидением возможного момента возникновения НШС при выходе тренда состояния КСЖО за пределы допустимой области R . Для этого можно регулярно проводить аппроксимацию тренда и уточнять прогноз.

Помимо структуры, живучесть обеспечивается следующими факторами:

1. Элементная база.

Элементная база для построения автоматизированных систем управления развивается параллельно мировым информационным системам, которые за последнее время пережили несколько технических революций. В данном случае желательно располагать элементами с надежностью порядка 0,999 с запасом по времени, превышающим заданную продолжительность эксплуатации. Весьма перспективным является использование опыта ряда мировых фирм в создании «микродатчиков», т.е. чувствительных элементов маленьких габаритов.

2. Максимальная унификация.

3. Выбор наиболее простых решений из множества возможных.

4. Резервирование.

В литературе в качестве резервирования рассматривается троирование [15, 16]. Троирование – установка трех одинаковых датчиков для контроля требуемого технологического параметра. При троировании имеется проблема мажоритарного модуля, который определяет выбор истинного решения по принципу два из трех. Отказ одного элемента этого модуля равнозначен отказу всего модуля, что снижает вероятность безотказной работы до 0,8 вместо требуемых 0,999. В этом случае имеет место очень низкий объем получаемой информации.

Поэтому для резервирования в КСЖО предлагается использовать функциональное дублирование – установка двух и более датчиков разного принципа действия в различных точках технологической схемы. При этом контролируемые датчиками параметры связаны между собой через технологический процесс.

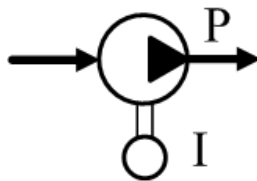


Рис. 8. Схема контроля технических параметров шестеренчатого насоса в СГК «Электрон-ВМ»

Как пример функционального дублирования рассмотрим контроль технического состояния шестеренчатого насоса для циркуляции электролита в составе российской СГК «Электрон-ВМ» на борту МКС (рис. 8):

$$I = k_1 \cdot P + k_2 \cdot M_{тр}, \quad (18)$$

где I – ток, потребляемый электродвигателем насоса;
 P – создаваемый напор (давление на выходе) насоса;
 $M_{тр}$ – момент трения в насосе; k_1 и k_2 – коэффициенты пропорциональности.

Имеются датчики давления P и тока I . Если показания датчиков постоянные или изменяются согласованно, то насос и датчики работают нормально. Нарушения согласованных показаний датчиков говорит об отказе или НшС:

- согласованное падение давления и тока ниже минимально допустимых значений – НшС в работе насоса (наиболее вероятен отказ магнитной муфты насоса);
- давление и ток превысили максимально допустимые значения – НшС, связанная с повышением сопротивления гидравлической линии на выходе насоса;
- относительно плавное повышение тока при неизменном давлении – повышение момента трения в двигателе;
- падение давления без изменения величины тока – отказ датчика давления;
- падение тока без изменения показаний по давлению – отказ датчика тока.

При функциональном дублировании АСУ получает больше объем информации по сравнению с троированием, с большими возможностями идентификации технического состояния объекта, выдает более точную информацию по предсказанию НшС во времени, ее локализации и указывает пути нейтрализации.

Особенности бортового комплекса управления лунной базы

Ближайшей целью развития обитаемой космонавтики будет освоение планет солнечной системы. В частности, создание планетных баз. При сегодняшнем уровне развития науки и техники, степени изученности планет, наконец, при имеющихся материальных возможностях нам представляется наиболее целесообразным начать процесс освоения планет солнечной системы с создания лунной базы. Это необходимо для создания и отработки новых технологий для дальнейшего проникновения человека в дальний космос. Такое решение выглядит логическим продолжением работ на околоземных космических станциях и позволит в максимальной степени использовать накопленный опыт. С другой

стороны, такой подход позволит получить желаемый результат за относительно минимальное время при минимальных затратах. Возможность эффективной материальной и интеллектуальной поддержки лунной базы с Земли существенно повысит безопасность экипажа, особенно при возникновении критических ситуаций. Наконец, более интересной является коммерческая сторона дела: туризм, добыча полезных ископаемых, солнечная электростанция с передачей электроэнергии на Землю и др. Мы рассматриваем один из возможных вариантов реализации такого проекта.

Японский зонд «Кагуя» при сканировании Луны обнаружил лунные норы, видимо, вулканического происхождения, ведущие в пустоты под поверхностью Луны. Там может быть вода в виде льда, защищенная от прямых солнечных лучей. Эти полости можно использовать для размещения лунной базы [17].

В состав лунной базы будут входить [18]: жилой модуль, производственно-энергетический модуль, лабораторный модуль, склад, медицинский модуль, транспортный модуль, космодром, гостиница для туристов, ремонтная база. Экипаж располагается в герметичных модулях с комплексом систем жизнеобеспечения. При выходе из этих модулей используется лунный скафандр с автономной системой жизнеобеспечения. В жилом отсеке имеются жилые помещения для экипажа станции и кают-компания, центр управления, модуль для расположения КСЖО. Здесь расположены подсистемы физико-химической и биотехнической систем жизнеобеспечения, системы обеспечения теплового режима. В производственном отсеке располагается энергетическая установка лунной базы и система распределения электроэнергии на основе электротехники Теслы. Преимущества электротехники Теслы: наличие однопроводной сети, исключающей возможность короткого замыкания и обеспечивающей высокую степень безопасности, наличие сверхпроводимости при любой температуре и резкое снижение массогабаритных показателей кабельных сетей.

На лунной базе потребуется создать АСУ для управления большим количеством объектов в составе КСЖО с высокой производительностью систем, непрерывным циклом работы и разнообразными принципами действия. КСЖО будет непрерывно развиваться и модернизироваться. Поэтому на этапе создания и оптимизации АСУ можно использовать предложенные глобальные обобщенные критерии: живучесть, себестоимость и комфортность. Создаваемая АСУ КСЖО будет гибкой системой с распределенной структурой, обеспечивающей высокую степень наблюдаемости и прогноза технического состояния объектов управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рожнов В.Ф. Космические системы жизнеобеспечения. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – 344 с.
- [2] Zaretskiy B.F., Gavrilov L.I., Kurmazenko E.A. Crew Life Support System Control for Interplanetary Vehicles // 39th International Conference on Environmental Systems (Savannah, Georgia). July 13-16, 2009. SAE Publication. № 2009-01-2464. P. 1-5.
- [3] Романов С.Ю., Гузенберг А.С. Космические системы жизнеобеспечения: основные требования к разработке средств жизнеобеспечения экипажей длительных космических экспедиций // Инженерная экология. – 2013. – № 2 (110). – С. 2–15.
- [4] Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Курмазенко Э.А. Перспективы развития регенерационных систем жизнеобеспечения для длительных пилотируемых космических полетов: предварительный анализ // Вестник МАИ. – 2008. – № 1. – Т. 15. – С. 17–25.

- [5] Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А., Кочетков А.А., Гаврилов Л.И. Вопросы эксплуатации регенерационных систем обеспечения газового состава российского модуля Международной космической станции // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – № 65 (создан 19 июня 2013 г.). – С. 1–21. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php>
- [6] Курмазенко Э.А., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Прошкин В.Ю., Хабаровский Н.Н. Космические эколого-технические системы: статус и направления развития интегрированных систем жизнеобеспечения экипажей межпланетных космических аппаратов // Инженерная экология. – 2014. – № 2 (116). – С. 2–26.
- [7] Прошкин В.Ю. Космические системы жизнеобеспечения: системный подход при разработке комплекса регенерационных систем жизнеобеспечения для обитаемых космических станций // Инженерная экология. – 2014. – № 2 (116). – С. 27–45.
- [8] Малоземов В.В., Зарецкий Б.Ф. Космические системы жизнеобеспечения: обеспечение жизнедеятельности экипажа в дальних космических экспедициях // Инженерная экология. – 2012. – № 2 (108). – С. 7–45.
- [9] Гаврилов Л.И., Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю., Кочетков А.А., Прошкин В.Ю. Перспективы создания регенерационных систем обеспечения газового состава для межпланетных полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2008. – Т. 42. – № 6/1 (доп). – С. 67–69.
- [10] Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
- [11] ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.
- [12] Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А. Система генерации кислорода «Электрон-ВМ» на борту Международной космической станции // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 3 (8). – С. 84–99.
- [13] Кудрявцева Н.С. Основы проектирования эффективных систем терморегулирования космических аппаратов. – М.: МАИ, 2012. – 228 с.
- [14] Schaezler R.N., Cook A.J., Leonard D.J., Ghariani A. Trending of Overboard Leakage of ISS Cabin Atmosphere. // 41th International Conference on Environmental Systems (Portland, Oregon, USA). July 17-21, 2011. AIAA Publication. № AIAA-2011-5149. P. 1-12.
- [15] Jiang H., Rodriguez L.F., Bell S., Kortenkamp D. Redundancy Testing and Cost Assessment for Environmental Control and Life Support Systems // 39th International Conference on Environmental Systems (Savannah, Georgia). July 13-16, 2009. SAE Publication. № 2009-01-2495. P. 1-13.
- [16] Jones H. Ultra Reliable Space Life Support Systems // 38th International Conference on Environmental Systems (San Francisco, CA, USA). June 29–July 2, 2008. SAE Publication. № 2008-1-2160. P. 1-17.
- [17] Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А. Пилотируемые полеты: от Ю.А. Гагарина к МКС и полетам в дальний космос // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 2 (2). – С. 6–20.
- [18] Зарецкий Б., Малоземов В., Морозов Г. Обеспечение жизнедеятельности экипажа лунной базы // Инженер и промышленник. – 2013. – № 1 (1). – С. 54–57.

УДК 629.78.047.8

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦБЕЛЬЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ И В ХОДЕ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

А.Н. Супотницкий, О.С. Гордиенко, А.В. Кальмин, М.В. Дворников

А.Н. Супотницкий; О.С. Гордиенко; А.В. Кальмин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. мед. наук, профессор М.В. Дворников (Научно-исследовательский испытательный центр авиационной медицины и военной эргономики ЦНИИ ВВС МО РФ)

Статья посвящена гигиеническим и эргономическим аспектам проблемы эффективного использования спецбелья для космонавтов во время их подготовки, а также в процессе выполнения космического полета. В исследованиях применены современные технологии мониторинга физиологических показателей функционального состояния испытуемых и гигиенических параметров применяемого спецбелья, которые позволили получить комплексную оценку, сформулировать уточненные требования к спецбелью для космонавтов и разработать практические рекомендации.

Ключевые слова: влагопроницаемость, влагоемкость, время высушивания, испытуемый, космонавт, психофизические показатели, спецбелье, теплофизические параметры, эргономические требования, эффективность.

Main Results of Testing Properties of Special-Purpose Underwear Used in the Course of Cosmonaut Training and Space Missions. A.N. Supotnitsky, O.S. Gordienko, A.V. Kalmin, M.V. Dvornikov

The paper considers the hygienic and ergonomic aspects of the problem of an effective use of special-purpose underwear for cosmonauts during the training process and the performance of a space mission. The current technologies of monitoring the physiological parameters of the subjects' functional state and the hygienic parameters of used underwear were applied. They have given an opportunity to carry out a comprehensive assessment, formulate the detailed requirements for cosmonauts' underwear, and develop the practical recommendations.

Keywords: moisture permeability, water-absorbing ability, dryout time, a subject, a cosmonaut, psycho-physical parameters, special-purpose underwear, thermal-physic parameters, ergonomic requirements, efficacy.

В данной статье под спецбельем понимается нательное белье, которое используется космонавтами как в процессе их наземной подготовки, так и в реальном космическом полете, которое помимо традиционных физиолого-гигиенических характеристик должно отвечать специальным повышенным требованиям, учитывающим специфику выполнения комплекса функциональных задач в экстремальных условиях деятельности и ограниченные возможности проведения гигиенических мероприятий на пилотируемом космическом аппарате.

Для космонавтов характерно обязательное применение спецбелья в различных условиях профессиональной деятельности, в том числе во время наземной подготовки на комплексном тренажере, в гидролаборатории, в барокамере, при примерках корабля и скафандра, во время натурных тренировок по выживанию (в пустыне, лесисто-болотистой местности, на водной поверхности), а также в процессе выполнения реального космического полета, при нахождении в спасательном скафандре на этапах выведения и спуска пилотируемого космического аппарата, при выполнении профессиональной деятельности в период полета на борту



Рис. 1. Тренировка космонавтов летом на выживание в пустыне (на рисунке видны космонавты в штатном хлопчатобумажном белье)



Рис. 2. Тренировка космонавтов на выживание на водной поверхности (спецбелье используется в комплекте с гидрокombineзонами «Форель»)



Рис. 3. Тренировка космонавтов на выживание зимой в лесисто-болотистой местности (спецбелье используется в комплекте с теплой одеждой)



Рис. 4. Спецбелье одевается под скафандр перед комплексной тренировкой космонавтов

Международной космической станции (рис. 1–4), при проведении физических тренировок или во время внекорабельной деятельности с использованием выходного скафандра «Орлан».

Таким образом, спецбелье может использоваться космонавтами как в «пакете» с другим специальным защитным снаряжением или полетной одеждой, так и индивидуально, например, летом при выживании в пустыне. При этом спецбелье играет важную роль в обеспечении комфортности теплового состояния, эргономичности снаряжения и поддержании высокой работоспособности космонавтов, сохранении их профессионального здоровья. Оно предназначено для защиты кожных покровов космонавтов от загрязнений и механических повреждений, сохранения гигиенических характеристик специального снаряжения, санитарная обработка которого во время космического полета сильно затруднена, предупреждения теплового дискомфорта в процессе физических тренировок, обеспечения комфортности микроклимата в пододежном пространстве спецснаряжения при использовании систем активного терморегулирования воздушного или жидкостного типа. Поэтому назначение спецбелья состоит не только в обеспечении гигиенических параметров и поддержании теплового баланса организма космонавта, но и в обеспечении высоких эргономических характеристик.

Действительно, спецбелье создает вокруг тела космонавта своеобразный микроклимат, степень комфортности которого зависит от параметров тепло-влажностного режима в пододежном пространстве, которое характеризуется специфическими показателями влажности, температуры воздуха, а также определенную скорость его движения, особенно в условиях использования искусственной вентиляции при нахождении в скафандре. Эти показатели определяют интенсивность теплообменных процессов и, следовательно, влияют на самочувствие, состояние организма и работоспособность космонавта.

Для того чтобы спецбелье в полной мере выполняло свое назначение и способствовало сохранению здоровья космонавтов, оно должно удовлетворять ряду обязательных и, заметим, повышенных общих и специальных требований, характерных для использования его человеком, пребывающим в опасных и сложных условиях жизнедеятельности, которые к тому же часто носят противоречивый характер, а при существенном изменении условий деятельности (повышение уровня энергозатрат, ухудшение условий теплоотдачи, вынужденные перерывы в использовании систем вентиляции и т.п.) один и тот же вариант спецбелья способен оказывать как благоприятное, так и негативное влияние на тепловое состояние космонавта.

К сожалению, существующие методы оценки физиолого-гигиенических показателей спецбелья в основном ориентируются на субъективную оценку, которая при переходных процессах не всегда является адекватной. Поиск методов, повышающих объективность гигиенической оценки, является актуальным, в теоретическом и методическом плане достаточно сложным, а с практической точки зрения очень важным.

Для проведения исследований с целью сравнительной оценки и разработки рекомендаций по выбору спецбелья для космонавтов сотрудниками Центра совместно со специалистами Научно-исследовательского испытательного центра авиационной медицины и военной эргономики ЦНИИ ВВС МО РФ была предложена и использована система комплексных исследований спецбелья, основанная на современных технологиях синхронного мониторинга показателей теплового состояния организма и теплофизических параметров микроклимата в пододежном пространстве, схематично показанная на рис. 5. Данная система исследований в той или иной степени может быть успешно применена не только при сравнительной оценке различных вариантов спецбелья, но и при проведении комплексной оценки условий деятельности и обосновании медицинских мероприятий по их оптимизации.

Сущность системного подхода при проведении комплексных исследований спецбелья или других образцов спецснаряжения заключается в том, что при моделировании реальных условий деятельности космонавта использовались технологии мониторинга многофакторных физиологических, теплофизических параметров, производилось сопоставление их с данными общей и локальной субъективной оценки теплового состояния. Результаты проведенных исследований позволяют не только получать объективную оценку спецбелья или спецснаряжения, но и осуществлять обоснованный выбор оптимального из исследуемого множества вариантов, исходя при этом из требований, предъявляемых к функционально важным свойствам спецбелья.

Известны различные способы оценки, сравнения и выбора спецбелья. Применительно к обычным, т.е. к комфортным условиям использования спецбелья используют относительно упрощенные методы оценки, в том числе визуальный обзор, субъективную оценку, а также типовые физиологические показатели, оценки теплового состояния, высокую вариабельность, которые существенно затрудняют

сравнительную оценку. Для выявления отличий используют метод создания экстремальных условий в специальных микроклиматических камерах с повышенной или пониженной температурой и влажностью. Но такие показатели, несомненно имеющие самостоятельную ценность, не всегда являются адекватными применительно к комфортным условиям деятельности. Использование методов анкетирования испытуемых, а также методик статистической обработки результатов испытаний [3] не всегда позволяет получить точную оценку. Существует опыт разработки методик экспериментальных исследований спецодежды, куда входит и спецбелье [1, 2]. Недостатки существующих способов оценки, сравнения и выбора спецбелья состоят в том, что они предназначены для решения частных задач оценки теплового состояния человека и показателей качества спецбелья в специальных лабораториях и характеризуются отсутствием комплексного подхода, включающего оценку свойств материалов, психофизиологического состояния испытуемого, температурных и влажностных характеристик в биотехнических системах «человек–спецбелье–окружающая среда», «человек–спецбелье–средства защиты–окружающая среда».

Предложенная система исследований обладает признаками технологии: возможностью четко формулировать цель исследований в зависимости от поставленной задачи, гарантированным достижением конечного результата в виде ожидаемой оценки, строгой процедурностью, обеспечивающей воспроизводимость результатов, использованием специальных технических средств регистрации (мониторирования), методики обработки и трактования полученных результатов. Она позволяет заказчику обоснованно, грамотно сравнивать и выбирать наиболее предпочтительное спецбелье, предназначенное для различных экстремальных условий эксплуатации, снижать риски субъективных ошибок при их оценке и выборе, определять спецбелье с улучшенными характеристиками по термо- и влагорегуляции, общей комфортности, удобству ношения.

Данная система оценки и выбора спецбелья предполагает использование совокупности материаловедческих, технических, физиологических, гигиенических и психометрических методик, обеспечивающих возможность сопоставления объективных и субъективных показателей спецбелья. Эти показатели формируются в результате:

- испытаний материалов с помощью установки для экспресс-анализа;
- объективного (приборного) контроля (мониторинга) динамики температурно-влажностных характеристик в области пододежной среды с использованием термогидрохрон;
- мониторинга объективных и субъективных показателей теплового состояния испытуемых (космонавтов) с использованием термохрон и данных теплоощущений;
- дискретной оценки параметров функционального состояния испытуемого и использования метода инфракрасной термографии;
- экспертной оценки методом анкетирования по результатам испытаний в экстремальных условиях использования спецбелья;
- системного анализа и оценки полученных в результате испытаний данных при четком планировании и строгом выполнении циклограммы исследований с дозированной физической или тепловой нагрузкой;
- контроля параметров вентиляционного воздуха на входе и выходе при использовании спецнаряжения с системами активного терморегулирования вентиляционного типа;

– обоснования необходимых рекомендаций по выбору подходящих вариантов спецбелья на основе их сравнительной оценки в соответствии с заданными требованиями к спецбелью и условиями его применения.

