

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,

В.М. Усов,

М.М. Харламов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....4

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-41/42 при выполнении программы космического полета. *А.М. Самокутяев, Е.О. Серова*4

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-41/42 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова*17

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС28

Сравнительный анализ реакции сердечно-сосудистой системы космонавтов на пробу с физической нагрузкой. *В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева, Т.Г. Шушунова, А.В. Абоимов, С.А. Горбачева*28

Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе. *П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной*35

Инструментальная методика тестирования интерактивного бесконтактного человеко-машинного взаимодействия при использовании шлема виртуальной реальности. *А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, В.М. Усов*43

Мысленные команды как основа для синтеза дополнительного канала управления в системах «человек–машина». *Б.М. Владимирский, Б.Б. Олехнович, Ю.А. Украинский, И.Е. Шепелев, В.А. Кирой*54

Анализ возможностей коммуникации и перспектив использования антропоморфного миниробота для психологической поддержки экипажа на борту пилотируемого космического комплекса. <i>А.Н. Супотницкий, Р.А. Богачева</i>	68
Применение современных информационных технологий при подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности с борта РС МКС. <i>В.И. Васильев, Н.В. Васильева, В.Е. Фокин, Е.В. Дедкова, И.А. Бирюкова, С.Н. Максимов</i>	83
Развитие бортовых средств визуально-инструментального наблюдения и их тренажеров. <i>В.М. Жуков</i>	92
ОБЗОРЫ.....	101
Анализ развития информационно-управляющих систем тренажеров пилотируемых космических аппаратов. <i>В.П. Хрипунов, К.С. Лункин, С.А. Арутюнов</i>	101
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ	112
История создания и использования центрифуг для подготовки космонавтов. <i>В.Н. Киришанов, А.П. Чудинов</i>	112
Основные этапы развития отечественной внекорабельной деятельности космонавтов. <i>А.А. Алтунин, Н.А. Бачмановский, Д.И. Верба, В.С. Коренной, М.А. Зайцев</i>	123
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	129
XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос»	129
Молодежная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической и авиационной технике»	130
XVII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах».....	132
Информация для авторов и читателей	134

CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS	4
Main Results of the ISS-41/42 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>A.M. Samokutyaev, E.O. Serova</i>	4
Medical Support of the ISS-41/42 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i>	17
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS	28
Comparative Analysis of the Cosmonauts Cardiovascular System Reaction to the Exercise Test. <i>V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.V. Aboimov, S.A. Gorbacheva</i>	28
Approach to Reasoning the Tasks for Robotic Systems during Extravehicular Activity. <i>P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy</i>	35
Instrumental Methods of Testing an Interactive Contactless Human-Machine Interaction When Using a Helmet-Mounted Display. <i>A.A. Karpov, A.L. Ronzhin, V.M. Usov</i>	43
Mental Task-Based Commands as the Basis for Synthesizing a Secondary Control Channel in Human-Machine Systems. <i>B.M. Vladimirovskiy, B.B. Olekhnovich, Ju.A. Ukrainskiy, I.E. Shepelev, V.A. Kirov</i>	54
Study of Communication Opportunities and Prospects of the Use of the Anthropomorphic Mini-Robots for Psychological Support of Crews aboard the Manned Space Complex. <i>A.N. Supotnitskiy, R.A. Bogacheva</i>	68
Application of Current Information Technologies in Cosmonaut Training for Visual-Instrumental Observation of Earth's Surface from the Board of the ISS RS. <i>V.I. Vasiliev, N.V. Vasilieva, V.E. Fokin, E.V. Dedkova, I.A. Biryukova, S.N. Maksimov</i>	83
Development of the Onboard Means for Visual Instrumental Observations and Appropriate Simulators. <i>V.M. Zhukov</i>	92
OVERVIEWS	101
Development Analysis of Information-Control Systems of the Simulators of Manned Space Vehicles. <i>V.P. Khripunov, K.S. Lunkin, S.A. Arutyunov</i>	101
HISTORY. EVENTS. PEOPLE	112
History of the Construction and Operation of Centrifuges for Cosmonaut Training. <i>V.N. Kirshanov, A.P. Chudinov</i>	112
Main Development Stages of Domestic Extravehicular Activity of Cosmonauts. <i>A.A. Altunin, N.A. Bachmanovskiy, D.I. Verba, V.S. Korennoy, M.A. Zaitsev</i>	123
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION	129
XI International Scientific and Practical Conference "Manned Space Missions"	129
Youth Conference "New Materials and Technologies in Rocket-and-Space and Aviation Industry"	130
XVII International Conference "Problems of Control and Simulation in Complex Systems"	132
Information for Authors and Readers	134