Основные элементы приведенной выше системы оценки и выбора спецбелья можно применять не только для выбора спецбелья для космонавтов, но и для водолазов, пожарных, в том числе при использовании ими специальных защитных средств: водолазного оборудования, костюмов для пожарных, изолирующих костюмов для работы с токсичными веществами.

В соответствии с порядком проведения исследований спецбелья для космонавтов, показанным на рис. 5, сначала проводился комплекс подготовительных работ. Он включал в себя: подготовку анкет для опроса испытуемых, программирование режимов работы термохронов и гигрохронов (синхронизацию времени включения и дискретность регистрации данных) и подготовку (тарировку) других приборов, необходимых для проведения испытаний, в том числе термографа, подготовку установки для испытаний материалов спецбелья и некоторые другие работы.

Испытания спецбелья проводились в экстремальных климато-географических условиях группой испытуемых (кандидатов в космонавты). По завершении процесса испытаний была получена экспертная (субъективная) оценка выбранной модели спецбелья способом анкетирования испытуемых и статистической обработки результатов по следующим показателям: удобство ношения, оценка теплоотвода, оценка впитывания пота и отвода влаги, общая оценка хлопчатобумажного белья, спецбелья, замечания и предложения, пожелания по использованию спецбелья. Полученные результаты оценок испытуемых показаны на рис. 6. Анализ показывает, что интегральная оценка экспертами испытываемого образца спецбелья в основном превышает средний уровень, однако при этом не достигает предельных значений.

Наиболее интересной и сложной была часть испытания спецбелья в скафандре «Сокол КВ-2» на тренажере ТДК-7СТ. Известно, что при подготовке космонавтов на этом тренажере и в ходе космического полета (на этапах выведения и спуска) используется хлопчатобумажное белье, которое обладает рядом недостатков. В данной работе сделана попытка поиска и экспериментальной оценки новой модели подскафандрового белья для космонавтов. Для этого было предложено использовать образец спецбелья, который был опробован космонавтом С.А. Волковым во время полета на Международной космической станции. Исследование свойств хлопчатобумажного белья, используемого при подготовке космонавтов, а также образца спецбелья проводилось во время комплексной тренировки по методике, разработанной Научно-исследовательским испытательным центром авиационной медицины и военной эргономики. В научно-испытательной работе принимали участие космонавты, астронавты, специалисты Центра и представители разработчика методики испытаний.

Условия деятельности космонавта в скафандре «Сокол КВ-2» обеспечиваются за счет его вентиляции. Воздух в скафандр подается бортовой вентиляционной установкой, что позволяет удалять углекислый газ и влагу из скафандра, а также отводить тепло. Выход воздуха из скафандра осуществляется через открытый гермошлем или регулятор давления при закрытом гермошлеме [4]. Находясь внутри скафандра, внутренняя оболочка которого выполнена из прорезиненной капроновой ткани, несмотря на штатный режим обдува, космонавты отмечают усиление выделения пота, что приводит к достаточно выраженному намочению белья.

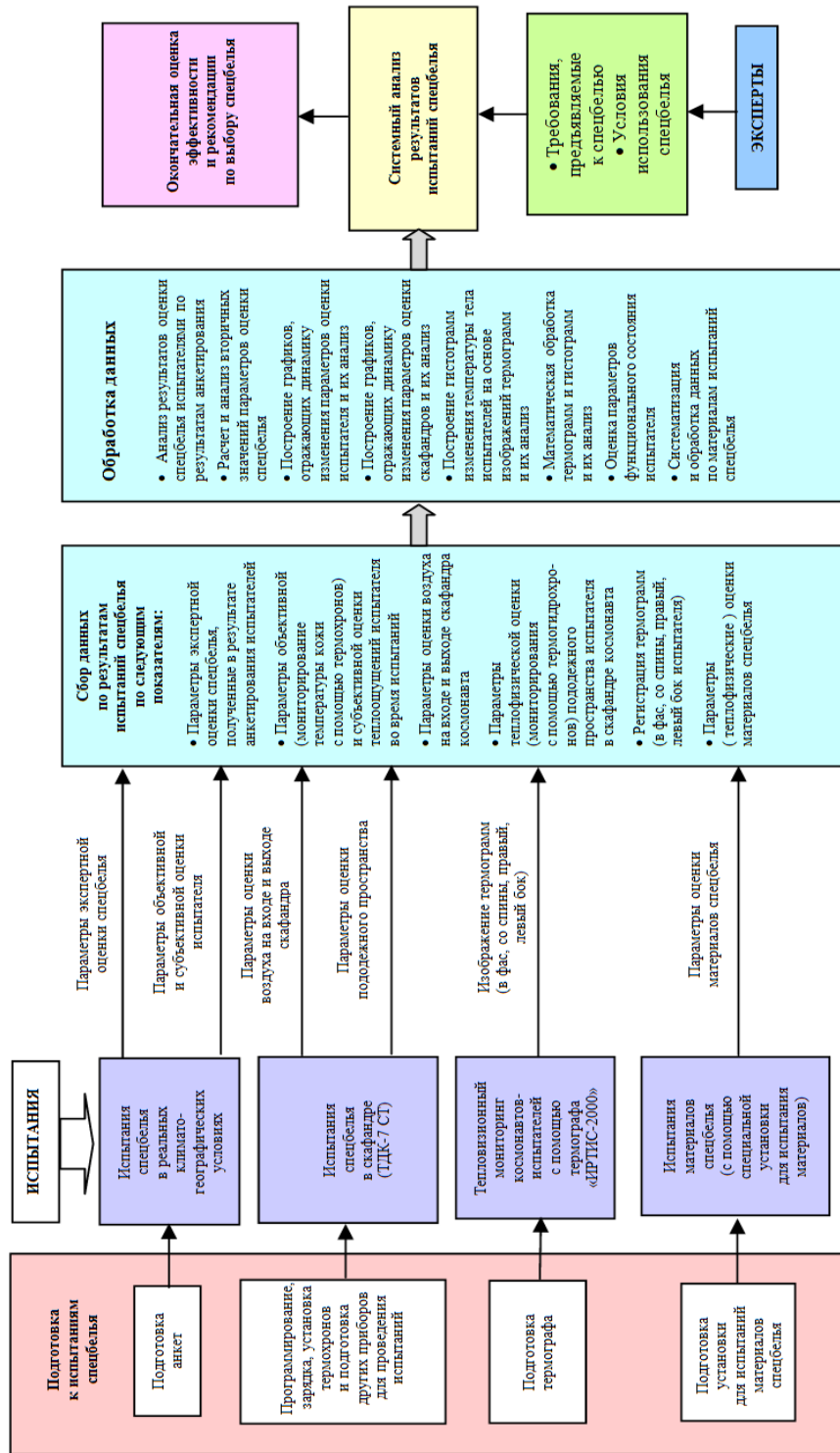


Рис. 5. Порядок проведения экспериментальных исследований спецаблея для космонавтов

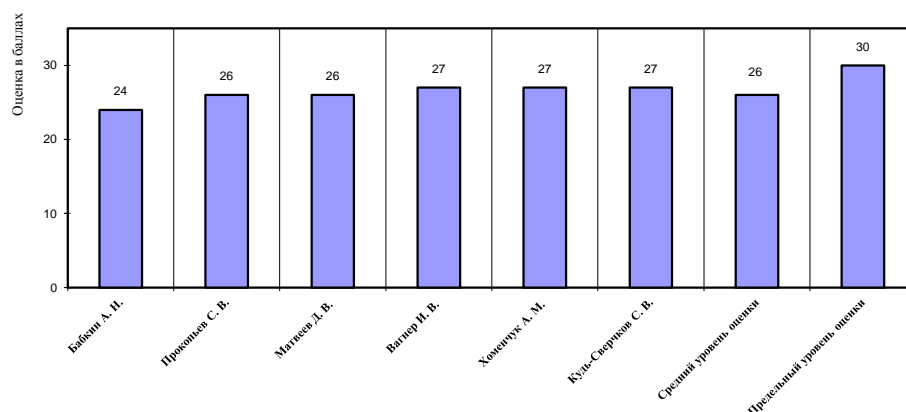


Рис. 6. Экспертная оценка спецбеля кандидатами в космонавты, полученная на основе испытаний в сложных климато-географических условиях

Серия проведенных испытаний штатного (хлопчатобумажного) и экспериментального спецбеля была нацелена на проведение их сравнительной физиолого-гигиенической оценки, на уточнение гигиенических требований к подскафандровому спецбелю, а также на разработку предложений по их использованию в процессе проведения тренировок и непосредственно в космических полетах. Тестирование предполагало оценку следующих основных свойств объекта испытаний: полноты отвода тепла и влаги, степень комфортности облегания, наличие или отсутствие дискомфорта в процессе деятельности, органолептических свойств и устойчивости запаха, эстетичности и удобства пользования.

Действительно, основная функция подскафандрового спецбеля для космонавтов – поддержание комфорта и сохранение их работоспособности при нахождении в скафандре. Кроме того, спецбелю должно хорошо впитывать пот и легко выводить влагу, а с точки зрения влияния на механизмы терморегулирования является одним из важных элементов теплоизоляции от кондуктивного отвода тепла при использовании встроенной системы вентиляции подскафандрового пространства. Теплоизоляционные свойства спецбеля должны соответствовать физической активности и психологическим нагрузкам космонавтов, а также штатным (рекомендуемым) режимам вентиляции.

Методика и циклограмма подготовки и проведения эксперимента включали в себя: программирование режимов регистрации термохронов и гигрохронов, размещение датчиков контроля гигиенических параметров пододежного пространства в скафандре, подготовку испытуемого к обследованию, одевание и подгонку скафандра, взвешивание одетого испытуемого, подключение переносной системы вентиляции скафандра, проведение фоновое обследование в скафандре при включенной вентиляции скафандра с регистрацией показателей (теплового и психофизиологического состояния испытуемого), заполнение анкет, размещение в тренажере. Непосредственное проведение эксперимента осуществлялось по заданной циклограмме.

В ходе испытаний при оценке теплового состояния испытуемого проводилось мониторинг с помощью термохронов (контактных регистраторов температу-

ры, представляющих собой защищенный одноканальный электронный самописец) с автоматической записью измерений каждую минуту следующих показателей:

- локальная температура кожи (в 11 точках по Рамзаеву);
- температура тела (в желудочно-кишечном тракте испытуемого);
- локальные теплоощущения (в 11 точках) (дискретно каждые 15 минут);
- мониторинг с помощью гидрохронов теплофизических параметров пододежного пространства (температура и относительная влажность воздуха) в пододежном пространстве (в 11 точках), а также на входе и выходе скафандра);
- регистрация расхода вентиляционного воздуха;
- функциональное состояние испытуемого (частота сердечных сокращений, артериальное давление);
- психофизиологическое состояние испытуемого (самочувствие, активность, настроение);
- общие влагопотери по результатам взвешивания испытуемого до и после эксперимента;
- количество неиспарившегося пота путем определения изменения массы скафандра и массы белья (до и после эксперимента).

После завершения эксперимента проводилось комплексное обследование испытуемого, спецбелья и скафандра, обработка и анализ полученных результатов. При проведении эксперимента были получены данные для оценки динамики изменения (рис. 7, 8) следующих параметров:

- температуры тела (в желудочно-кишечном тракте) испытуемого;
- средневзвешенной температуры кожи испытуемого;
- средней температуры тела испытуемого;
- температуры пододежного пространства и вентиляционного воздуха на входе и выходе из скафандра;
- относительной влажности воздуха пододежного пространства и вентиляционного воздуха на входе и выходе из скафандра.

При сравнительной оценке вариантов спецбелья выбранные режимы деятельности испытуемого обеспечивали относительно комфортные условия, при которых показатели средней температуры тела ($T_{стт}$), средневзвешенной температуры кожи ($T_{свтк}$), теплоощущения во время испытаний находились на уровне, близком к оптимальным значениям. Это в полной мере соответствовало существующим требованиям о необходимости поддержания теплового состояния обследуемого в допустимом диапазоне изменений [10]. При экстремальных режимах тестирования средств защиты допускается выход показателей не только за границы зоны комфорта, но также за границы предельно допустимого и предельно переносимого дискомфорта теплового состояния [13].

При проведении сравнительных физиолого-гигиенических исследований различных вариантов спецбелья или других теплозащитных средств в качестве критерия оценки используются показатели степени отклонения теплового состояния от исходного уровня у одного и того же испытуемого, использующего поочередно сравниваемые образцы.

Расчетные значения $T_{стт}$ и $T_{свтк}$ определяются по следующим формулам [14]:

$$T_{стт} = \alpha \cdot T_p + (1 - \alpha) \cdot T_{свтк}, \quad (1)$$

где α – коэффициент, определяемый согласно табл. 1, $T_{свтк}$ – средневзвешенная температура кожи, которая достаточно тесно коррелируется с общими теплоощуще-

ниями человека, T_p – температура «ядра» тела человека, которую измеряют в ректальной области (или внутри пищеварительного тракта при заглатывании датчика).

$$T_{\text{свтк}} = 0,05 T_{\text{лба}} + 0,09 T_{\text{плеча}} + 0,08 T_{\text{предплечья}} + 0,09 T_{\text{груди}} + 0,09 T_{\text{живота}} + 0,09 T_{\text{спины}} + 0,09 T_{\text{поясницы}} + 0,05 T_{\text{кисти}} + 0,18 T_{\text{бедр}} + 0,12 + 0,07 T_{\text{стопы}}, \quad (2)$$

где значения $T_{\text{лба}}$, $T_{\text{плеча}}$, $T_{\text{предплечья}}$, $T_{\text{груди}}$, $T_{\text{живота}}$, $T_{\text{спины}}$, $T_{\text{поясницы}}$, $T_{\text{кисти}}$, $T_{\text{бедр}}$, $T_{\text{голен}}$, $T_{\text{стопы}}$, T_p измеряются термохронами в динамике с интервалом, равным одной минуте. В нашем случае вполне корректно допустить $T_p = T_{\text{жкт}}$ – внутренней температуре тела (в желудочно-кишечном тракте).

Результаты мониторинга наиболее информативных показателей теплового состояния могут быть представлены в виде графиков изменения $T_{\text{стт}}$, $T_{\text{свтк}}$, $T_{\text{жкт}}$, которые можно сравнивать с нормативными значениями и определять степень отклонения от зоны комфорта по таблице 2 [15].

Таблица 1

Значения коэффициента α в зависимости от теплоощущений человека

№ п/п	Теплоощущения человека	Значения коэффициента α
1	Жарко (сильный дискомфорт в условиях жары, перегрев)	0,9
2	Тепло (умеренный дискомфорт)	0,8
3	Комфортно	0,7
4	Прохладно (умеренный дискомфорт при охлаждении)	0,65
5	Холодно (сильный дискомфорт при холоде)	0,61

Таблица 2

Классификация тепловых состояний человека (Ажаева А.Н.)

Показатель	Степень дискомфорта при повышенных температурах			Оптимальные условия	Степень дискомфорта при пониженных температурах		
	Очень жарко	Жарко	Тепло		Прохладно	Холодно	Очень холодно
Теплоощущения				Комфорт			
Ректальная температура, °С	39,5–38,5	38,4–37,7	37,6–37,5	37,4–37,0	36,9–36,7	36,6–36,5	Менее 35,5
$T_{\text{стт}}$, °С	39,5–38,5	38,4–37,6	37,5–36,8	36,7–36,0	35,9–34,5	34,4–31,7	Менее 31,7
$T_{\text{свтк}}$, °С	40,5–38,6	38,5–36,1	36,0–34,3	34,2–32,2	32,1–30,0	29,9–27,0	Менее 27,0

Как видно на графиках (рис. 7), при оценке штатного и экспериментального образцов спецбелья одним и тем же испытуемым А в испытаниях с единой циклограммой работы и аналогичными параметрами микроклимата, примерно на 21–22 минуте выполнения циклограммы эксперимента показатели $T_{\text{свтк}}$ достигали верхней границы комфорта и входили в зону первой (допустимой) степени дискомфорта. Однако, если при использовании экспериментального спецбелья к 49–50 минуте показатели $T_{\text{свтк}}$ возвращались в зону комфорта, то при применении штатного белья легкая степень теплового дискомфорта сохранялась в течение всего обследования. Это подтверждается и субъективной оценкой испытуемым своего теплового состояния, которая в исследованиях с экспериментальным спецбельем оказалась предпочтительней.

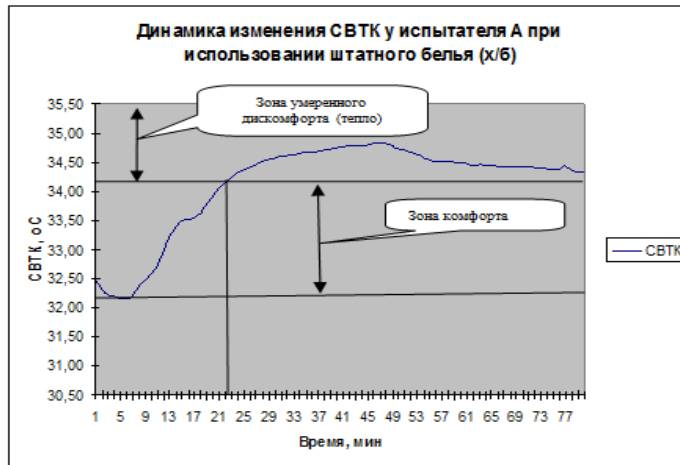


Рис. 7. График изменения средневзвешенной температуры кожи испы­тателя при использовании штатного и экспериментального спецбелья

Выявленные различия показателей теплового состояния испы­тателя обусловлены более комфортными параметрами микроклимата в пододежном пространстве скафандра. Результаты мониторинга температуры и относительной влажности воздуха в пододежном пространстве, а также температуры вентиляционного воздуха на входе и выходе из скафандра представлены на графиках (рис. 8).

Сравнительная оценка полученных данных свидетельствует о том, что при применении штатного белья температура воздуха на протяжении всего обследования неуклонно повышалась, а показатели относительной влажности снижались, но в умеренной степени. В исследованиях с использованием экспериментального белья темп прироста температуры воздуха пододежного пространства в первой половине циклограммы был ниже, а в переходный период имело место некоторое снижение с последующим более плавным повышением. В конце воздействия разница средневзвешенной температуры пододежного пространства (СВТ ПО), приведенная на

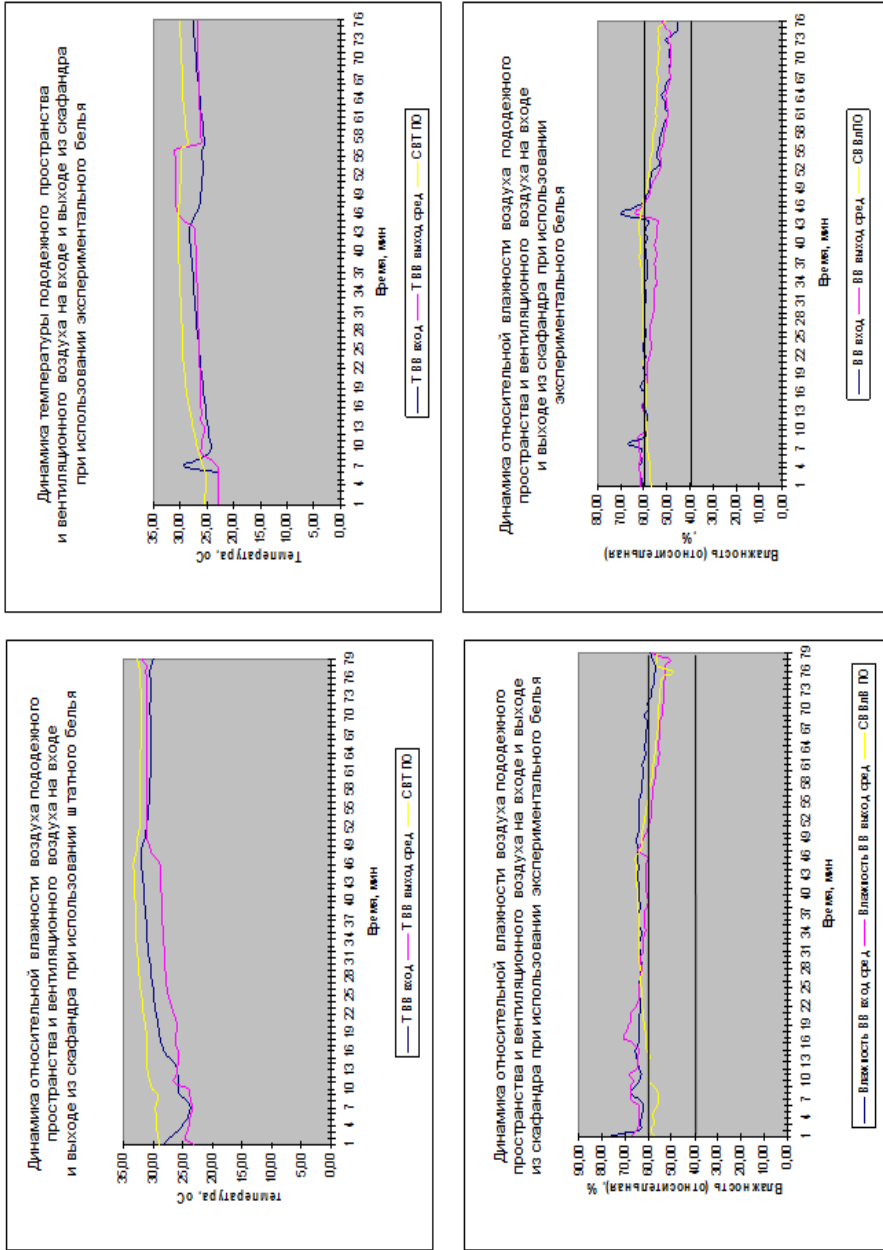


Рис. 8. Графики изменения температуры и относительной влажности поддежного пространства и вентиляционного воздуха

рис. 8, для экспериментального и штатного белья достигла 3 градусов (30°C против 33°C). Заметны различия и в параметрах температуры вентиляционного воздуха на выходе из скафандра (Т ВВ выход на рис. 8), так при использовании штатного хлопчатобумажного белья она составила 29 градусов, а при применении экспериментального спецбелья ее величина оказалась меньше на 1,5–2 градуса, что косвенно свидетельствует о более эффективном испарении пота в пододежном пространстве при конвективном обдуве, которое обеспечивало более низкие значения СВТ ПО.

Более выраженным при использовании экспериментального белья было снижение относительной влажности воздуха в пододежном пространстве, которое к концу обследования достигло 3–5 %. Именно такая относительная влажность поддерживается на пилотируемых космических аппаратах [17].

Более низкая температура и меньшая влажность в пододежном пространстве свидетельствуют о более эффективном отводе тепла при использовании спецбелья и уменьшении степени дискомфорта для деятельности космонавта, находящегося в скафандре. Меньшие значения и динамика роста температуры и влажности могут рассматриваться как показатели более высокой эффективности спецбелья в сохранении теплового комфорта работающего испытателя (космонавта).

Полученные данные подтверждают преимущество разработанной методики мониторинга физиологических и теплофизических показателей при проведении сравнительной оценки различных вариантов белья или образцов защитного снаряжения, выполняемых в натуральных условиях.

Большими потенциальными возможностями обладает и методика мониторинга температуры в желудочно-кишечном тракте, которая более точно коррелирует с ректальной температурой, измерение которой в натуральных условиях мало приемлемо, а использование данных измерения в подязычной, в подмышечной, в заушной области или тимпанальной температуры (температуры барабанной перепонки) сопровождается большой степенью погрешности при проведении перерасчетов по различным формулам [25]. От точности измерения температуры «ядра» в значительной степени зависит не только информативность многих расчетных показателей теплового состояния человека, космонавта, испытателя, вынужденных работать в экстремальных условиях, но и их безопасность в процессе специальной подготовки.

Температура внутри тела более точно отражает степень теплового комфорта и дискомфорта человека, а своевременное выявление перехода от дискомфорта 1-й степени (допустимой) к 2-й степени (предельно допустимой) и тем более к 3-й (предельно переносимой) (см. табл. 2) является важным условием безопасности проводимых испытаний.

В вышеприведенных примерах сравнительной оценки различных вариантов белья динамика температуры в желудочно-кишечном тракте у испытателя во время испытаний на тренажере ТДК-7СТ еще и при включенной вентиляции скафандра оставалась постоянной (на уровне 37°C) в течение всего обследования.

В то же время при усложненных условиях, например, при отсутствии вентиляции в условиях высоких температур, во время тренировки на выживание на водной поверхности отмечается увеличение температуры в желудочно-кишечном тракте космонавта: в хлопчатобумажном белье – с 37°C до $38,24^{\circ}\text{C}$, в спецбелье – с 37°C до $38,16^{\circ}\text{C}$ [7, 8]. Если значение этой температуры превышает 38°C , то происходит попадание в зону перегрева.

В качестве объективных показателей оценки психофизиологического состояния испытателя до и после проведения испытаний использовались данные дискретного измерения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального

давления, которые считаются информативными при оценке физиологической стоимости выполнения работы [10].

В качестве субъективных показателей общего состояния испытателей (космонавтов) использовали общепринятые бланковые методики оценки самочувствия, активности, динамика которых достаточно точно отражает изменения психологического статуса обследуемого.

Следует обратить внимание на то, что субъективное мнение испытателя относительно сравнительной физиолого-гигиенической оценки хлопчатобумажного белья и экспериментального спецбелья также имеет важное значение и проводилось с помощью специальных анкет. Опрос участников испытаний белья показал, что в начале циклограммы обследования практически все отмечали преимущество хлопчатобумажного белья, которое по ощущениям более приятное. Однако в процессе выполнения физической нагрузки это приятное чувство в дальнейшем меняется на ощущение дискомфорта. Дискомфорт возникает, когда хлопчатобумажное белье при намокании прилипает к телу. После включения вентиляции оно частично подсыхает, но при этом появляется дискомфорт избыточного охлаждения. Спецбелье же в начале испытаний не дает такого приятного ощущения, как хлопчатобумажное, однако по мере увеличения нагрузки оно лучше отводит пот и не липнет к телу. Отсутствуют локальные зоны повышенного перегрева или охлаждения, которое воспринимается как более комфортное.

В результате проведенных испытаний спецбелья и хлопчатобумажного белья установлено, что используемое в процессе подготовки космонавтов белье из хлопчатобумажной ткани имеет высокую теплопроводность, обладает хорошей гигроскопичностью, высокой воздухо- и паропроницаемостью, хорошей смачиваемостью, но в то же время это белье становится источником нарастающего дискомфорта: при намокании плохо отводит тепло и влагу, хуже поддерживает тепловой баланс, а при отсутствии условий для гигиенической обработки (удаление пота) имеет, как правило, разовое использование. В свою очередь, спецбелье, имея низкое водопоглощение, обладает более высокой влагопроводностью, хорошей воздухо- и паропроницаемостью.

По результатам испытаний были выявлены функционально значимые физиолого-гигиенические характеристики спецбелья для космонавтов, которые обеспечивают хорошее водоотведение, уменьшение времени высушивания, комфортность теплоощущений, способность поддержания теплового баланса, повышенную износостойкость и эстетичность.

Используемые модели оценки динамики сохранения теплового состояния работающего испытателя (космонавта) в целом ориентированы на популяционные показатели «среднего» человека и не всегда позволяют учитывать индивидуальные особенности конкретного человека. С целью расширения методов оценки индивидуальных терморегуляторных реакций испытателей был применен метод термографирования.

В процессе проведения тренировок на ТДК-7СТ с помощью высокоточного инфракрасного термографа «ИРТИС-2000» проводился полный тепловизионный мониторинг космонавтов (испытателей), который обеспечивает получение визуальной картины индивидуальных особенностей распределения тепловых полей (зон с различной степенью нагрева) по всему телу каждого космонавта (испытателя) в различных моделируемых условиях: в спецбелье и без него; до тренировки и по ее окончании; при оценке динамики изменений термограмм космонавтов (испытателей) под различной нагрузкой, а также определение такого параметра, как

температуропроводность материала в функционально значимых точках тела испытуемого. В процессе съемки получали четыре кадра термограмм (в фас, со спины, с правого и левого боков).

Термографирование космонавтов (испытателей) позволило получить дополнительную информацию, в том числе сведения:

- об уровне теплопроводности и способности поглощать тепло спецбельем;
- об общей картине теплового нагрева тела космонавта (испытателя);
- о существующих различиях в нагреве верхней и нижней части тела космонавтов (испытателей), туловища и конечностей;
- о количестве и расположении зон максимального и минимального нагрева и их температуру;
- о качественных и количественных изменениях температуры теплового излучения тела под нагрузкой;
- о величине амплитуды гистограммы, полученной на основе термограммы, и ее смещении на температурной шкале.

Результаты термографирования на практике могут быть использованы в индивидуальном подборе спецбелья.

При проведении сравнения и при выборе хлопчатобумажного белья, спецбелья для космонавтов важной составляющей является испытание материалов как однородных, так и зональных, из которого оно изготовлено. Это необходимо для определения количественных значений параметров материалов, от которых зависят его свойства. С этой целью использовали материаловедческие теплофизические методы оценки основных функциональных свойств применяемых материалов (влагопроницаемости, влагоемкости, воздухопроницаемости, времени намокания и высушивания и др.) нескольких образцов в искусственных условиях (*in vitro*) с использованием специальных установок для экспресс-анализа (рис. 10).

В дальнейшем был проведен сравнительный анализ результатов испытаний, а также предпринята попытка использования интегральной оценки свойств материалов, из которых изготовлены проверяемые образцы. Испытания осуществлялись с учетом выбранных приоритетов функционально важных свойств материалов. Это позволяло расположить значения параметров материаловедческих исследований на шкале интегральной оценки в порядке их значимости.

На завершающем этапе экспериментальных исследований предлагаемые методологические подходы комплексной оценки и принятия решения о выборе лучшего образца спецбелья предполагают использование следующего алгоритма.



Рис. 10. Компоненты экспериментальной установки для испытания свойств тканей

Во-первых, рассматриваются результаты сравнительных испытаний в реальных микроклиматических условиях на лабораторном этапе на тренажере ТДК-7СТ или макроклиматических условиях при проведении натурных испытаний с учетом штатного функционирования скафандра. Во-вторых, эти данные дополняются и сопоставляются с результатами тепловизионного мониторинга. В-третьих, используются данные материаловедческой оценки используемых материалов для изготовления сравниваемых образцов белья. По совокупности значений функционально важных параметров, полученных при использовании различных способов испытаний, рассчитывается величина обобщенной оценки и определяется рейтинг каждого испытуемого комплекта. Затем определяется интегральная оценка по совокупности всех испытаний и результирующий рейтинг, на основе которого выбирается лучший образец.

Выводы

В процессе выполненных многоплановых и многофакторных исследований удалось получить комплексную сравнительную физиолого-гигиеническую оценку спецбелья и штатного хлопчатобумажного белья, определить эффективность спецбелья, разработать предложения по конструктивной доработке и обосновать рекомендации по его применению в ходе разнообразных тренировок космонавтов.

В результате испытаний установлено, что спецбелье из синтетических материалов обладает рядом положительных гигиенических свойств (высокой воздухо- и паропроницаемостью, эффективным отведением влаги с поверхности тела, низкой водоемкостью, большой гибкостью и мягкостью, высокими теплозащитными свойствами). Кроме того, оно обладает эксплуатационными преимуществами: высокой степенью износостойкости, улучшенными органолептическими свойствами – отсутствием неприятного запаха при высыхании, эстетичный внешний вид.

Выявленные функционально важные физиолого-гигиенические и эргономические свойства спецбелья (влагоотведение, поддержание термобаланса, комфортность) подтверждены результатами, полученными в реальном космическом полете. Сформулированы рекомендации по доработке его конструкции, выбору моделей с целью использования спецбелья в космических полетах, а также в процессе проведения тренировок при подготовке к космическим полетам.

Исследования позволили обосновать наиболее значимые физиолого-гигиенические и эргономические требования к спецбелью для космонавтов, учитывающие специфику их применения, к которым относятся: высокая гигроскопичность, водопоглощение, влагопроводность, хорошая воздухо- и паропроницаемость, теплопроводность, минимальная электризуемость, бактерицидность. Спецбелье для космонавтов должно отвечать специальным конструктивно-технологическим требованиям, обладать высокими эстетическими характеристиками (в том числе внешний вид). Кроме того, оно должно иметь высокие эксплуатационные характеристики: высокую прочность и износостойчивость, повышенную мягкость, легкость, гибкость, эластичность, формоустойчивость, несминаемость, иметь низкую пылеемкость и способность быть источником пыли в виде мелких волокон, обладать удобством одевания и ношения, быть устойчивым к воздействию моющих средств и многократным стиркам (в случае использования спецбелья в процессе наземной подготовки).

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что спецбелье из синтетических материалов в целом показало себя более эффективным по сравнению с хлопчатобумажным бельем, используемым в настоящее время в про-

цессе подготовки космонавтов. Исключение составляют экстремальные условия проведения тренировок по действиям в случае вынужденного приводнения и длительного пребывания в воде, где преимущества спецбеля, при отсутствии вентиляции, нивелируются, а вклад в теплозащитные свойства снаряжения минимальны.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Устинов Н.С., Федотова И.В. Экспертный метод оценки значимости показателей функциональности теплокомбинезона водолаза. – МГУТУ им. К.Г. Разумовского.
- [2] Абрамов А.В., Родичева М.В., Борисова И.В. Экспериментальная оценка теплозащитных показателей типовых образцов специальной одежды. Технические науки / 13. Охрана труда, Госуниверситет – Учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел.
- [3] Соловьева И. Наука наступает на холод. С чего начинается спецодежда // Защита и безопасность. – № 4. – 2005.
- [4] Комплекс средств обеспечения жизнедеятельности транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА»: Учеб. пособие / Под общ. ред. Спирина В.Н., Бондаренко В.Ф., Значко Н.А. – Звездный городок, 2010.
- [5] Богомолов В.В., Почуев В.И. Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-33/34 (экспресс-анализ) // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(8). – 2013. – С. 16.
- [6] Физиология человека / Под общ. ред. В.И. Тхоревского. – М.: «Физкультура, образование и наука», 2001.
- [7] Оценка и выбор нательного белья для космонавтов / Супотницкий А.Н., Гордиенко О.С., Кальмин А.В., Пенкин А.Г. // Десятая Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2013 г.
- [8] Исследование спецодежды для использования в процессе подготовки космонавтов и в ходе космического полета / О.С. Гордиенко, А. В. Кальмин, А.Н. Супотницкий // Шестой белорусский космический конгресс, 28–30 октября 2014 года: Материалы конгресса. – Т. 2. – ОИПИ НАН Беларуси, Минск, 2014. – С. 122–124.
- [9] Большая энциклопедия психологических тестов. – М.: ЭКСМО, 2006.
- [10] <http://snipov.net>.
- [11] <http://medvuz.com>. Тепловой баланс и регуляция температуры тела.
- [12] <http://tinref.ru>. Тепловое состояние человека, его показатели и критерии оценки.
- [13] <http://bio.septemer.ru>. Терморегуляция и тепловой баланс.
- [14] [http://standartgost.ru/g/ГОСТ 12.4.064-84](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_12.4.064-84).
- [15] <http://www.litmir.me/br/?b=111623&p=62>.
- [16] [http://Одежда для космонавтов. Творческий путь.mht](http://Одежда_для_космонавтов.Творческий_путь.mht).
- [17] <http://www.studyport.ru>. Поддержание влажности.
- [18] [http://Показатели качества специальной одежды.mht](http://Показатели_качества_специальной_одежды.mht).
- [19] [http://Комическая одежда, что носить в полете.hht](http://Комическая_одежда,_что_носить_в_полете.hht).
- [20] [http://Общие механизмы терморегуляции. Патологическая физиология.mht](http://Общие_механизмы_терморегуляции.Патологическая_физиология.mht).
- [23] [http://Тепловидение @.mht](http://Тепловидение_.mht).
- [24] http://dom4home.ru/index.php?route=news/article&news_id=30
- [25] Дворников М.В., Логунов А.Д., Попов Н.Ф., Русалиев К.Я. Воздействие опасных и вредных экологических факторов на систему терморегуляции // Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов. Метрологические аспекты. Под ред. Исаева Л.К. – Т. 2. – Кн. 1. – М.: ПАИМС, 1997. – С. 97–139.

УДК 629.78.007

АНАЛИЗ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИКЛА НАЗЕМНОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ЭКОНОМИКО-ВРЕМЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

А.В. Марков, С.Б. Пичугин

А.В. Марков; канд. техн. наук С.Б. Пичугин (ОАО РКК «Энергия»)

Детально рассматриваются механизмы, положенные в основу методики, оптимизирующей временные и финансовые затраты в ходе подготовки к проведению космического эксперимента [1]. По результатам рассмотрения анализируются варианты применения и границы применимости указанной методики.

Ключевые слова: космический эксперимент, финансовые потери, срыв сроков, исполнение с запаздыванием.

Analysis of the Applicability Limits of the Statistical Optimization Technique of the Space Experiment Ground-Based Preparation by Economic and Time Indicators. A.V. Markov, S.B. Pichugin

The paper considers in detail the mechanisms underlying the procedure of optimizing time and financial expenditures in the course of training for performing a space experiment [1]. Upon the results of consideration the options and limits of applicability of the said technique were analyzed.

Keywords: space experiment, financial losses, failure to meet time-frame, execution with delay.

Введение

В [1] предложена методика, позволяющая на базе статистического подхода оптимизировать финансовые и временные потери, возникающие в процессе согласования в РКК «Энергия» проектов, связанных с проведением космических экспериментов. В сжатом виде суть данной методики заключается в том, что временные и финансовые потери статистической выборки приводятся вначале к единой шкале, затем к результирующей (суммарной) функции, после чего определяется экстремум полученной результирующей функции. В результате определяют, при каких временных или финансовых затратах теряется смысл продолжать подготовку эксперимента. Как и всякая методика, предложенная в [1], имеет границы применимости. Целью данной публикации является определить границы применимости на основе детального анализа механизмов, положенных в ее основу. К указанным механизмам отнесены механизм статистического подхода и механизм оптимизации методики [1].

Механизм статистического подхода

В качестве основы для применения статистических методов исследования, в [1] рассматривалась выборка космических экспериментов с характеристиками запаздывания их исполнения по времени и сопутствующих финансовых издержек в денежных единицах.

Для данной выборки, в соответствии с методикой, определялись значения процентиля, квартиля или медианы. Для определения границ применимости методики расчета процентиля, квартиля или медианы, приведем более детальное рассмотрение процесса того, как определяются данные значения.

В соответствии с определением [2, 3] статистическая медиана представляет собой значение показателя-признака, которое разделяет ранжированный ряд распределения (выборку) на две равные части – со значением признака меньше медианы и со значениями признака больше медианы.

Если подсчитать число элементов выборки, расположенных слева и справа от линии медианы, то можно убедиться, что они равны количественно (рис. 1).

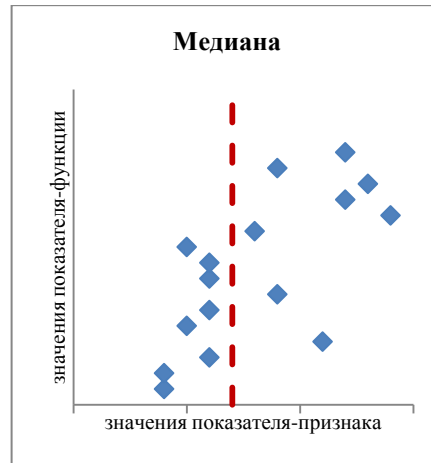


Рис. 1. Медиана

Квартиль 1 задает [2, 3] порог показателя-признака, который разделяет выборку на две неравные части: 25 % со значением признака меньше порога и 75 % со значением признака больше порога. Квартиль III, соответственно, задает порог показателя-признака, который разделяет выборку на 75 % со значением признака меньше порога и 25 % со значением признака больше порога. Квартиль II является медианой (рис. 2).