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-41/42 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

А.М. Самокутяев, Е.О. Серова

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ А.М. Самокутяев;
космонавт-испытатель Е.О. Серова (Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-41/42 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-14М» 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-41/42 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. A.M. Samokutyayev, E.O. Serova

The paper considers results of the ISS-38/39 expedition's activity aboard the spacecraft "Soyuz-TMA-11M" and the ISS. Also, it contains the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the overall flight program of the ISS. Particular attention is paid to the implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Comments 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-41/42 в составе (рис. 1):

Самокутяев Александр Михайлович	командир ТПК «Союз ТМА-14М» бортинженер МКС-41/42 (Роскосмос, Россия)
Серова Елена Олеговна	бортинженер ТПК «Союз ТМА-14М» бортинженер МКС-41/42 (Роскосмос, Россия)
Барри Уилмор	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-14М» бортинженер МКС-41 командир экспедиции МКС-42 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 167 суток с 25 сентября 2014 года по 12 марта 2015 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-14М» – «Тарханы».



Рис. 1. Экипаж экспедиций МКС-41/42

Опыт полетов членов экипажа

Самокутяев Александр Михайлович в отряде космонавтов с мая 2003 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет длительностью 164 суток с апреля по сентябрь 2011 года в составе 27/28-й экспедиции на МКС в качестве командира ТПК «Союз ТМА-21» и бортинженера МКС. В ходе полета выполнил выход в открытый космос длительностью 6 часов 23 минуты. В 2012 году присвоено звание Героя Российской Федерации. Космонавт-испытатель 3-го класса, 518-й космонавт мира, 109-й космонавт Российской Федерации.

Серова Елена Олеговна в отряде космонавтов с декабря 2006 года. До назначения в экипаж опыта космических полетов не имела. Бортинженер ТПК «Союз ТМА-М», космонавт-испытатель Роскосмоса (Россия).

Барри Уилмор в отряде астронавтов НАСА с июля 2000 года. 1-й космический полет Уилмор выполнил в качестве пилота МТКК «Шаттл» с 16 по 29 ноября 2009 года в составе экипажа STS-129. 505-й космонавт мира, 325-й астронавт США, капитан 1-го ранга ВМС США.

Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-14М» был произведен 25 сентября 2014 года с космодрома Байконур (Казахстан).

Параметры орбиты выведения: период $T = 88,79$ мин, наклонение $i = 51,65$ град., высота $h \times H = 201,25$ км \times 257,33 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-41/42 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 26 сентября 2014 года ТПК «Союз ТМА-14М» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2; ($T_{М.з.} = 05:11:29$ ДМВ.) Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;

– выход в космос ВКД-40 осуществлен 22 октября 2014 года из стыковочного отсека СО1, продолжительность выхода – 3 ч 38 мин, выход выполнили космонавты М.В. Сураев и А.М. Самокутяев;