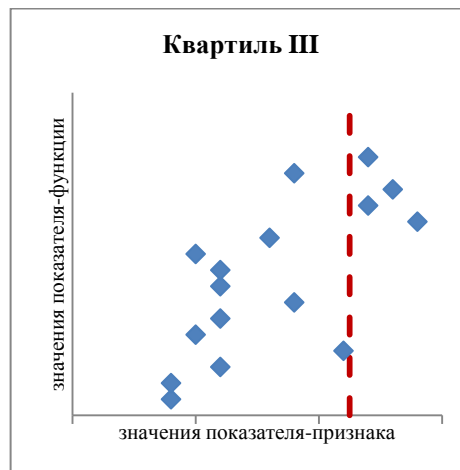


Рис. 2. Квартиль с индексом III

Если подсчитать число элементов выборки на рис. 2, расположенных слева и справа от линии квартиля III, то можно убедиться, что число элементов справа от порога соотносится с числом элементов слева от него, как 1:3.

Процентиль задает [2, 3] порог показателя-признака с точностью в процентах. Так, процентиль 50 % является медианой, процентиль 75 % является квартилем III, а процентиль 90 % задает порог показателя-признака, который разделяет выборку на две неравные части: 10 % со значением признака больше порога и 90 % со значением признака меньше порога. Индекс percentиля k (в приводимых значениях, соответственно 50 %, 75 % и 90 %) может указываться в процентах, в десятичных и сотых долях (рис. 3).

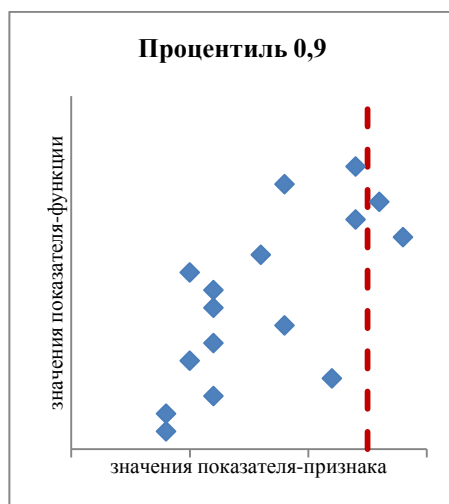


Рис. 3. Процентиль с индексом 0,9

Процентиль, как и квартиль, разделяет выборку на две неравные части, при этом соотношение указанных частей соответствует индексу percentиля. Из рис. 3 видно, что число элементов справа от порога соотносится с числом элементов слева от него, как 1:7, что примерно соответствует 1:9, если принять во внимание конечность выборки, приведенной в данном примере, состоящей из 16 элементов.

Алгоритм расчета percentилей, квартилей и медианы включает следующие шаги [4, 5]:

1. Ранжирование выборки по величине значимого параметра.
2. Разбиение ряда значений значимого параметра выборки (в нашем случае таким параметром является время) на оптимальные интервалы с получением интервального ряда.
3. Вычисление искомым значений.

Ранжирование выборки по величине значимого параметра (от меньшего к большему) производят с помощью простейших и доступных программных средств, например, функция ранжирования в MS Excel [6].

Разбиение непрерывного ряда значений значимого параметра (времени) на интервалы является более сложной задачей, связанной с оптимизацией размера временного интервала [2, 3].

Оптимальной будет такая величина интервала [2], которая позволяет с заданной точностью дать оценку функции распределения вероятности случайной величины, в нашем случае задержки исполнения проекта. Величина интервала, на который разбивается диапазон значений случайной величины, является величиной, обратно пропорциональной числу групп в выборке [2].

Для определения оптимального числа групп или величин интервалов применяются формула Стерджесса, формула Скотта или формула Фридмана-Диакониса [2, 3].

Если объем выборки не превышает 200 элементов, то оценка оптимального количества групп с равными интервалами может производиться по формуле Стерджесса, являющейся простейшей и, соответственно, наименее точной из трех, упомянутых выше:

$$n = 1 + 3,322 \lg(N),$$

где n – количество интервалов; N – число элементов в выборке.

Результат, получаемый по формуле Стерджесса, округляется до целого числа в большую сторону и имеет всего лишь оценочный характер. Считается [2], что эта формула позволяет строить удовлетворительные гистограммы при объеме выборки менее 200 элементов.

В качестве альтернативы (при объемах выборок более 200) применяют формулу Скотта, представленную следующим уравнением:

$$h = 3.5sn^{-1/3},$$

где h – длина интервала; s – стандартное отклонение значений ряда измерений.

В качестве еще одной альтернативы, также при объеме выборки более 200, применяют формулу Фридмана-Диакониса, представленную следующим уравнением:

$$h = 2(IQ)n^{-1/3},$$

где h – длина интервала; (IQ) – разница между верхним III и нижним I квартилем.

Формулы Скотта и Фридмана-Диакониса, в отличие от формулы Стерджесса [4, 5], учитывают разброс значений случайной величины (среднее квадратическое отклонение, либо размах между нижним и верхним квартилем), что повышает точность вычислений. Повышение точности, отметим еще раз, становится особенно заметным для выборок объемом более 200 единиц [4].

Для расчета первого квартиля интервального вариационного ряда [4] используют следующую формулу:

$$Q_1 = x_{Q_1} + i \cdot \frac{\frac{1}{4} \sum f - S_{Q_1-1}}{f_{Q_1}}$$

где Q_1 – величина первого квартиля;

x_{Q_1} – нижняя граница интервала, содержащего первый квартиль (интервал определяется по накопленной частоте первой, превышающей 25 %);

i – величина интервала;

$\sum f$ – сумма частот всей выборки; наверное, всегда равна 100 %;

S_{Q_1-1} – накопленная частота интервала, предшествующего интервалу, содержащему нижний квартиль;

f_{Q_1} – частота интервала, содержащего нижний квартиль.

Формула для третьего квартиля [6, 7] отличается тем, что во всех местах вместо Q_1 нужно использовать Q_3 , а вместо $\frac{1}{4}$ подставить $\frac{3}{4}$:

$$Q_3 = x_{Q_3} + i \cdot \frac{\frac{3}{4} \sum f - S_{Q_3-1}}{f_{Q_3}}$$

Для расчета медианы интервального вариационного ряда используют [5] следующую формулу:

$$Me = x_0 + i \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot \sum f_i - S_{Me-1}}{f_{Me}},$$

где x_0 – нижняя граница медианного интервала (медианным называется первый интервал, накопленная частота которого превышает половину общей суммы частот);

i – величина медианного интервала;

S_{Me-1} – накопленная частота интервала, предшествующего медианному;

f_{Me} – частота медианного интервала.

Вычисление значений медианы, квартиля и процентиля, как и оптимальных значений интервалов значимого параметра, в настоящее время производится с помощью разнообразных программных средств, в том числе такого распространенного, как MS Excel [6]. Для вычисления указанных значений, в MS Excel применяются следующие функции [6]:

Для вычисления медианы – функция МЕДИАНА (Число 1; ...; Число N), где Число 1; ...; Число N – массив чисел или ссылок на числовые значения, для которых определяется медиана;

N – порядковый номер числа в интервале от 1 до 255.

Для вычисления квартиля применяется функция КВАРТИЛЬ (массив; часть), где массив – диапазон ячеек с числовыми значениями, для которых определяется значение квартиля;

часть – соответствует индексу квартиля от 0 до 4.

Для вычисления процентиля – функция ПЕРСЕНТИЛЬ (массив; K), где массив – диапазон до 8191 ячеек с числовыми значениями, для которых определяется значение перцентиля;

K – соответствует индексу процентиля, в интервале от 0 до 1 включительно.

Отметим, что при проведении вычислений в MS Excel, ранжирование выборки (шаг 1 алгоритма) и вычисление оптимального значения интервала разбиения диапазона значений параметра выборки (шаг 2 алгоритма), встроены в функции МЕДИАНА, КВАРТИЛЬ и ПЕРСЕНТИЛЬ. Таким образом, шаг 2 алгоритма при вычислениях функций в MS Excel выполняется не на основе формул, определяющих оптимальное число интервалов, а на основе заложенных в MS Excel. Это приводит в конечном счете к тому, что при объеме выборки в 200 отсчетов и более точность вычислений процентиля, квартиля, медианы с помощью MS Excel оказывается ниже, чем при вычислениях с использованием формул Скотта,

Фридмана-Диакониса. Таким образом, при применении вычислительных средств типа MS Excel рекомендуется не превышать объем выборки свыше 200 элементов. Это задает верхний предел объема статистической выборки.

Нижний предел объема статистической выборки связан с необходимостью обеспечить заданную точность статистических вычислений, которая по результатам, приведенным в [2, 3], существенно снижается, если число элементов выборки оказывается меньше 30.

Таким образом, на основании заданных верхнего и нижнего пределов, рекомендуемый объем выборки лежит в пределах коридора от 30 до 200 элементов.

В тех случаях, когда объем n выборки известен, можно указать, с какой надежностью $(1 - \alpha)$ и какую точность Δ_n^α она обеспечивает для проведения вычислений. Для этого используют следующие соотношения:

$$\Delta_n^\alpha = t_k^\alpha \cdot S_n,$$

где t_k^α – значение, полученное по таблице распределения Стьюдента, где входными данными являются два параметра. Первый параметр задает уровень значимости вычислений. Вторым параметром является число $k = n - 1$, где n – количество элементов в выборке.

S_n – средняя возможная ошибка, вычисляемая по следующей формуле:

$$S_n = \sqrt{\frac{\frac{n'}{n} \cdot \left(1 - \frac{n'}{n}\right)}{(n - 1)}}$$

где n' – число КЭ в выборке, выполненных без срыва срока исполнения.

Решая обратную задачу по известным предельной ошибке выборки, числу КЭ, выполненных в срок, и желаемому уровню значимости вычислений, определяют n как нижний предел коридора. Объем выборки при этом может быть уточнен, в том числе в сторону его снижения.

В [1], в частности, рассматривалась выборка из $n = 16$ элементов, и $n' = 2$. Было установлено, что на уровне значимости 5 % число КЭ, составляющих выборку, позволяет получить точность расчетов порядка 11 %.

Механизм оптимизации

Оптимизация в [1] осуществлялась в соответствии со следующим соотношением:

$$f(x) = \min; \text{ при ограничениях } x \in U,$$

где $f(x)$ – целевая функция, $f(x) = f(x_1, x_2)$;

x_1, x_2 – управляемые переменные (индекс задержек и индекс издержек соответственно);

U – допустимое множество, заданное ограничениями на управляемые переменные.

Ограничением для обоих индексов являлось то, что они могли изменяться в пределах от 0 до 1.

В рамках методики производилось вычисление индекса задержки как отношение процентильных значений переноса сроков исполнения к их размаху. Индексу задержки в соответствие ставились индекс издержек (отношение процен-

тельных значений издержек к их размаху) и доля проектов, выполняемых в срок. На базе полученных значений строились графики зависимостей доли проектов и финансовых потерь от величины индекса задержки. Сводный график указанных зависимостей приведен на рисунке 4.

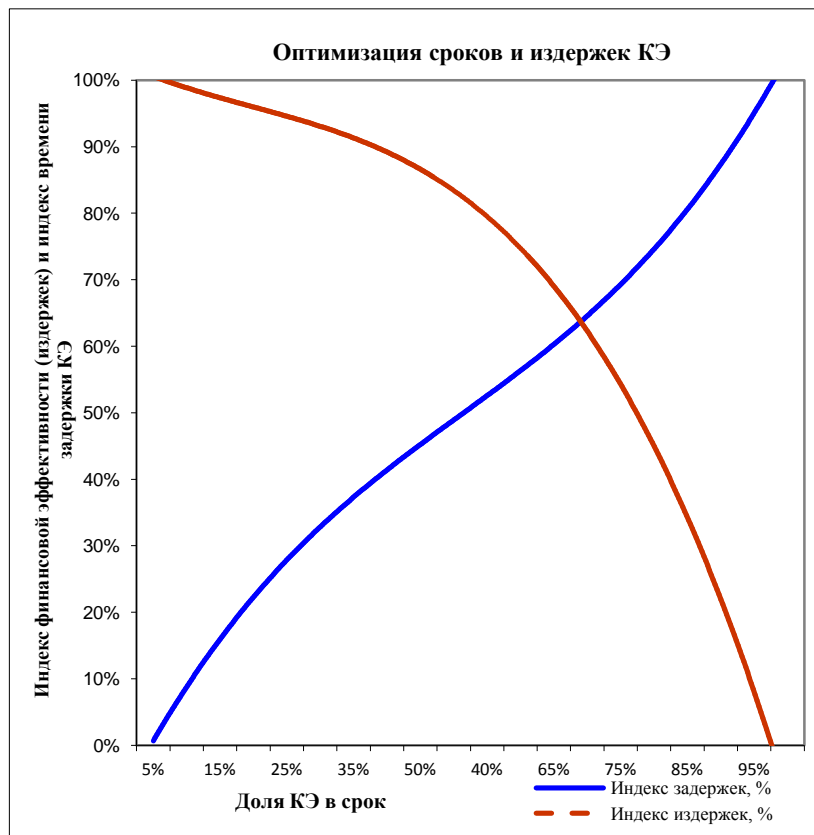


Рис. 4. График оптимизации сроков и издержек КЭ

Как видно из приведенного графика, рост индекса задержки связан, с одной стороны, с ростом доли проектов, выполняемых в срок, но с другой стороны – с возрастанием финансовых потерь и с соответствующим ростом индекса финансовых потерь. Достоинством данной методики явилось приведение к единому масштабу всех перечисленных выше переменных и позволило определить, когда финансовые потери от переноса срока КЭ делают нецелесообразным его исполнение. Соответствующая ему целевая функция двух переменных $f(x) = f(x_1, x_2)$ получалась суммированием двух составляющих: индекса финансовых потерь (ИФП %) и доли потерь исполняемых КЭ (ДП %).

$$f(x) = \text{ИФП}\% + \text{ДП}\% .$$

График целевой функции имеет вид, приведенный на рисунке 5.

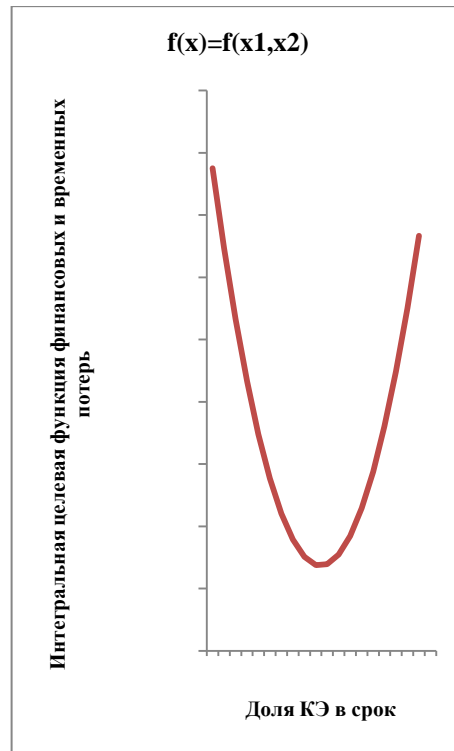


Рис. 5. График интегральной целевой функции потерь КЭ

Оптимум целевой функции определялся точкой на пересечении соответствующих кривых графика 4, а также экстремумом функции, приведенной на рис. 5.

Отметим, что функция двух переменных, приведенная на рис. 5 отражает лишь частный случай функции оптимизации, при котором весовые коэффициенты w_1 и w_2 при индексе издержек и при индексе задержек соответственно, были равны друг другу. В общем случае [2, 5] весовые коэффициенты указанных индексов не равны. В таком случае минимум функции двух переменных смещается, по вертикали и по горизонтали, как показано на рисунке 6.

Расчет значений весовых коэффициентов w_1 и w_2 и отмеченных выше смещений является весьма сложной задачей и требует разработки отдельной методики для задания коридора ее оптимальных значений.

В основу предполагаемой методики планируется положить аппарат чисел, достаточно хорошо зарекомендовавший себя при работе со случайными процессами [7, 8], характеризующимися тремя особенностями:

- число воздействующих факторов в них велико (стремится к бесконечности);
- каждый такой фактор существует по своим законам;
- на процесс в целом влияют действия людей, участвующих в нем.

На рисунке показан пример задания границ коридора оптимальных значений целевой функции.

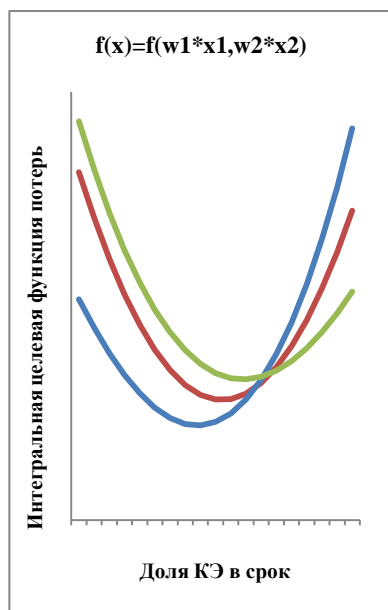


Рис. 6. График интегральной целевой функции потерь с учетом весовых коэффициентов времени и финансирования

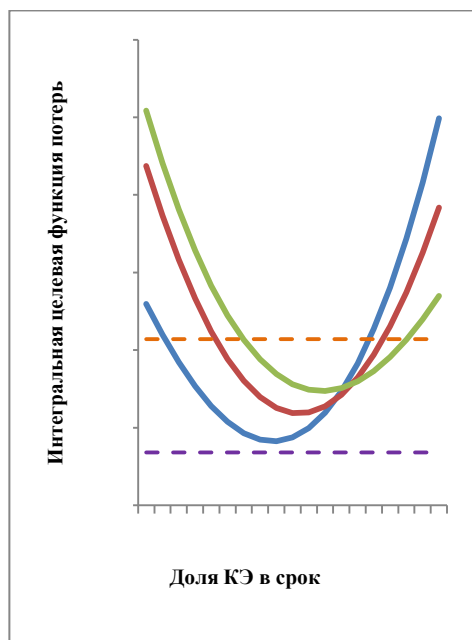


Рис. 7. Коридор оптимальных значений интегральной целевой функции потерь с учетом весовых коэффициентов времени и финансирования

Интерпретация полученных результатов

Детальное рассмотрение механизма статистического подхода позволило указать границы коридора применимости методики [1]. Границы, соответственно, составляют – нижняя 30, а верхняя – 200 отсчетов. Это означает, что наилучшие результаты с помощью методики получают тогда, когда в рассмотрение включены от 30 до 200 КЭ. Тем не менее, результаты, удовлетворяющие потребителя, получают и в тех случаях, когда число отсчетов меньше нижней границы. Потребитель в таком случае задает предельную ошибку выборки и желаемый уровень значимости вычислений. Объем выборки (заданное число КЭ) определяют, используя распределение Стьюдента. Такие выборки зачастую называют малыми, так как в них вместо закона нормального распределения применяют более пологий закон распределения Стьюдента.

Рассмотрение механизма оптимизации методики [1] позволяет заключить, что удовлетворительный результат получается в тех случаях, когда вес финансовых потерь равен весу временных потерь. То есть, фактор времени играет ту же роль, что и финансовый фактор. В том случае, когда фактор времени становится критическим, его вес следует увеличить. К сожалению, методика [1] не позволяет дать ответ, на сколько или во сколько раз этот вес должен быть увеличен.

Выводы

1. Предлагаемая в [1] методика позволяет рассчитать дополнительный временной интервал на выполнение КЭ, который сократит число срывов сроков при исполнении проектов, либо по удлинению исполнения КЭ определить, во сколько раз сократится вероятность срыва срока.

2. Применимость методики [1] при обработке выборок объемом менее 30 и более 200 единиц предполагает использование формул, уточняющих результаты, полученные с помощью средств MS Excel. При обработке выборок числом менее 30 следует уточнить допустимую предельную ошибку выборки и желаемый уровень значимости вычислений, что позволяет указать минимально возможное число единиц в выборке.

3. Предлагаемая в [1] методика дает удовлетворительный результат в тех случаях, когда вес финансовых потерь равен весу временных потерь.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Марков А.В., Пичугин С.Б. Оптимизация цикла подготовки космического эксперимента по экономико-временным показателям // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 4(13). – С. 88–94.
- [2] Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 656 с.
- [3] Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – 10-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2005. – С. 317–421.
- [4] Назарова М.Г. Общая теория статистики: учебник. – М: Омега-Л, 2010. – 410 с.
- [5] Ильшев А.М. Общая теория статистики: учебник. – М: Юнити-Дана, 2012. – 535 с.
- [6] Минько А.А. Функции Excel. – М.: Эксмо, 2007. – С. 414–487.
- [7] Якимкин В.Н. Финансовый дилинг. Технический анализ. – М: Омега-Л, 2006. – С. 115–479.

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 629.78.007:338.48

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ НЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОСМОНАВТОВ К ПОЛЕТАМ НА МКС

Б.И. Крючков, М.М. Харламов, А.А. Курицын

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; М.М. Харламов; докт. техн. наук, доцент А.А. Курицын (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена новому перспективному направлению развития пилотируемой космической отрасли, связанному с полетами в космос непрофессиональных космонавтов, – космическому туризму. Рассмотрены организационно-методические аспекты подготовки к полету на ТПК «Союз» и МКС первых непрофессиональных космонавтов.

Ключевые слова: космический туризм, непрофессиональные космонавты, участник космических полетов, подготовка космонавтов, Международная космическая станция, Центр подготовки космонавтов.

Features of Training of Non-Professional Cosmonauts for Flight Aboard the ISS. B.I. Kryuchkov, M.M. Kharlamov, A.A. Kuritsyn

The paper discusses an advanced development direction of manned spaceflight industry connected with the space flights of non-professional cosmonauts, in other words with the space tourism, and also considers the organizational and methodological aspects of training the first non-professional cosmonauts (space tourists) for flight aboard manned transport vehicle.

Keywords: space tourism, non-professional cosmonauts, spaceflight participant, cosmonaut training, International Space Station, Cosmonaut Training Center.

Первыми, по-настоящему, коммерческими космическими проектами считаются полеты в 1990 и 1991 годах первых космонавтов по негосударственным частно-финансируемым проектам телекомпании TBS Тохиро Акияма (Япония) и консорциума британских компаний «Джуно» Хелен Шарман (Великобритания), которые совершили полеты на советскую орбитальную станцию «Мир» на космических кораблях Союз ТМ-11/Союз ТМ-10 и Союз ТМ-12/Союз ТМ-11. Но это были разовые полеты, «командировки» в интересах крупных компаний [1-2].

С полета в апреле 2001 года американского миллионера Денниса Тито на космическом корабле «Союз ТМ-32» на МКС начались систематические полеты космических туристов. Впервые человек, не являясь профессиональным космонавтом (не имея статуса командира, бортинженера или специалиста на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА), получил реальную возможность осуществления полета в космос. За 12 лет пилотируемых полетов на МКС десятью непрофессиональными космонавтами-участниками космических полетов (УКП) выполнено одиннадцать полетов на российских ПКА. А всего подготовку в Центре подготовки космонавтов (ЦПК) проходили 20 человек из 9 стран (табл. 1, рис. 1, 2), в том числе туристы из Великобритании Сара Брайтман и Японии Сатоши Такамацу.

Отметим, что нельзя всех непрофессиональных космонавтов в полной мере назвать космическими туристами. В частности, М. Понтеса представляло Бразильское космическое агентство AES (до полета на РС МКС он прошел подготовку в НАСА и имел статус астронавта), малазийских кандидатов – Национальное космическое агентство Малайзии (ANGKASA) и Министерство науки, технологий и инноваций. Представители Республики Корея являются сотрудниками Корейского института аэрокосмических исследований (KARI).

Таблица 1

Подготовка непрофессиональных космонавтов и выполнение полетов на МКС			
Ф. И. О.	Страна	Область профессиональной деятельности	Количество выполненных полетов
Тито Денис	США	Бизнесмен	1
Шаттлворт Марк	ЮАР	Бизнесмен	1
Лэнс Басс	США	Музыкант	–
Гарвер Лори	США	Бизнесмен	–
Полонский Сергей	Россия	Бизнесмен	–
Олсен Грегори	США	Бизнесмен	1
Понтес Маркос	Бразилия	Летчик-испытатель	1
Костенко Сергей	Россия	Бизнесмен	–
Эномото Дайсукэ	Япония	Бизнесмен	–
Ансари Анюше	США	Бизнесмен	1
Шейх Музафар	Малайзия	Врач-ортопед	1
Фаиз бин-Халид	Малайзия	Военврач, стоматолог	–
Симони Чарльз	США	Бизнесмен	2
Йи Сойон	Республика Корея	Сотрудник научного центра	1
Ко Сан	Республика Корея	Сотрудник научного центра	–
Ник Халик	Австралия	Бизнесмен	–
Ричард Гэрриотт	США	Бизнесмен	1
Эстер Дайсон	США	Бизнесмен	–
Ги Лалиберте	Канада	Бизнесмен, артист	1
Барбара Бэрретт	США	Бизнесмен	–
Сара Брайтман	Великобритания	Шоу-бизнес	–
Сатоши Такамацу	Япония	Бизнесмен	–

Перед специалистами ЦПК имени Ю.А. Гагарина была поставлена задача отбора и подготовки непрофессиональных космонавтов, не имеющих опыта начальной космической подготовки. Медицинские и другие требования по готовности к полету заметно отличаются от требований к профессионалам, поскольку деятельность первых ограничивается, в основном, туристическими задачами и небольшой научной программой. Одним из существенных ограничений в подготовке непрофессиональных космонавтов является длительность обучения. Как правило, они не имеют возможности оставить на длительное время свой основной вид деятельности

(службу, бизнес и др.), а значит, их подготовка к полету должна проводиться в сжатые сроки. В то же время каждый из непрофессионалов (в документах партнеров по МКС они называются «участниками космических полетов») должен владеть минимумом обязательных знаний и умений, гарантирующих его безопасность и пригодность к выполнению программы космического полета.



Рис. 1. Денис Тито – первый космический турист



Рис. 2. Чарльз Симони выполнил два полета на МКС

В силу новизны и сложности проблемы возникла необходимость создания новых организационно-методических подходов, обеспечивающих необходимый уровень подготовки непрофессиональных космонавтов. Естественно, что методология их подготовки основывается на более чем 50-летнем опыте подготовки космонавтов и астронавтов в Центре подготовки космонавтов.

К основным организационным и методическим вопросам подготовки непрофессиональных космонавтов относятся: отбор участников космических полетов, планирование их подготовки, разработка исходных данных на подготовку, обоснование видов и разделов подготовки, а также новых форм ее проведения, медицинская экспертиза, медицинское обеспечение подготовки и др. Так как наиболее важными функциями непрофессионалов на борту являются обеспечение своей жизнедеятельности и умение действовать в аварийных ситуациях, то особое внимание уделяется подготовке по комплексу систем обеспечения жизнедеятельности. Физическая подготовка, медико-биологическая подготовка, подготовка к воздействию факторов космического полета, подготовка по иностранному языку проводятся в интересах выполнения программы полета в целом, сохранения здоровья непрофессионального космонавта на всех этапах подготовки к полету, его выполнения и в послеполетный период. Содержание и объем научных экспериментов и подготовка к ним определяются соответствующими контрактами.

Российское законодательство (Федеральный закон РФ «О космической деятельности» от 20.08.1993 г. № 147-ФЗ) определяет статус только профессиональных космонавтов, участвующих в выполнении национальных пилотируемых космических программ. Согласно данному закону (ст. 20. Космонавты и экипажи пилотируемых космических комплексов) в РФ для подготовки и осуществления космических полетов на основе конкурса могут отбираться граждане Российской Федерации, выразившие желание участвовать в космических полетах и отвечающие установленным профессиональным и медицинским требованиям.

Порядок подготовки профессиональных космонавтов, формирования из них экипажей пилотируемых космических аппаратов, права и обязанности космонавтов и иные условия их профессиональной деятельности определяются нормативно-правовыми актами Российской Федерации и контрактами, заключаемыми с космонавтами. Непрофессиональные космонавты могут совершить космический полет на МКС только в качестве участника космического полета.

Участниками космического полета на российском ПКА могут быть как граждане РФ, так и граждане зарубежных государств, отвечающие определенным (в первую очередь, медицинским) требованиям и заключившие соответствующий контракт с Роскосмосом или уполномоченной им организацией космической отрасли. Их подготовка и космический полет выполняются на коммерческой основе.

Непрофессиональные космонавты, назначенные на подготовку и полет в соответствии с краткосрочным контрактом, могут представлять самые различные сферы человеческой деятельности – науку, промышленность, СМИ, бизнес, социальную сферу, образование. Ими могут быть инженеры, преподаватели, ученые, журналисты, деятели культуры и др. Перед выполнением космического полета каждый УКП берет на себя определенные обязательства, зафиксированные в «Правилах полета» для данного вида ПКА.

Кандидат в УКП должен удовлетворять медицинским критериям, установленным Российской стороной и программой МКС для УКП. Среди медицинских критериев следует особо выделить антропометрические показатели кандидатов на полет, которые влияют на их пригодность к полету в космос. Для ТПК «Союз» и МКС существует ряд ограничений по параметрам человека, поскольку они имеют принципиальное значение для обеспечения безопасного полета. Перечень ограничений антропометрических параметров для полетов на кораблях «Союз» и выполнения внекорабельной деятельности в скафандре «Орлан» приводится в табл. 2

[1], [3]. Надо отметить, что до настоящего времени задачи внекорабельной деятельности для участников космического полета не рассматривались.

Таблица 2

№ п/п	Параметры	Предельные величины для кресла «Казбек»	Предельные величины для скафандра «Орлан»
1	Максимальный рост стоя, см	190	190
2	Минимальный рост стоя, см	150	165
3	Максимальный рост сидя, см	99	–
4	Минимальный рост сидя, см	80	–
5	Максимальный обхват груди, см	не ограничивается	112
6	Минимальный обхват груди, см	не ограничивается	94
7	Максимальная масса оператора, кг	95	–
8	Минимальная масса оператора, кг	50	–
9	Максимальная длина ступни, см	29,5	–
10	Максимальный поперечный размер плечевой области, см	52	–
11	Максимальное расстояние между углами подмышечных впадин, см	45	–
12	Максимальная ширина бедер в положении сидя, см	41	–
13	Кисть руки в сложенном положении должна проходить через разъем перчатки скафандра		Кольцо с внутренним диаметром 93 мм и шириной 10 мм

При этом возраст кандидатов для полетов в качестве УКП на борту МКС колеблется от 23 до 60 лет (рис. 3), что существенно отличается от наборов кандидатов в космонавты различных космических агентств.

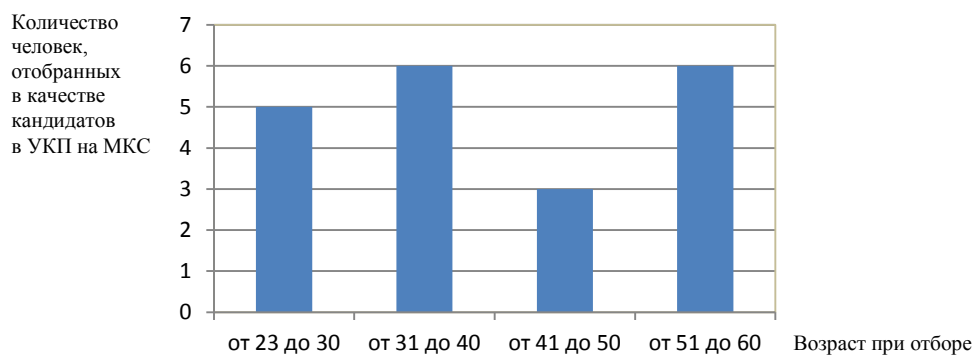


Рис. 3. Диаграмма распределения возраста кандидатов в УКП для полетов на МКС (на момент отбора)

Опыт профессиональной деятельности космонавтов/астронавтов показывает, что наиболее оптимальным является возраст отбираемых кандидатов в космонавты от 27 до 35 лет. (См., например, на рис. 4 диаграмму распределения возраста астронавтов НАСА, отобранных по программе «Аполлон»).

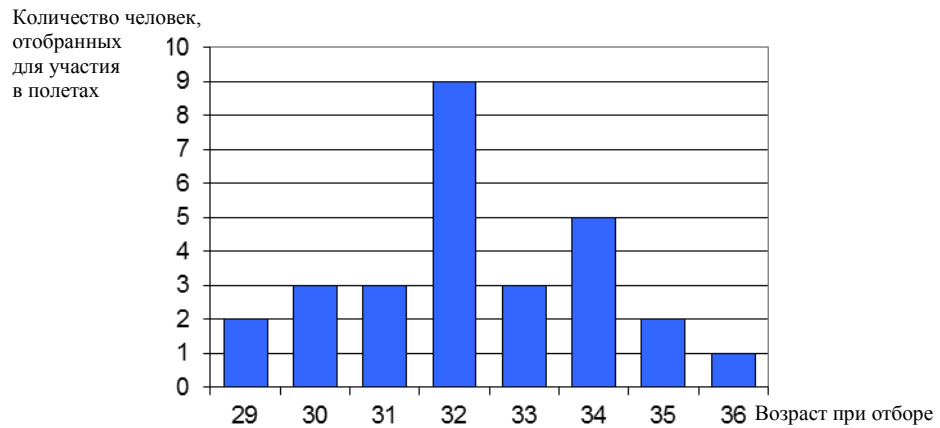


Рис. 4. Диаграмма распределения возраста профессиональных астронавтов НАСА, отобранных по программе «Аполлон»

Границы возраста астронавтов в каждом наборе по программе «Спейс Шаттл» представлены на рис. 5 (максимальный возраст – 47 лет, минимальный – 26 лет). Из рисунка видно некоторое увеличение среднего возраста отобранных кандидатов в астронавты по программе «Спейс Шаттл» по наборам.

На рис. 6 представлен возраст кандидатов в профессиональные космонавты, отобранных в России в период с 2000 по 2013 годы по программе МКС.

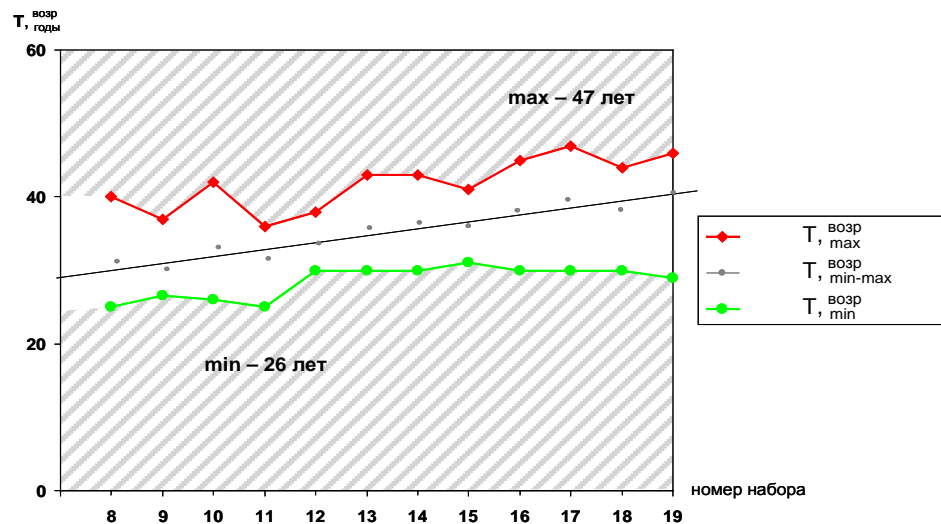


Рис. 5. Границы возраста астронавтов в каждом наборе (min-max) по программе «Спейс Шаттл»

В 2012 году в России впервые был проведен открытый конкурс в отряд Роскосмоса. На основе опыта выполнения пилотируемых программ одним из условий отбора стало требование к возрасту кандидата в космонавты – не старше 33 лет.

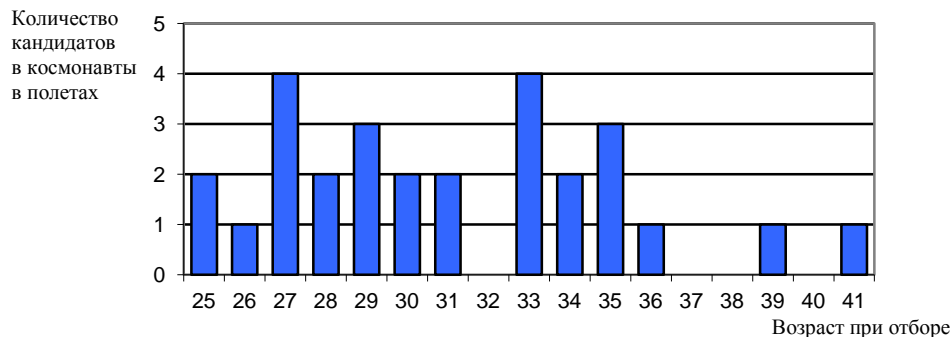


Рис. 6. Диаграмма распределения возраста кандидатов в космонавты РФ с 2000 по 2013 годы (с учетом открытого конкурса 2012 года)

К основным функциям участника космического полета на борту ТПК «Союз ТМА» и МКС относятся:

- осуществление на ТПК «Союз» и РС МКС полета в составе профессионального экипажа и выполнение действий, предусмотренных программой полета и бортовой документацией;
- ведение связи с ЦУПом;
- обеспечение своей жизнедеятельности в полете и после посадки;
- выполнение предусмотренной программы научных экспериментов, символической деятельности и других задач программы его полета;
- выполнение действий в аварийных ситуациях в соответствии с бортовой документацией и указаниями командира экипажа.

Для выполнения космического полета с участником космического полета на МКС во время пребывания в ЦПК имени Ю.А. Гагарина проводятся [1]:

1. Подготовка по теоретическим основам космонавтики (опция).
2. Теоретическая подготовка по ТПК «Союз».
3. Практическая подготовка на стендах и тренажерах ТПК «Союз».
4. Теоретическая подготовка по РС МКС.
5. Практические занятия и тренировки на тренажерах и стендах РС МКС.
6. Теоретические и практические занятия по средствам медицинского обеспечения ТПК и РС МКС.
7. Подготовка к полету с использованием:
 - самолета-лаборатории ИЛ-76МДК;
 - гидролаборатории;
 - центрифуги ЦФ-18.
8. Подготовка организма к воздействию факторов космического полета.
9. Подготовка к действиям после посадки в различных климатических и географических условиях (лесисто-болотистая местность, морские тренировки).
10. Подготовка к выполнению научных экспериментов на борту МКС (с использованием наземных тренажеров и средств подготовки).
11. Интенсивный курс подготовки по русскому языку (для иностранных УКП).

После завершения полета в ЦПК имени Ю.А. Гагарина проводятся послеполетная реабилитация и восстановление организма после космического полета.