- расстыковка американского грузового корабля многоразового использования «Dragon» SpaceX-4 от МКС проведена 25 октября 2014 года, время отделения от манипулятора станции – 16:57 ДМВ;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-24М» со стыковочным узлом СО1 осуществлена 27 октября 2014 года. Время расстыковки – 08:38 ДМВ;
- стыковка ТГК «Прогресс М-25М» со стыковочным узлом СО1 выполнена 29 октября 2014 года ($T_{М.З.} = 16:08$ ДМВ); сближение транспортного грузового корабля осуществлено 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; работы по программе символической деятельности;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-13М» от стыковочного узла МИМ1 и посадка экипажа осуществлены 10 ноября 2014 года; время посадки СА – 06:59 ДМВ;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-15М» со стыковочным узлом модуля МИМ1 осуществлена 24 ноября 2014 года ($T_{М.З.} = 05:48:26$ ДМВ); сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;
- сближение американского грузового корабля многоразового использования «Dragon» SpaceX-5 с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС осуществлены 12 января 2015 года ($T_{М.З.} = 17:00$ ДМВ);
- расстыковка американского корабля «Dragon» SpaceX-5 от МКС выполнена 10 февраля 2015 года; время отделения от манипулятора станции – 22:10 ДМВ;
- расстыковка европейского грузового корабля ATV-5 «Жорж Леметр» от АО СМ РС МКС произведена 14 февраля 2015 года ($T_{РАЗДЕЛЕНИЯ} = 16:41$ ДМВ);
- стыковка ТГК «Прогресс М-26М» к АО СМ осуществлена 17 февраля 2015 года ($T_{М.З.} = 19:57$ ДМВ); сближение транспортного грузового корабля проводилось по 4-витковой схеме полета;
- возвращение экипажа МКС-41/42 на Землю, расстыковка ТПК «Союз ТМА-14М» от стыковочного узла модуля МИМ2 и посадка выполнены 12 марта 2015 года; время расстыковки – 01:44:02 ДМВ; время посадки СА – 05:07 ДМВ.

Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-41/42 в составе командира ТПК «Союз ТМА-14М» Самокутяева Александра Михайловича, бортинженера Серовой Елены Олеговны и бортинженера-2 Уилмора Барри проводилась с 27 марта 2014 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по МКС и ТПК «Союз ТМА-14М» являлись:

- подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-14М»;
- 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-14М» 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 по мониторингу сближения и стыковке с европейским грузовым кораблем ATV-5 и расстыковке с МКС;
- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-40/41 и МКС-42/43;
- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- теоретическое ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемые корабли;
- подготовка к адаптации к факторам космического полета, отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств;
- подготовка экипажа к выполнению программы научно-прикладных исследований и экспериментов на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;
- отработка навыков, умений и взаимодействия экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах.

Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-14М»

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-14М» был произведен 25 сентября 2014 года с космодрома Байконур (рис. 2).

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно, $T_{КП} = 23:24:59$ ДМВ; $T_{КО} = 23:33:48$ ДМВ. В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено.



Рис. 2. Старт корабля «Союз ТМА-14М»

26 сентября на 3-м и 4-м витках выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2 ($T_{М.З.} = 05:11:29$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме сближения.

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

После стыковки экипаж выполнил контроль герметичности отсеков корабля, контроль герметичности стыка, ускоренное выравнивание давления между отсеками ТПК и МКС и открытие переходных люков. Выполнив консервацию транспортного корабля, экипаж завершил первый этап программы автономного полета ТПК «Союз ТМА-14М».

11 марта 2015 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж экспедиции МКС-41/42 приступил к подготовке к возвращению на Землю. На 11-суточном витке выполнена расконсервация корабля. Переход на автономное питание выполнен в 22:35:30 ДМВ по КРЛ на 12-суточном витке. После разрешения ЦУПа в 22:32:00 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.

Расстыковка выполнена 12 марта 2015 года на 14-суточном витке в автоматическом режиме с двумя импульсами отвода. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 01:42:30 ДМВ, время фактической расстыковки – 01:44:02 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-суточном витке, посадка – на 1-суточном витке. По указанию ЦУПа в 04:00:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время

включения СКД для выдачи тормозного импульса – 04:16:07 ДМВ. Связь ЦУПа с экипажем отсутствовала с момента $T_{СКД}$ – 8 мин и восстановилась на 1 мин 30 с после включения СКД. Далее связь пропала еще раз на 2 мин до ввода ОСП, после этого снова пропала и более не восстанавливалась. С большими помехами можно было слышать квитанции экипажа ПСС при спуске на парашюте. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил + 1 с. Максимальная перегрузка 5 единиц. Посадка осуществлена 12 марта 2015 года в 05:07 ДМВ в расчетной точке с координатами 47° 19' с.ш., 69° 34' в.д. ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе.



Рис. 3. Посадка экипажа МКС-41/42 в Казахстане

Работа по эвакуации началась непосредственно после приземления (рис. 3). Аппарат находился вертикально, купол погашен.