Минимальная длительность подготовки УКП к полету на базе ЦПК имени Ю.А. Гагарина с учетом изучения русского языка иностранцем до минимально требуемого уровня составляет около 25 недель. Для поддержания профессиональных навыков и выполнения своих обязанностей по основному месту работы, участник космического полета вправе периодически прерывать свою подготовку в соответствии с совместно разработанным планом-графиком. Но в течение последних трех месяцев непосредственно перед полетом он должен находиться в ЦПК имени Ю.А. Гагарина постоянно. Кроме того, также предусматриваются обязательства по участию УКП в послеполетных мероприятиях. В частности, определяются время его пребывания в ЦПК имени Ю.А. Гагарина после полета, обязанности и ответственность на этапе послеполетной деятельности.

До последнего времени конкуренция в области представления коммерческой услуги космического полета отсутствовала. Только два космических агентства – Роскосмос и НАСА – обладали потенциалом для продажи такой услуги на рынке, при этом в США существовали серьезные ограничения на коммерческое использование орбитальных кораблей «Шаттл». Однако в настоящий момент в США активно формируется услуга суборбитального полета, продвигаемая на рынок частными компаниями (например, «Virgin Galactic») (табл. 3).

Таблица 3

Виды и качество услуг при коммерческих полетах на различных космических аппаратах		
Характеристики полета и подготовки	Союз + РС МКС	SpaceShipTwo
Медицинский отбор	«+»	«+» (по сокр. программе)
Время подготовки	не менее 25 недель	до 2–3 недель
Длительность нахождения в невесомости	8–10 суток	6 минут
Стоимость 1 минуты полета в космосе	около 2000 долл.	около 34 000 долл.
Возможность адаптации к невесомости	«+»	«–»
Свободное перемещение в невесомости	в течение всего полета	условно в районе кресла, отстегнув средства фиксации
Выход в открытый космос	«+»	«–»
Выполнение экспериментов	«+»	«–»
Ведение телемостов с Землей	«+»	«–»
Выполнение символической деятельности	«+»	«–»
Количество УКП (туристов) в одном полете	1–2 человека	до 7÷9 человек
Возможность увеличения длительности полета	до нескольких месяцев	«–»
Полноценное (детальное) знакомство с космосом	«+»	«–»
Массовость полетов в космос	«–»	«+»

Ее особенность состоит в том, что полет можно назвать космическим с некоторой степенью условности. Достигается существующая общепринятая граница космического пространства 100 км, при этом пребывание в космосе длится лишь несколько минут, при этом выполнение каких-либо работ, заданий, экспериментов практически невозможно. Более низкая стоимость услуги переводит ее в несколько иной целевой сегмент. Вместе с тем, ее наличие, безусловно, влияет на рынок, «забирая» на себя часть менее амбициозных клиентов, с меньшими финансовыми возможностями.

В заключение можно сказать, что начало XXI века открыло чрезвычайно перспективное направление развития пилотируемой космической отрасли – это космический туризм. С 2001 года по 2013 год при помощи российских космических кораблей «Союз» на российском сегменте МКС побывали десять непрофессиональных космонавтов. При этом практически все они выполняли собственные космические исследования, эксперименты и образовательные программы.

В данное время в США космический туризм считается самой динамично развивающейся частью космической отрасли. Частные корпорации вкладывают огромные деньги в разработку собственных ракет-носителей, суборбитальных и орбитальных космических кораблей, даже орбитальных гостиниц для длительного пребывания туристов на орбите. Создается и наземная туристическая инфраструктура, уже построен первый в мире космопорт «America». Планируется создание сети космопортов по всему миру, что позволит с использованием суборбитальных космолайнеров уже в ближайшие десятилетия в сотни раз увеличить количество людей, побывавших в космосе.

Неуклонный ежегодный рост объемов как спроса, так и предложения рынка космического туризма, появление новых партнеров и новых областей коммерческого сотрудничества не только свидетельствует о растущей заинтересованности все большего количества стран космическими разработками, но и, безусловно, открывает возможности перед учеными стран, не имеющих соответствующей космической базы, принимать участие в космических проектах и разработках. Это способствует объединению усилий ученых и разработчиков из разных стран, накоплению опыта международного сотрудничества в такой важной и перспективной сфере деятельности человека как освоение космоса, что, в конечном итоге, способствует прогрессивному развитию не только отрасли, но и общества в целом.

Результаты подготовки к полетам и выполнения космических полетов непрофессиональными космонавтами на МКС могут быть использованы для подготовки космических туристов по другим коммерческим программам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Подготовка непрофессиональных космонавтов к полетам на МКС / Под общей редакцией Циблиева В.В., Крючкова Б.И., Харламова М.М. – РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2008.
- [2] Крючков Б.И., Курицын А.А., Ярополов В.И. Концепции, направления и перспективы развития мировой пилотируемой космонавтики. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 2013.
- [3] Скафандр для работы в открытом космосе "Орлан-МК".
<http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/81>.

УДК 629.78.072.8

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ

К.С. Лункин, Ю.А. Виноградов, В.Н. Саев

К.С. Лункин; канд. техн. наук, старший научный сотрудник Ю.А. Виноградов; докт. техн. наук, доцент В.Н. Саев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены вопросы становления и развития вычислительных систем космических тренажеров, построенных на основе концепции их коллективного использования, в соответствии с которой было реализовано большинство космических тренажеров в период с 1972 по 2000 год. Проведен анализ состава и структуры вычислительных систем, а также опыта их создания и эксплуатации с учетом развития средств вычислительной техники.

Ключевые слова: вычислительные системы, космические тренажеры, аналого-цифровые и цифровые электронно-вычислительные машины, тренажная система, тренажный комплекс.

Experience in Designing and Operating the Computer Systems of Space Simulators. K.S. Lunkin, Yu.A. Vinogradov, V.N. Sayev

The paper considers the issues of the becoming and development of computer systems for space simulators designed on the basis of the conception of their joint usage in accordance with which most of space simulators were created from 1972 through 2000. The analysis of the configuration and structure of computer systems and of the experience in designing and operating them taking into account the progress in computer technology was made.

Keywords: computer systems, space simulators, analog-digital and digital computers, training system, training complex.

Сорок лет назад в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (далее – ЦПК) во взаимодействии с ОКТБ «Орбита» (г. Новочеркасск Ростовской области) была сформулирована концепция построения тренажного комплекса «Ермак» [1, 2], в соответствии с которой было реализовано большинство космических тренажеров для подготовки космонавтов к работе на станции «Мир». Эта концепция опиралась, прежде всего, на коллективное использование дорогостоящих в приобретении и в эксплуатации средств вычислительной техники, телевидения, а также средств имитации внешней визуальной обстановки (СИВО).

Идея коллективного использования цифровых вычислительных машин (ЦВМ) для обеспечения одновременно нескольких тренажеров специалистами 2 управления ЦПК к тому времени была уже апробирована при создании и эксплуатации аналого-цифрового комплекса (АЦК), который представлял собой гибридный вычислитель, в котором модель динамики полета пилотируемых космических аппаратов (ПКА) реализовывалась на аналоговых вычислительных машинах (АВМ), а модели бортовых систем ПКА – на ЦВМ. При этом в ЦПК ко времени начала работ по созданию АЦК уже имелся опыт использования ЦВМ при создании космических тренажеров. На рис. 1 представлены основные этапы развития вычислительных систем (ВС) космических тренажеров на основе цифровой вычислительной техники.

Так, вычислитель тренажера стыковки ТДК-2С был реализован на ЦВМ «Днепр» с производительностью 5 тыс. оп/с и АВМ МН-18.



Рис. 1. Этапы развития вычислительных систем космических тренажеров

Вычислитель тренажера ориентации по лунной вертикали КАМА, поглощенный позже АЦК-М, функционировал на ЦВМ М-220 с производительностью 20 тыс. оп/с и АВМ МН-18.

Реализовать тренажер только на ЦВМ было в то время технически невозможно, так как производительность доступных ЦВМ была порядка 25 тыс. оп/с, а только для модели динамики требовалось от 50 до 100 тыс. оп/с.

Структура и состав комплекса АЦК на протяжении трехлетнего периода создания и «опытной» эксплуатации постоянно изменялись, пока в 1974 году не приняли окончательный облик.

Ядро комплекса составляли:

- ЦВМ М-220 и две ЦВМ М-222 с производительностью 27 тыс. оп/с и объемом оперативной памяти 16 К слов каждая, внешний вид пультов управления которых представлен на рис. 2;

- четыре комплекса АЦЭМС (аналого-цифровая электронная моделирующая система), каждый из которых состоял из аналоговой полупроводниковой машины МН-18 и комплекса аналого-цифровых преобразователей УП-6.



ЦВМ М-220



ЦВМ М-222

Рис. 2. Внешний вид пультов ЦВМ аналого-цифровых комплексов АЦК и АЦК-М

Вопросами цифровой части комплекса (эксплуатацией, доработкой, сопряжением и т.п.) занимались К.С. Лункин, Б.В. Смирнов, В.А. Осипов. Аналоговую часть «прикрывали» Ю.С. Белухин, В.С. Романов, С.П. Михайлов, И.В. Скворцов. Программным обеспечением занимались Ю.М. Лютров и Е.Т. Шибанова. Генератором идей была «неразлучная тройца» в составе Л.М. Виногорова, В.С. Козлова

и бессменного лидера и руководителя этой группы и всего коллектива АЦК – Ю.А. Бакулова.

Тренировки проводила группа операторов под руководством Р.В. Кулебакиной. АЦК обеспечивал работу семи тренажеров:

- КАМА (тренажер ориентации по лунной вертикали);
- Байкал (тренажер астронавигации);
- Амур-5 (тренажер главного поста орбитальной станции «Салют»);
- Двина (тренажер астроориентации, полностью цифровой);
- 7СТ №1 (комплексный тренажер корабля «Союз»);
- тренажер возвращаемого аппарата 11Ф74 (программа «Алмаз»);
- Сириус-77 – тренажер сближения и стыковки транспортного корабля снабжения 11Ф72 со станцией «Алмаз».

Структура и состав комплекса АЦК

Изменения структуры и состава комплекса АЦК были обусловлены необходимостью решения проблем сопряжения аналоговой и цифровой частей комплекса, а также сопряжения вычислителя с объектом. Малый рынок ЦВМ и АВМ, отсутствие средств комплексирования накладывали столь жесткие ограничения на возможные структуры, что речь шла о создании работающего вычислителя из доступных технических средств (при этом вопросы логической или функциональной структуры занимали одно из последних мест).

Несмотря на указанную в документации возможность взаимного сопряжения ЦВМ М-222 и УП-6, передача информации шла со сбоями и имела крайне неустойчивый характер. И только после анализа причин, выработки путей решения и проведения доработок специалистами отдела Ю.С. Белухиным, К.С. Лункиным и Б.В. Смирновым ЦВМ и УП-6 ситуация значительно улучшилась.

Первоначально нужная конфигурация АЦК реализовывалась с помощью самодельной «кабельной коммутации» и через кроссовые шкафы (рис. 3).

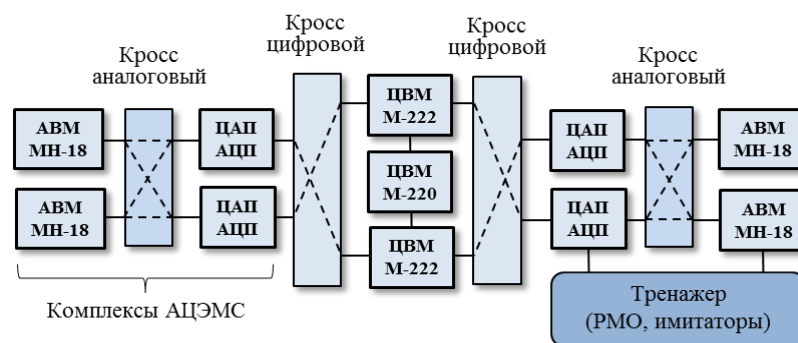


Рис. 3. Структурная схема АЦК

Следующей попыткой было использование СТИ-90 в качестве коммутатора серийно выпускаемой системы телеметрической обработки информации. Оба решения оказались неудачными и от них были вынуждены отказаться.

Дальнейшей модернизацией, после которой определился окончательный облик АЦК, стал комплекс АЦК-М, реализованный на базе разработанного специа-

листами ЦПК Ю.А. Бакуловым и К.С. Лункиным программно-аппаратного коммутатора.

Была исключена необходимость отключения-подключения разъемов, появилась возможность подключения и одновременной работы нескольких тренажеров на одной ЦВМ.

С точки зрения современных подходов к архитектуре вычислительных комплексов, АЦК-М был построен на основе сети коммутации каналов. При этом соединение, образованное каналами связи, оставалось неизменным в течение всего времени взаимодействия абонентов сети, и, по сути дела, коммутатор создавал две жесткие слабо связанные системы (рис. 4). И тем не менее несколько тренажеров могли работать с одной ЦВМ.

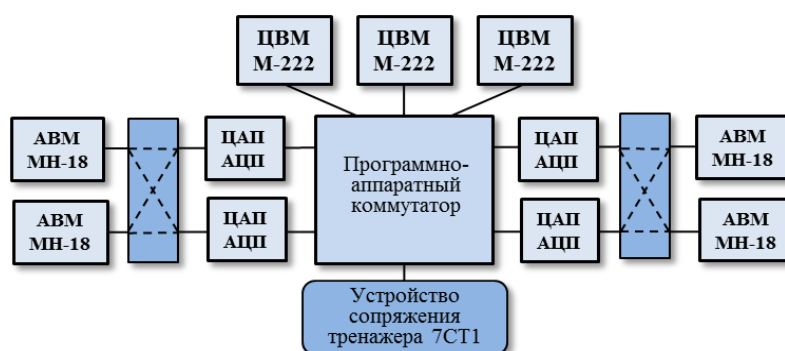


Рис. 4. Структурная схема АЦК-М

Столь подробный рассказ о комплексе АЦК-М приведен потому, что он явился полигоном, на котором обкатывались принципы коллективного использования ЦВМ в космическом тренажеростроении. На практике убедились в принципиальной возможности перехода полностью на ЦВМ, в преимуществах цифрового моделирования перед аналоговым, особенно при доработках тренажных средств. Сюда можно отнести также возможность использования идентичных фрагментов в моделях различных тренажеров, решение задач управления тренировкой, контроль функционирования аппаратных и программных средств и т.д.

Стало ясно, что с появлением на отечественном рынке ЦВМ с производительностью порядка 150 тыс. оп/с можно будет отказаться от менее точной и «капризной» (требующей постоянной регулировки) аналоговой техники.

В конце 70-х годов одним из доминирующих направлений в развитии систем обработки данных стала децентрализация. Особенностью децентрализованных систем являлось не столько рассредоточенное расположение аппаратуры непосредственно в местах возникновения или использования данных, сколько разделение всей функции обработки и управления на ряд алгоритмов (функций) и распределение этих алгоритмов между несколькими вычислителями. Применение распределенных систем обработки обеспечивало более низкую стоимость системы, высокую гибкость и адаптивность, надежность и живучесть благодаря возможности реконфигурации системы.

Вышеуказанные принципы были заложены в вычислительные системы коллективного пользования тренажеров по программе орбитальной станции «Мир» –

комплекса «Белладонна», а затем комплекса «Ермак-27» (поглотившего «Белладонну»), созданных на базе серийно выпускаемой отечественной техники.

Это было время перехода от второго к третьему поколению ЦВМ. В стране происходила поистине «великая компьютерная революция» со всеми присущими таким преобразованиям недостатками. Большие компьютерные ожидания привели в некоторых вопросах к неоправданно завышенным требованиям при создании ТЗ на вычислительную систему комплекса «Белладонна». Причем вера во всемогущество новой техники была присуща и разработчикам ТЗ – специалистам Центра, и исполнителям – коллективу ОКТБ «Орбита».

В дальнейшем при работе над ТТЗ на комплекс «Ермак-27» многие ошибки обеими сторонами были учтены, хотя теперь маятник качнулся в другую сторону, и специалистам Центра уже приходилось преодолевать слишком осторожную позицию разработчика и доказывать возможность реализации отдельных требований.

Комплексы «Белладонна» и «Ермак-27» создавались уже на сетевых принципах (совокупность кабельных систем, электронное коммутационное оборудование, специализированное программное обеспечение и т.д.), что позволило организовать:

- большое число взаимодействующих друг с другом ЭВМ, выполняющих функции сбора, хранения, передачи, обработки и выдачи информации;
- распределенную обработку информации;
- гибкую связь пользователя с большими вычислительными мощностями;
- легкость расширения системы.

Обе системы создавались по принципу двухузловой локальной сети на основе коммуникационного комплекса с внутренним взаимодействием.

Основной недостаток такой организации – увеличение времени прохождения информации между абонентскими машинами – в какой-то степени компенсируется тем, что коммуникационные ЭВМ выполняют роль концентратора и уменьшают количество связей для каждой ЭВМ. С точки зрения уменьшения времени реакции более предпочтительной была бы структура на основе коммуникационного комплекса с внешним взаимодействием, однако ее реализация затруднялась заложенными в доступные типы ЭВМ принципами организации взаимодействия с внешними устройствами.

Созданные структуры отличались простотой реализации, диагностики и административного управления. Они также обладали хорошей модульностью – введение в сеть либо отключение от сети одного из абонентских комплексов не приводило к изменению характера работы всей сети.

Наиболее существенным отличием структуры вычислителей тренажеров этих комплексов от предшествующих является именно распределение процесса обработки информации между несколькими ЭВМ.

Вычислительная система комплекса «Белладонна», создание которой началось в 1978 году, представляла собой локальную распределенную многомашинную вычислительную сеть (рис. 5).

Функциональный (верхний) моделирующий уровень был реализован на двух ЭВМ ЕС-1033, средний коммуникационный уровень – на двух комплексах АСВТ М-7000 (рис. 6). Потребовалось создание соответствующих надстроек над операционной системой ЭВМ верхнего уровня ОС ЕС и создание оригинального программного обеспечения для коммуникационных ЭВМ.

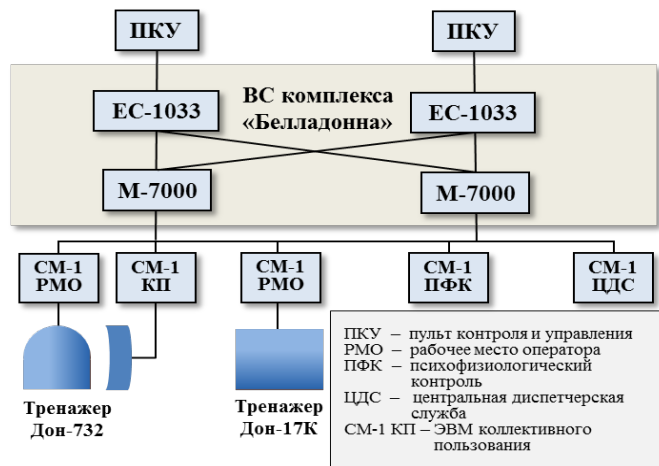


Рис. 5. Структурная схема ВС комплекса «Белладонна»

Созданию вычислительных комплексов предшествовал этап их получения, проведения пуско-наладочных работ, ввода в строй и опытной эксплуатации ЭВМ третьего поколения. Результатом отсутствия опыта эксплуатации вычислительной техники нового поколения (и в ЦПК и в стране в целом), несмотря на то что обслуживающий персонал ЕС ЭВМ прошел подготовку на курсах при заводе-изготовителе, явилось большое количество нареканий на работу технических средств ВС на начальном этапе. Кроме того, как и при создании АЦК, устройства, на бумаге обязанные взаимодействовать между собой, никак не хотели делать этого на практике. Однако, благодаря усилиям специалистов ОКТБ «Орбита» и специалистам ЦПК – Ю.А. Виноградову, В.Н. Мелешко и В.Н. Князеву, проблема межмашинного взаимодействия в ВС была решена.