Полет на борту МКС

Экипаж МКС-41/42 работал на борту МКС 166 суток с 26 сентября 2014 года по 12 марта 2015 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов (рис. 4), выполнил ремонтно-восстановительные работы, провел большое число телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

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

- диагностика силового распределительного блока 11М156М СУБК ФГБ, БСШ-2 и БФ-2 СЭС ФГБ;
- тестовая отработка специального программного обеспечения многофункциональной информационной системы поддержки экипажа (СПО-МИС) на борту РС МКС;
- наддув атмосферы МКС воздухом из секций ТГК «Прогресс М-24М», ТГК «Прогресс М-25М»;



Рис. 4. Е.О. Серова во время проведения экспериментов

- проверка НЧ-тракта, исправности пультов абонентов и УКВ-приемников, инвентаризация гарнитур СТТС;
- дренаж хладона из СКВ-2;
- включение режима циклирования аккумуляторных батарей СЭС ФГБ;
- заправка ЕДВ из баков системы водообеспечения ATV-5 с использованием компрессора;
- аудит свободных объемов в зонах хранения грузов на ФГБ, СМ, СО1 и МИМ2;
- осмотр состояния корпуса и обечайки за панелями и БД-2;
- установка кабель-вставки с индикатором «Перегрев» в БРП-М системы СРВ-К2М для предотвращения перегрева нагревателя;
- установка накладных листов на панелях интерьера ФГБ;
- замена БРП-М в СРВ-К2М и проверка его функционирования;
- замена фильтра газожидкостной смеси (ФГС) и блока колонок очистки (БКО) в системе СРВ-К2М;
- замена модуля АБ № 6 в СЭП СМ;
- замена блока размножения интерфейсов (БРИ);
- корректировка калибровочных коэффициентов ФИТ (анализатор-течеискатель фреона) для увеличения чувствительности прибора по нижней границе измерений.

Выполнены основные работы по дооснащению РС МКС доставленным оборудованием:

- установка комплекта принадлежностей на прибор БРИ;
- замена СНТ-50МП А22;
- замена прибора ЭА025М (ЗУ1Б) на прибор ЭА025 (ЗУ1А) системы БИТС-2-12;
- установка на лэптоп RSS1 программного обеспечения для передачи данных системы оптических телескопов через спутник-ретранслятор;



Рис. 5. А.М. Самокутяев во время проведения бортовой тренировки ТОРУ

- замена пульта управления бегущей дорожки (ПУ БД-2);
- замена пульта управления и кабеля питания нагрузителя силового НС-1С.

Работы по связям с общественностью включали фото- и видеосъемки для телестудии Роскосмоса, проведение ТВ-сеанса связи со студентами МГТУ имени Н.Э. Баумана, ТВ-приветствия, посвященного 260-й годовщине основания МГУ имени М.В. Ломоносова, ТВ-репортажа, посвященного празднованию Международного женского дня 8 Марта. Проведены работы по программе символической деятельности.

14 января 2015 года в 08:49 GMT получено сообщение аварийно-предупредительной сигнализации «Токсичная атмосфера» с дальнейшим отключением бортовых систем МКС. Экипаж надел маски и закрыл люки: задний люк NODE1 и ГА-NODE1. ЦУП-Х сообщил о ложном срабатывании, экипаж снял маски, начались работы по приведению борта в штатное состояние. ЦУП-Х сообщил о возможности утечки аммиака и дал указание экипажу действовать по книге Emergency-1С п. 4.3. Была повторно выдана аварийная сигнализация для отключения межмодульной вентиляции. В соответствии с циклограммой действий в аварийных ситуациях в 09:12 GMT экипаж изолировал АС и провел замеры проб атмосферы на аммиак – показания на РС МКС норма. Бортовые системы РС МКС были приведены в исходное состояние.

Во время парирования аварийной ситуации после включения вентиляции на РС МКС были зафиксированы 4 срабатывания датчиков дыма ИДЭ-3 в модулях СО1 (№ 1, № 3), МИМ (№ 2, № 3) – признаков пожара не было обнаружено, при этом системы РС МКС отключались в соответствии с аварийной циклограммой.

После совместного решения ЦУПов о возможности входа в американский сегмент в 20:05 GMT экипажу было рекомендовано надеть аварийные маски, открыть люки ГА-РМА1 и задний люк NODE1 и взять пробы атмосферы в NODE2 – присутствия аммиака в составе атмосферы АС не обнаружено. Причиной возникновения аварийной ситуации явилась некорректная работа программного обеспечения MDM2 в NODE2.

Необходимо отметить, что в период работы экипажа на борту станции конфигурация МКС включала следующие динамические операции:

- расстыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-4;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-24М»;

- стыковка ТГК «Прогресс М-25М»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-13М»;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-15М»;
- стыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-5;
- расстыковка американского грузового корабля «Dragon» SpaceX-5;
- расстыковка европейского грузового корабля ATV-5 «Жорж Леметр»;
- стыковка ТГК «Прогресс М-26М»;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-14М».

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

Совместный полет с другими экипажами МКС

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-40/41, МКС-42/43.

С 26 сентября 2014 года по 10 ноября 2014 года – совместный полет с экипажем МКС-42/43 в составе:

- Сураев Максим Викторович (бортинженер МКС-40, командир экспедиции МКС-41, Роскосмос, Россия);
- Вайзман Грегори Рид (бортинженер экспедиции МКС-40/41, НАСА, США);
- Герст Александр (бортинженер МКС-40/41, ЕКА, Германия).

С 24 ноября 2014 года по 12 марта 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-42/43 в составе:

- Шкаплеров Антон Николаевич (бортинженер экспедиции МКС-42/43, Роскосмос, Россия);
- Вёртс Терри Уэйн (бортинженер МКС-42, командир экспедиции МКС-43, НАСА, США);
- Кристофоретти Саманта (бортинженер МКС- 42/43, ЕКА, Италия).

Внекорабельная деятельность

Во время полета экспедиции МКС-41/42 был выполнен один выход в открытый космос: ВКД-40 из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» 22 октября 2014 года в скаффандрах «Орлан-МК» продолжительностью 3 ч 38 мин. Выход совершили космонавты М.В. Сураев и А.М. Самокутяев (рис. 6) из состава экспедиции МКС-41.

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

Основные задачи выхода:

- демонтаж радиометрического комплекса РК 21-8 с отталкиванием в открытый космос с УРМ-Д по II плоскости 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;
- отбор проб-мазков с иллюминатора ВЛ-2 стыковочного отсека СО1 (космический эксперимент «Тест»);
- проведение фотосъемок внешней поверхности РС МКС.

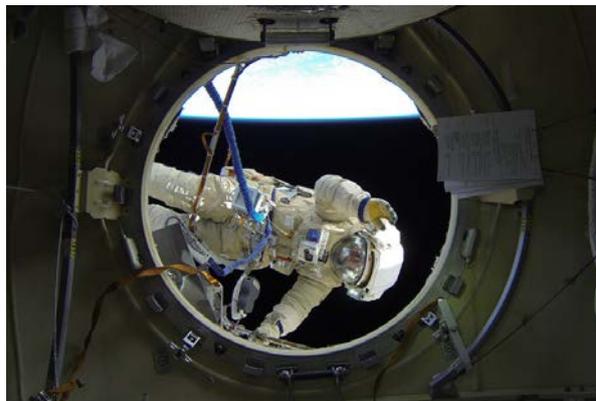


Рис. 6. Выход А.М. Самокутяева в открытый космос

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.

Визуальное наблюдение антенн 2АСФ1-1 и 2АСФ1-2 в момент отталкивания в открытый космос с модуля МИМ2 было затруднено из-за засветки Солнцем.

Считаем целесообразным установку стационарных светильников на внешней поверхности станции для удобства работы на теневом участке орбиты.

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».

Таблица

Структура российской научной программы МКС-41/42

№ п/п	Направления исследований	Всего	С участием экипажа
1	Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	2	2
2	Исследование Земли и космоса	9	7
3	Человек в космосе	9	9
4	Космическая биология и биотехнология	15	15
5	Технологии освоения космического пространства	14	8
6	Образование и популяризация космических исследований	5	4
Всего:		54	45

Экипаж отмечает выполнение новых девяти экспериментов по научной программе. Считаем целесообразным проведение в последующих экспедициях экспериментов и исследований, связанных с различными живыми организмами и растениями на борту станции.