ЕС-1033

Производительность: 2×10^5 оп/с
Оперативная память: 512 Кб



М-7000

Производительность: 10 тыс. оп/с
Оперативная память: 64 Кб

Рис. 6. Внешний вид и характеристики ЭВМ ВС комплекса «Белладонна»

Причинами основной проблемы, которую не удалось до конца решить и при создании вычислительной системы комплекса «Ермак-27», было отсутствие у разработчика и создателя ЕС ЭВМ ясной и законченной концепции поведения ЭВМ в нештатных режимах при работе с не входящими в состав ЭВМ внешними

устройствами. На аппаратном уровне обработка этих ситуаций (вполне логично, поскольку разработчик ЭВМ не знал, что будет нужно конкретному пользователю при нештатной работе с неизвестным разработчику устройством) приводила к аварийному завершению процесса взаимодействия. В результате мелочный сбой при межмашинном обмене (который тренажер скорее всего и не почувствовал) приводил к аварийному завершению работы всего комплекса.

И тем не менее ВС изделия «Белладонна» к 1980 году обеспечивала работоспособность двух тренажеров:

- Дон-732 (специализированный тренажер сближения и стыковки);
- Дон-17К (комплексный тренажер станции «Мир»).

Уже при создании ВС «Белладонна» произошло разделение работ на два больших направления, тесно связанных между собой и координируемых между собой начальником отделения К.С. Лункиным:

– монтаж и эксплуатация технических средств комплекса. Эти работы обеспечивали Н.В. Морозов, Ю.А. Виноградов, В.А. Бондаренко, В.А. Бабаев, В.М. Сычев, В.Н. Мелешко, В.П. Бреславец и другие;

– сопровождение, приемка и эксплуатация программного обеспечения. Основу этой группы составляли программисты и математики В.В. Куминов, В.Н. Князев, Т.А. Мартынова, С.И. Пестов, В.Н. Саев, Н.И. Шмаровоз, Л.Г. Новохатская, Н.В. Козлова и другие.

Как уже отмечалось, в 70-е годы происходил переход к новому поколению вычислительной техники (и у нас, и на закрытом для нас и идущем впереди нас западном рынке).

Заводы-изготовители ЭВМ буквально каждые 2–3 года анонсировали выпуск все более мощных ЭВМ.

Находящаяся на взлете космонавтика и начало работ по созданию орбитальной станции «Мир» и комплекса «Буран» потребовали от «Белладонны» того, что она не могла дать, но возможности создания чего уже просматривались – создание комплекса с четырнадцатью одновременно работающими тренажерами.

В 1980 году разрабатывается техническое задание на тренажную систему «Ермак».

Уже при написании ТЗ было ясно, что столь большая система в связи с длительным сроком создания и эксплуатации (с заложенной возможностью ее наращивания) и столь быстрым развитием вычислительной техники просто обязана постоянно модернизироваться и что невозможно жестко зафиксировать структуру и состав технических и программных средств вычислительной системы.

И хотя у разработчика (ОКТБ «Орбита») и специалистов Центра уже появился опыт создания и эксплуатации систем, построенных на базе ЕС ЭВМ – АСВТ, сложности, вызванные стыковкой ЭВМ, созданных по разной идеологии, заставили серьезно задуматься о выборе, как теперь говорят, аппаратно-программной платформы для построения ВС комплекса «Ермак-27». В начале 80-х годов очень серьезно рассматривался вопрос о построении ВС только на базе средств АСВТ-ПС. Анонсируемые комплексы ПС-2000, ПС-3000, СМ-1210 на порядок должны были превзойти предполагавшиеся к выпуску ЭВМ ЕС-1045. Однако сроки выпуска новой техники АСВТ-ПС постоянно переносились. Было принято решение продолжать работы по уже апробированной схеме: ЕС–АСВТ.

В 1984 году были введены две ЭВМ ЕС-1045 комплекса «Ермак-27». Не останавливая тренировок на «Белладонне» и не прерывая работ на «Ермаке-27»,

заменяли коммуникационные ЭВМ М-7000 на СМ-2М (рис. 7). В 1985 году перевели тренажеры «Белладонны» на уже работающую 1-ю очередь «Ермака-27», демонтировали ЭВМ ЕС-1033 и установили на их место еще две ЭВМ ЕС-1045, которые в 1986 году были введены в строй.

**ЕС-1045**

Производительность: 2×10^5 оп/с
Оперативная память: 4 Мб

**СМ-2М**

Производительность: 20 тыс. оп/с
Оперативная память: 128 Кб

Рис. 7. Внешний вид и характеристики ЭВМ ВС комплекса «Ермак-27»

К этому времени были прекращены работы на комплексе АЦК-М, и обслуживающие его специалисты перешли на комплекс «Ермак-27». Монтаж и эксплуатацию ЭВМ комплекса «Ермак-27» осуществляли В.А. Осипов, В.Е. Великий, И.Е. Марценюк, Г.И. Никитонов, А.В. Генералов, В.Н. Мелешко и другие во главе с Б.В. Смирновым.

Специалисты комплекса «Белладонна» В.А. Бондаренко, Н.В. Морозов, Н.И. Шмаровоз во главе с Ю.В. Якушиным приступили к работам по монтажу и опытной эксплуатации ЭВМ ЕС-1066, которые должны были стать ядром ВС комплекса тренажеров по программе «Буран».

К этому времени уже стало очевидным, что сложность сопровождения, приемки и эксплуатации программного обеспечения комплекса требуют создания отдельного подразделения. На базе группы эксплуатации программного обеспечения было создано отделение, в которое вошли уже упоминавшаяся группа математиков и программистов и группа операторов ЭВМ – Р.В. Кулебакина, Н.Я. Верба, С.А. Свяжина, А.Д. Григоренко и другие. Возглавил отделение К.С. Лункин.

Первоначально предполагалось, что пульты контроля и управления (пульты инструктора), построенные на базе техники ЕС и жестко подключенные к конкретной ЕС ЭВМ, будут унифицированы. На каждом из них можно будет проводить тренировки любого входящего в состав «Ермака-27» тренажера. Однако требование инструкторов о наличии на пультах повторителей реальных приборов и индикаторов привело к тому, что некоторые пульты начали изготавливать под конкретный тренажер. Для подключения конкретного пульта к нужной ЭВМ и, тем самым, сохранения возможности коллективного использования ЭВМ, ОКБ «Орбита» пришлось разрабатывать коммутатор интерфейсов ЕС (КИЕС), то есть пойти по пути, опробованному на АЦК-М.

Большое количество тренажеров в составе «Ермака-27» и ограниченные возможности коммуникационных машин потребовали разработки, создания и включения коммутаторов интерфейса ЭВМ СМ (КИСМ) между машинами среднего и нижнего уровней (рис. 8).

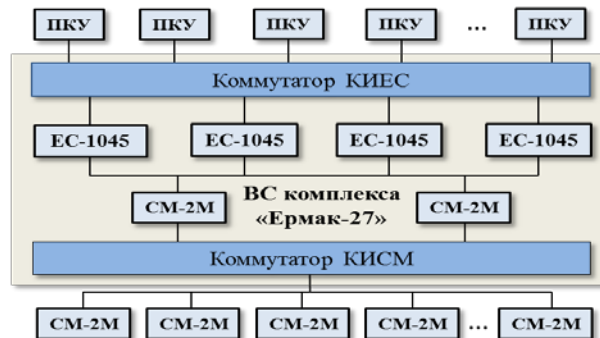


Рис. 8. Структурная схема ВС комплекса «Ермак-27»

С целью выполнения требований по реконфигурации ВС (связанных с повышением надежности ее функционирования) в 1989–90-х годах на ЭВМ ЕС-1045 с помощью накопителей на магнитных дисках была организована возможность работы ЭВМ ЕС (попарно) с общим полем памяти.

В начале 90-х годов в основном завершились работы по созданию в ЦПК вычислительной системы коллективного пользования «Ермак-27» по программе орбитальной станции «Мир» на базе ЭВМ ЕС-1045 (4 комплекта) и СМ-2М (18 комплектов), которая обеспечивала функционирование восьми тренажеров:

- Дон-732 (специализированный тренажер сближения и стыковки транспортного корабля «Союз»);
- Дон-732М (специализированный тренажер сближения и стыковки транспортного корабля «Союз-ТМ»);
- Дон-17КС (комплексный тренажер орбитальной станции «Мир»);
- Дон-ГП (специализированный тренажер главного поста управления);
- Дон-37КЭ (комплексный тренажер целевого модуля «Квант»);
- Дон-77КСТ (комплексный тренажер технологического модуля);
- Дон-77КСД (комплексный тренажер модуля дооснащения);
- Дон-21КС (специализированный тренажер автономного средства перемещения космонавта).

В начале 90-х годов были сняты ограничения на использование в отечественном тренажеростроении зарубежной вычислительной техники. Появление на российском рынке широкой номенклатуры ПЭВМ, рабочих станций, специализированных процессоров и графических систем давало возможность использовать передовые технологии для модернизации существующих тренажеров.

Ненадежные и «капризные» накопители на магнитных дисках ЭВМ ЕС-1045 были заменены на РС IBM, что значительно упростило техническое обслуживание и эксплуатацию, а также повысило надежность функционирования ВС в целом.

К 1996 году все ЭВМ ЕС-1045 выработали свой ресурс (две из них проработали 10, а еще две – 12 лет). Продолжение работ по программе «Мир» потребовало модернизации ВС «Ермак-27». Центральные процессоры и оперативная память ЭВМ ЕС-1045 в 1998 году были заменены выполненными по IBM-360 идеологии (и, вследствие этого, совместимыми с ЕС-1045) комплексами COMPARAX 8/830. Активное участие в этих работах принимали А.Н. Ханьгин, А.В. Генералов, Д.В. Курбатов, Е.Н. Абрамова.

Заключение

1. Создание ВС комплекса «Ермак-27» позволило обеспечить (используя четыре ЕС ЭВМ) вычислительными мощностями восемь тренажеров по программе «Мир», что было невыполнимо при создании тренажеров по автономной технологии.

2. Были разработаны основные принципы и получен опыт построения многомашинных вычислительных комплексов реального времени с распределенной обработкой информации, разработан единый протокол информационного обмена тренажной системы, разработаны унифицированные комплексы устройств связи с объектами, созданы специализированные устройства коммутации и межмашинного обмена.

3. Была создана специализированная операционная система реального времени для распределенной обработки информации на различных типах ЭВМ, обеспечивающая сетевые принципы обработки информации с коммутацией сообщений в условиях реального времени.

4. Многолетний опыт создания и эксплуатации многомашинных вычислительных систем в ЦПК позволил выделить ряд недостатков и просчетов в созданных системах. К ним относятся высокая стоимость, сложность создания, отладки и эксплуатации, низкая надежность комплекса в целом, обусловленная низкой надежностью отечественной вычислительной техники, необходимость большого количества персонала при проведении тренировок. Многие из указанных недостатков имели объективные причины и были вызваны, прежде всего, уровнем развития отечественной вычислительной техники. Это подтвердили последние годы эксплуатации ВС «Ермак-27», когда применение в нем современных технических средств (без изменения структуры комплекса и программного обеспечения) позволило на несколько порядков повысить надежность и эксплуатационные характеристики.

5. Использование при создании вычислительной системы тренажеров по программе МКС опыта и наработанных технических решений, заимствованных из «Ермака-27», еще раз подтвердило правильность выбранного направления – переход к децентрализованным системам и распределенной обработке информации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шукшунов В.Е., Бакулов Ю.А., Григоренко В.Н. и др. Тренажерные системы. – Москва: Машиностроение, 1981. – 256 с.
- [2] Наумов Б.А. Космические тренажеры. – Звездный городок, Московская область, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2012. – 201 с.

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

40 ЛЕТ ПРОГРАММЕ ЭПАС

ASTP Program 40-Year Anniversary

Рукопожатие в космосе стало символом экспериментального полета «Аполлон»–«Союз» (ЭПАС), более известного как программа «Союз–Аполлон» (англ. Apollo-Soyuz Test Project, ASTP), первой советско-американской пилотируемой космической программы, которой в июле 2015 года исполняется 40 лет.

Программа полета была утверждена 24 мая 1972 года «Соглашением между СССР и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях».

Советская сторона изготовила для программы шесть модифицированных кораблей 7К-ТМ, из которых четыре совершили полеты по программе ЭПАС, в отличие от американской стороны, которая репетиционных полетов и резервных кораблей по программе не производила.

Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина подготовил по программе ЭПАС основной экипаж (А.А. Леонов, В.Н. Кубасов), дублирующий экипаж (А.В. Филипченко, Н.Н. Рукавишников) и два резервных экипажа (Ю.В. Романенко, А.С. Иванченков и В.А. Джанибеков, Б.Д. Андреев).



Экипаж космического корабля «Союз-19» – А.А. Леонов и В.Н. Кубасов, 1975 г.

Советские и американские экипажи по программе ЭПАС прошли совместные тренировки на тренажерах космических кораблей в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (СССР) и в Космическом центре имени Л. Джонсона (США).



Астронавт НАСА Т. Стаффорд и космонавт СССР А.А. Леонов во время тренировки на тренажере ТПК «Союз», 1975 г.

15 июля 1975 года в 15 часов 20 минут с космодрома Байконур был запущен «Союз-19», командир корабля А.А. Леонов, бортиженер В.Н. Кубасов, а через семь с половиной часов с космодрома на мысе Канаверал запущен «Аполлон», командир корабля Томас Стаффорд, пилот командного модуля Вэнс Бранд, пилот стыковочного модуля Дональд Слейтон.



Участники первого совместного полета космических кораблей «Союз-19» и «Аполлон» в ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 1975 г.
Слева направо: В.Н. Кубасов, Д. Слейтон, А.А. Леонов, Т. Стаффорд, В. Бранд

17 июля в 19 часов 12 минут на 36-м витке «Союза-19» была совершена стыковка космических кораблей «Союз-19» и «Аполлон». После стыковки Томас Стаффорд и Дональд Слейтон перешли на борт «Союза-19». Обменявшись государственными флагами, космонавты двух стран подписали свидетельство о первой международной стыковке в космосе, советский экипаж передал американскому экипажу флаг ООН.

18 июля Алексей Леонов перешел на борт «Аполлона» и пробыл там около 6 часов. Полет «Союза-19»-«Аполлона» в состыкованном состоянии длился 46 часов 36 минут 44 секунды.

19 июля 1975 года была проведена расстыковка кораблей, через два витка «Союза» была совершена повторная стыковка, еще через два витка корабли окончательно расстыковались, после чего продолжили полет по собственным программам. «Союз» приземлился в казахстанской степи 21 июля, а «Аполлон» приводнился в районе Гавайских островов Тихого океана 25 июля. Задачи проекта ЭПАС были выполнены успешно.



Космонавты СССР и астронавты НАСА – участники первого совместного полета космических кораблей «Союз-19» и «Аполлон» в США, 1975 г.

Весь мир стал свидетелем того, как освоение космоса действительно начинает сближать народы нашей планеты. В этом, несомненно, было огромное политическое значение успешного выполнения программы ЭПАС.

Программа ЭПАС имела также большое научно-техническое значение. В условиях космического полета были проверены технические решения по совместимости комплекса систем обеспечения жизнедеятельности и технологии перехода из одного корабля в другой с разными атмосферами. Разработанные в СССР и США стыковочные агрегаты андрогинно-периферийного типа с успехом используются и сегодня.

Главным итогом полета стала отработка универсальной совместной системы спасения космонавтов, отработка технических систем и методов совместного управления полетом, осуществление совместных научных экспериментов и исследований.

Проведенные в ходе экспериментального полета научные эксперименты заложили фундамент современных методов и средств дистанционного зондирования Земли из космоса и мониторинга последствий естественно-природных и антропогенных катастроф.

Опыт успешного осуществления программы ЭПАС послужил основой для проведения других международных космических полетов. Ярким примером такой работы являются полеты российских космонавтов, астронавтов США, Канады, Японии, Европейского космического агентства и других на Международную космическую станцию.

В.В. Самарин, канд. техн. наук

УДК 001.5:523.51

ТУНГУССКИЙ МЕТЕОРИТ И КОСМОС В РАБОТАХ ХУДОЖНИКА Н. ФЕДОРОВА

И.А. Рюмина, Н.Н. Федорова

И.А. Рюмина (Международная федерация художников, Творческий союз художников России, Международная ассоциация художников и искусствоведов)
Н.Н. Федорова (Институт атмосферных исследований, Государственный университет штата Алагоас, Бразилия)

Многие работы русского художника Николая Федорова посвящены исключительному событию, которое произошло 30 июня 1908 года в пустынном районе Сибири, недалеко от реки Тунгуска. И по сей день неразгаданная тайна Тунгусского метеорита волнует мир. Федоров был единственным художником, который принял участие в научной экспедиции 1939 года под руководством русского геолога Леонида Кулика. Картины Федорова подробно отражают траекторию падения метеорита на основе свидетельств очевидцев и весь спектр связанных с ним научных гипотез.

Ключевые слова: Тунгусский метеорит, научные гипотезы, художник Федоров.

Tunguska Meteorite and Cosmos in Paintings of the Artist N. Fedorov.

I.A. Ryumina, N.N. Fedorova

The bulk of creative work of a Russian painter Nikolay Fedorov is devoted to an extraordinary event, occurred in a wild Siberian area near the Tunguska River June 30, 1908. Fedorov was the only artist who took part in the scientific expedition of 1939 led by the Russian geologist Dr. Leonid Kulik. Even today, the “Tunguska Event” still puzzles the world with its unsolved mysteries. Fedorov’s paintings illustrate the fall path of the meteorite in detail, based on the eyewitness accounts and represent the whole range of scientific hypotheses concerning Tunguska meteorite.

Keywords: Tunguska meteorite, scientific ideas, artist Fedorov.

1. Введение

В последнее время научный мир особенно обеспокоен проблемой метеоритов. Угроза столкновения с огромным метеоритом «Гермес», падение метеорита в Челябинске в феврале 2013 года побуждают вновь обратиться к происходящим ранее столкновениям с целью более глубокого их осмысления. Уникальным опытом изучения подобного явления обладают российские ученые.

Впервые в научную экспедицию Академии наук 1939 года к месту падения Тунгусского метеорита наряду с учеными был приглашен художник. Такое решение руководителя экспедиции профессора Льва Кулика было обусловлено пониманием художественного восприятия, позволяющего отбросить несущественные детали и наоборот подчеркнуть наиболее существенные особенности увиденного, обобщить и создать образ самой атмосферы после катастрофы. Работы художника Николая Федорова превзошли ожидания и были взяты на постоянное хранение в Академию наук, но отыскать их пока не удалось. Некоторые уникальные работы сохранились и могут быть показаны широкому зрителю (рис. 1). Его участие в экспедиции 1939 года, а также в последующих экспедициях 1984 и 1988 годов, общение с местными жителями – свидетелями катастрофы, сотрудничество с учеными позволили ему масштабно воссоздать картину до, во время и после глобального события, произошедшего в тунгусской тайге летом 1908 года.



а



б

Рис. 1. Экспедиции профессора Льва Кулика

Рассматривая научную ценность работ Н. Федорова, воплотившего в своих картинах события, происшедшие более 100 лет назад в глухой тунгусской тундре, с необычайной достоверностью, мы не должны забывать, что его картины являются произведениями искусства, художественная ценность которых также неоспорима. Подобно тому, как зритель, рассматривая в Русском музее картину Карла Брюллова «Последний день Помпеи», восхищается мастерством художника, восстановившего историческое событие по свидетельствам очевидцев и археологическим исследованиям, воспринимая, в первую очередь, художественные достоинства произведения, так и в картинах Николая Федорова, даже для особого зрителя, профессионала по исследованию космоса, информативная составляющая картин не заслонит их художественных достоинств. Ибо упомянутая достоверность достигнута благодаря мастерству художника, нашедшего свои художественные выра-

зительные средства в композиции, цвете и характере изображения, благодаря чему и зритель становится свидетелем происходящего события.

В данной статье часть рисунков представлена в черно-белом варианте. Цветные рисунки можно увидеть на следующих страничках:

<http://www.nikolayfedorov.com/>, <http://www.tunguska.ru/museum/cart/fed/>.

2. Научные гипотезы Тунгусского метеорита в работах художника Н. Федорова

Огромное количество гипотез Тунгусского явления 1908 года было высказано в печати. Серьезный труд по сбору и описанию их был проведен П.И. Приваловым, который описал 77 гипотез (журнал «Природа», 1969 г.). Исследователи Тунгусского метеорита А.И. Войцеховский и В.А. Ромейко в книге «Тунгусский метеорит. 100 лет великой загадке» (2008 г.) классифицировали все гипотезы по 10 группам: Метеоритные. Кометные. Геофизические. Электрические. Техногенные. Антивещественные. Религиозные. Синтетические. Фантастические. Космические.

Художник Николай Федоров обсуждал гипотезы взрыва Тунгусского метеорита с многими выдающимися учеными и исследователями этой проблемы. Среди них следует назвать Кулика, Вернадского, Ферсмана, Кринова, Васильева, Зоткина, Кандыбу, Колесникова, Ковалья, Плеханова, Ромейко, Воронова и Фаста. Николай Федоров, участвуя в трех экспедициях (1939 г., 1984 г. и 1988 г.), исследовавших Тунгусское явление, написал портреты многих из перечисленных исследователей и эти картины в настоящее время хранятся в Государственном Дарвиновском музее в Москве (рис. 2) и в Томском краеведческом музее, в котором собраны многие материалы об исследовании этого явления. Гипотезы взрыва Тунгусского метеорита, которые по мнению большинства ученых наиболее вероятны, были воссозданы художником.



а



б

Рис. 2. Портреты

а) свидетеля падения Тунгусского метеорита; б) исследователя Воронова

2.1. Метеоритная и кометная гипотезы

Многие работы посвящены метеоритной и кометной гипотезам (рис. 3–7):

- Пролет над рекой Ангарой (Триптих, 1988 г.);
- Взрыв над южным болотом. Вид с Фарингтона (1988 г.);
- Пролет над Забайкальем (Триптих, 1988 г.);
- Ударная волна (1988 г.);
- Пролет над эвенкийским стойбищем у реки Нижняя Тунгуска (1988 г.).

Кометная гипотеза Тунгусского метеорита высказывалась многими учеными. Еще в 1910 году метеоролог Апостолов и астроном Вольф (директор астрономической обсерватории г. Гейделберга, Германия) говорили, что Земля вошла в контакт с кометным облаком. Кометную гипотезу поддержали американский астроном Шепли (1930 г.), английский метеоролог Уиппл (1934 г.), астрофизик Фесенков, академик Григорян, академик гидродинамик Петров и доктор физ. мат. наук Стулов (1975 г.). Григорян показал, что ледяное ядро кометы могло внедриться глубоко в атмосферу и там разрушиться. Ранее считалось, что каменные или ледяные метеориты могли полностью испариться или рассеяться в воздухе. Петров и Стулов рассчитали, что полное рассеивание может произойти только для тел с очень малой плотностью. Они же объяснили появление мощной ударной волны за счет «взрывоподобного» торможения тела в атмосфере. Их результаты показали, что взрыв метеорита в воздухе возможен лишь при условии, что плотность метеорита сравнима с плотностью воздуха.



Рис. 3. Пролет над рекой Ангарой



Рис. 4. Взрыв над южным болотом. Вид с Фарингтона



Рис. 5. Пролет над Забайкальем



Рис. 6. Ударная волна



Рис. 7. Пролет над эвенкийским стойбищем у реки Нижняя Тунгуска

2.2. Электрические разряды в центре падения

Одна из гипотез механизма взрыва метеорита, связанная с электрическими процессами (рис. 8), происходящими в атмосфере Земли, принадлежит А.П. Невскому (1963 г.). В его работах рассматривается процесс образования положительного электрического заряда в метеоритах, движущихся с большой гиперзвуковой скоростью в атмосфере планет. Вокруг тела, движущегося в атмосфере, возникает плазменная оболочка. Поверхность тела накаляется до такой степени, что начинается «испарение» свободных электронов, которые уносятся встречным потоком плазмы. Тело приобретает положительный заряд. Возникает электрический диполь с положительным зарядом на поверхности и рассеянным отрицательным зарядом в плазменном хвосте. В результате между телом и Землей возникает огромная разность потенциалов, которая приводит к разряду молний.



Рис. 8. Электрические разряды в центре падения (1988 г.)

2.3. Рикошетный эффект

Впервые идея рикошета была высказана И.А. Астаповичем в 1929 году (рис. 9). Основная идея состоит в следующем. Небольшая комета по пологой траектории вошла в атмосферу Земли. Пройдя путь приблизительно 900 км и произведя разрушения при торможении на высоте около 10 км, она потеряла свою оболочку в районе эпицентра Тунгусского взрыва. Ядро же вышло в межпланетное пространство. При полете ядра кометы над Центральной Сибирью ее хвост простирался на запад до Атлантики и вызвал белые ночи в Западной Сибири, Средней Азии и Европе.

Аналог гипотезы рикошета был предложен доктором технических наук, профессором Е. Иорданишвили (1984 г.). По его мнению, небольшое небесное тело летело под малым углом к поверхности Земли. На высоте 120–130 км оно раскалилось и его длинный хвост наблюдали в Западной Сибири от Байкала до Вановары. Коснувшись земли, метеорит срикошетил, подскочил на несколько сот километров вверх. В этот момент он был виден с Ангары. Затем, описав параболу, он окончательно упал на Землю.

Рикошетные гипотезы позволяют объяснить разные наблюдаемые явления: 1) отсутствие кратера и вещества в месте первого касания Земли, 2) зафиксированное появление светящегося тела выше границы атмосферы, 3) явление белых ночей и 4) вид поваленного леса в форме бабочки.



Рис. 9. Рикошетный эффект (1987 г.)

2.4. Серебристые облака

В.И. Вернадский в 1932 году высказал гипотезу, что Земля столкнулась с облаком космической пыли, и движение этой пыли сквозь атмосферу вызвало мощное развитие серебристых облаков (рис. 10). Позднее в 1961 года Плеханов уточнил, что наиболее крупный конгломерат этого скопления получил название Тунгусского метеорита. Земля, двигаясь навстречу облаку пыли, была повернута к нему Северным полушарием.



Рис. 10. Серебристые облака (1988 г.)

3. Видение мира в работах художника Федорова

Общение с космической тематикой прошло через всю жизнь художника. Тунгусский метеорит, виды Земли и облаков из космоса, постоянные общения с исследователями этих проблем – все это было соединено с громадным опытом работы в

области создания гобеленов. Например, рис. 12 показывает космическую тематику, выполненную в технике гобелена. Федоров более сорока лет возглавлял творческий коллектив по разработке гобеленовых тканей по методу жаккардового ткачества. Среди работ этого коллектива надо отметить многочисленные занавеси в театрах (Большой театр, Концертный зал гостиницы «Россия») и музеях (например, А. Васнецова). Его работы получили различные награды, в том числе Гран-при на международной выставке в Брюсселе в 1956 года.

Серия работ о космосе была написана Федоровым в самом начале 1970-х годов. Эта серия возникла под впечатлением от фотографий из космоса, полученных с первых метеорологических спутников. Дочь художника Наталья работала в первой советской научной группе по использованию данных с метеорологических спутников в анализе и прогнозе погоды. Их тесные и постоянные общения вылились в эту серию работ. Кроме того, художник постоянно находил красоту в природе: кора дерева, оперенья птиц, спицы кристаллов и многое другое вошли в его творчество. Таким образом, слияние космической и метеоритной тематик с декоративным видением мира позволило создать этот удивительный цикл работ о космосе и жизни. Эти работы в настоящее время принадлежат Государственному Дарвиновскому музею в Москве.

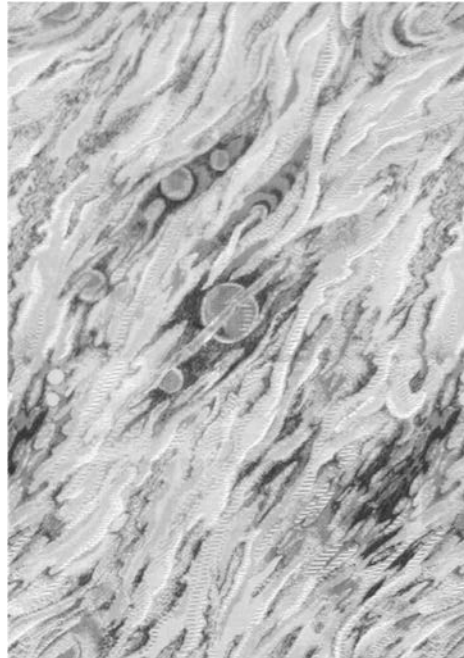


Рис. 11. Гобеленовая ткань «Космос»
по методу жаккардового ткачества

Серия работ «Космос и Жизнь»



Кустарник на грунте малой планеты



Жизнь на планете у двойной звезды



Высохшие следы жизни на малой планете



Иней и снег на малой планете



Простейшая жизнь на малой планете



Ясное утро на малой планете

4. Заключение

Художником Николаем Федоровым, кроме живописных картин, обобщающих научные гипотезы, было создано много графических работ и рисунков, воплощенных позднее в технике многослойного гобеленового ткачества. Значение этих работ возрастает с каждым днем, ибо, помимо художественной ценности, они обладают ценностью социально-нравственной. Например, изображенный в них еле заметный мох, покрывающий камни и стволы деревьев, лежащий ковром под ногами, оказывается необыкновенно красив. И при этом он сохраняет Землю.

Художник использовал в своих работах национальные узоры, которые являлись для местных жителей символами охраны природы. Например в национальной обуви присутствуют символы сохранения мха. И поэтому его работы становятся призывом к бережному отношению к природе, к каждой травинке. Работы художника являются особенно актуальными в наши дни в связи с экологической проблемой сохранения природы и всей планеты Земля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Привалов П.И. В помощь составителям гипотез, связанных с падением Тунгусского метеорита. – Природа, 1969.
- [2] Войцеховский А.И., Ромейко В.А. Тунгусский метеорит. 100 лет великой загадке. – М.: Вече, 2008. – 426 с.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

XI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ В КОСМОС»

10–12 ноября 2015 года, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

XI International Scientific and Practical Conference “Manned Space Missions”

November 10–12, 2015,

State Organization «Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Centre»

Уважаемые коллеги!



Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» 10–12 ноября 2015 года в Звездном городке проводит XI Международную научно-практическую конференцию «Пилотируемые полеты в космос», посвященную 55-летию образования Центра подготовки космонавтов и отряда космонавтов.

Цель конференции – оценка современного уровня исследований и практических результатов в области создания и применения пилотируемых космических аппаратов, отбора, подготовки, профессиональной деятельности космонавтов на борту пилотируемых космических аппаратов и послеполетной реабилитации. В ходе открытого диалога планируется обсудить:

- проблемы пилотируемой космонавтики и определить возможные пути их решения;
- перспективы развития мировой и отечественной космонавтики;
- задачи популяризации достижений отечественной пилотируемой космонавтики среди молодежи.

Программой конференции предусмотрена работа по следующим научным направлениям:

Секция 1. Проблемы и перспективы развития и применения пилотируемых космических систем.

Секция 2. Профессиональная деятельность космонавтов.

Подсекция 2.1. Профессиональная деятельность космонавтов (отбор, подготовка, космический полет).

Подсекция 2.2. Новые информационные технологии в подготовке космонавтов.

Секция 3. Научно-прикладные исследования и эксперименты в космосе.

Секция 4. Технические средства для подготовки космонавтов и моделирование факторов космических полетов.

Подсекция 4.1. Технические средства для подготовки космонавтов.

Подсекция 4.2. Проблемы эксплуатации центрифуг и их применение для подготовки космонавтов.

Подсекция 4.3. Внекорабельная деятельность.

Секция 5. Медицинские и психологические аспекты отбора, подготовки, деятельности экипажей в космических полетах и послеполетной реабилитации.

Секция 6. Молодежь для настоящего и будущего пилотируемой космонавтики. Образовательные программы.

Научная программа конференции предусматривает:

- пленарное заседание;
- секционные заседания;
- стендовые доклады;
- научные дискуссии в форме «круглого стола» на тему «Настоящее и будущее пилотируемой космонавтики»;
- выставку «Пилотируемая космонавтика: настоящее и будущее»;
- встречи с космонавтами.

Для участия в конференции приглашаются ученые, инженеры, специалисты и студенты, а также все, кто проявляет интерес к пилотируемой космонавтике.

С уважением,
летчик-космонавт РФ, Герой РФ,
начальник Центра подготовки космонавтов,
доктор технических наук



Ю.В. Лончаков

**ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ
ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. УПРАВЛЕНИЕ,
РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КООПЕРАЦИЯ
В УСЛОВИЯХ НОВЫХ ВЫЗОВОВ»**

9 апреля 2015 года, г. Москва

**2-nd All-Russian Scientific and Practical Conference
“Problems and Economic Development Prospects of High Tech Industry.
Management, Resources’ Provision, and Cooperation
Under Conditions of New Challenges”**

April 9, 2015, Moscow

9 апреля 2015 года в Институте прикладных технико-экономических исследований и экспертиз Российского университета дружбы народов прошла вторая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы экономического развития высокотехнологичных отраслей промышленности. Управление, ресурсное обеспечение и кооперация в условиях новых вызовов».

Цель мероприятия: поиск путей и выработка совместных решений актуальных научных проблем развития высокотехнологичных отраслей промышленности России, импортозамещения, повышения конкурентоспособности и эффективности управления, управления инновациями и дальнейшее развитие внешнеэкономической деятельности России в современных условиях.

В работе конференции приняли участие сотрудники ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». С пленарным докладом «Международное сотрудничество в космосе» выступил заместитель начальника Центра (по планированию и развитию) М.М. Харламов. С секционным докладом «Инновационное развитие ЦПК имени Ю.А. Гагарина» выступил заместитель начальника 5 управления (по научно-координационной и информационной деятельности) О.С. Гордиенко.

Участие в конференции дало возможность обменяться опытом, а также наметить пути решения имеющихся проблем.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА МКС»

9–11 апреля 2015 года, г. Москва

International Scientific and Practical Conference “Research and Experiments on the ISS”

April 9–11, 2015, Moscow

В преддверии Дня космонавтики с 9 по 11 апреля 2015 года в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН, г. Москва), состоялась Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и эксперименты на МКС».

Конференция была организована Федеральным космическим агентством (Роскосмос) совместно с Российской академией наук (РАН).

В подготовке конференции участвовали Координационный научно-технический совет (КНТС) Роскосмоса, Центральный НИИ машиностроения (ЦНИИмаш) и Институт космических исследований РАН. На конференции были рассмотрены основные вопросы, посвященные результатам научных исследований и экспериментов, проводимых на МКС. Работа конференции сопровождалась выставкой. На конференции рассматривались различные аспекты работы на МКС – от фундаментальных научных задач до образовательных проектов. Участники данной конференции получили представление о современных космических исследованиях, развитии космических технологий для дальнейшего освоения космического пространства, образовательных проектах, междисциплинарных задачах, обсудили проблемы и будущие проекты.

На этой конференции с докладами выступили ученые России, США, Германии и других стран.

В конференции принимала участие большая группа космонавтов и сотрудников НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина, на выставке Центр представлял свой стенд.

С докладами на секциях выступили:

– начальник 5 управления А.А. Курицын на тему «Экспериментальные исследования для оценки возможности выполнения сложной операторской деятельности после длительных космических полетов»;

– заместитель начальника 1 управления по НИИР Г.Д. Орешкин на тему «Региональный экологический мониторинг объектов с борта МКС в рамках космического эксперимента «Экон-М»;

– начальник 54 отдела 5 управления П.А. Сабуров на тему «Технические средства подготовки космонавтов к выполнению научных исследований и экспериментов на РС МКС».

БАЗА ДАННЫХ
«ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ
ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ ПО ВКД НА РС МКС.
ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ОБЩЕГО
И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ВКД»

О.А. Брель, Д.И. Верба, М.А. Зайцев, В.С. Коренной,
В.В. Несмеянов, С.Н. Харлашкин

Database

“Technical Facilities Ensuring the Execution of Eva on the ISS RS.
Basic General- and Special-Purpose Tools and Devices Used in EVA”

O.A. Brel, D.I. Verba, M.A. Zaytsev, V.S. Korennoy,
V.V. Nesmeyanov, S.N. Kharlashkin

В ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» разработана и зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности 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». Свидетельство о государственной регистрации № 2014620446 от 19 марта 2014 г.

База данных предназначена для хранения информации о технических средствах, инструментах, приспособлениях общего и специального назначения, применяемых при выполнении работ внекорабельной деятельности на российском сегменте Международной космической станции.

Структура базы данных представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура базы данных

База данных имеет три основных раздела:

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

Примеры представления информации в базе данных приведены на рис. 2–5. Информация по каждому объекту включает: название, фотографию или схему, назначение, составные части, правила эксплуатации.

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



Рис. 2. Грузовая стрела ГСт-М



Рис. 3. Площадка «Якорь»

В разделе «Средства фиксации и страховки» представлены:
трассы поручней;
площадка «Якорь»;
магнитно-механический замок;
страховочные фалы на СК;
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, имеющий-ся 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).



Рис. 4. Резак

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.



Рис. 5. Адаптер (ОТА)

Организация базы данных позволяет добавлять, удалять, редактировать записи.

База данных применяется в процессе проведения теоретических и практических занятий с космонавтами при подготовке к внекорабельной деятельности, а также в процессе самоподготовки.

Пользователь работает с базой данных, просматривая информацию. Редактирование, удаление и внесение новых записей осуществляет администратор базы.

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») инициировало издание научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» по широкому кругу проблем, связанных с тематикой пилотируемых полетов в космос. В журнале публикуются работы в области: обеспечения пилотируемых космических программ; научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области изучения космического пространства и создания космической техники; отбора, подготовки деятельности и послеполетной реабилитации космонавтов; безопасного пребывания космонавтов на орбите, а также теории конструирования и технологии летательных аппаратов, двигателей; вычислительных систем; экспериментальных исследований; дистанционного зондирования Земли, информационных спутниковых технологий; проблем нанотехнологий для авиа- и аэрокосмических систем.

Приглашаются к сотрудничеству ученые различных областей.

Приглашаются 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. Рисунки размещаются в тексте. Формулы печатаются в редакторе Microsoft Equation. Таблицы, схемы, рисунки и формулы в тексте должны нумероваться; схемы и таблицы должны иметь заголовки, размещенные над схемой или полем таблицы, а каждый рисунок – подрисуночную подпись. Рисунки, диаграммы, схемы, таблицы делать в черно-белом варианте, если цвет на них не несет нагрузку.

Список литературы

Набирается шрифтом «Times New Roman», 9 пунктов, интервал между строками «одинарный». Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

За автором сохраняется право копирования своей публикации.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в двух экземплярах. На первом экземпляре располагается подпись автора статьи. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Материалы, предоставленные для публикации в редакцию журнала, авторам не возвращаются.

Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.

Вниманию читателей

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

To the Attention of Readers

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

Наши координаты для контактов

(по вопросам публикации, рекламы, и деловых предложений)

Кальмин Андрей Валентинович (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

**ПИЛОТИРУЕМЫЕ
ПОЛЕТЫ В КОСМОС**
(научный журнал)

Научный редактор *Л.К. Васильева*
Редактор *С.Г. Токарева*
Технический редактор *Н.В. Волкова*
Корректор *Т.И. Лысенко*
Перевод *С.Б. Беляковская*

Подписано в печать 12.03.15.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 11,90. Тираж 120 экз. Зак. 165-15.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»