По нашему мнению, программа научных экспериментов и исследований должна включать более 50 % рабочего времени экипажа для выполнения операций с полезной нагрузкой на РС МКС.



Рис. 7. Е.О. Серова во время проведения эксперимента

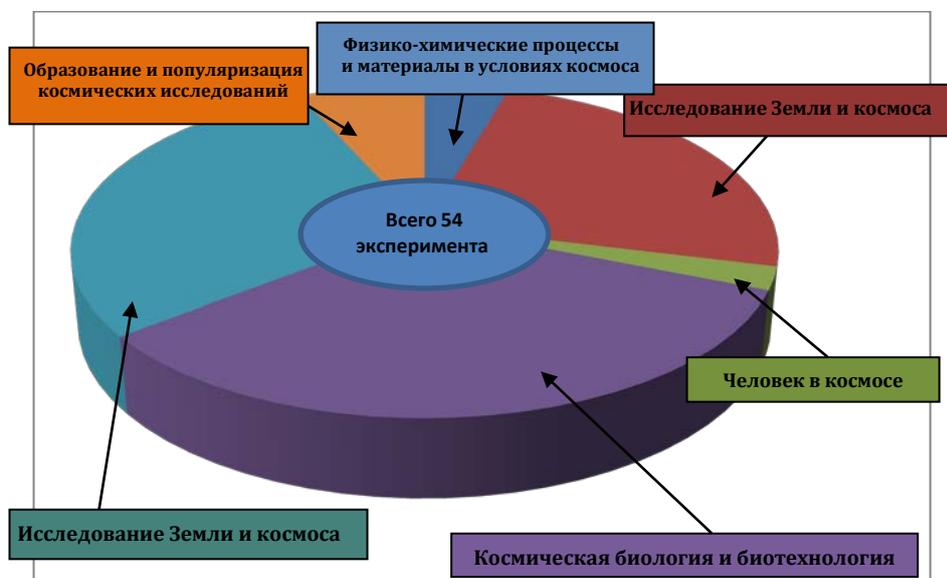


Диаграмма. Распределение космических экспериментов в полете МКС-41/42

Наибольшее количество экспериментов было проведено по направлениям «Космическая биология и биотехнология», «Технологии освоения космического пространства» и «Исследование Земли и космоса» (рис. 7).

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

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

Исследование Земли и космоса:

- ИКЛ-2 «БТН-2 – Нейтрон» (автомат);
- ГФИ-1 «Релаксация»;

- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ 11 «Обстановка»;
- ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;
- ГФИ-28 «Микроспутник» (автомат);
- ДЗЗ-17 «Напор-миниРСА»;
- ДЗЗ-14 «СВЧ-радиометрия» (демонтаж во время ВКД-40);
- КПТ-22 «Экон-М».

Человек в космосе:

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-19 «Виртуал»;
- МБИ-25 «Пародонт-2»;
- МБИ-29 «Иммуно»;
- МБИ-30 «Морзе»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работа с дозиметром «Пилле-МКС».

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-1 «Полиген»;
- БИО-2 «Биориск»;
- БИО-4 «Аквариум (этап «Аквариум-АQN»);
- БТХ-14 «Биосигнал»;
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БИО-19 «Феникс»;
- БТХ-6 «АРИЛ»;
- БТХ-10 «Конъюгация»;
- БТХ-14 «Биоэмульсия»;
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-39 «Асептик»;
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-45 «Биопленка» (фото);
- работы с термостатами ТБУ-В и «Криоген-03» для обеспечения выполнения биотехнических экспериментов.

Технологии освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (автомат);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);
- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-59 «Дальность» (автомат);
- ТЕХ-62 «Альbedo» (автомат);
- ТЕХ-64 «Пробой»;

- КПП-2 «Бар»;
- КПП-24 «Тест» (включая ВКД-40).

Образование и популяризация космических исследований:

- ОБР-4 «РадиоСкаф (автомат);
- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- ОБР-8 «Химия-Образование»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл».

Контрактные эксперименты:

- КНТ-36 «Expose-R» (включая ВКД-40).

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

- АСР-1 «SPHERES» – Zero Robotics»;
- АСР-2 «EarthKAM».

АСР-5 «Микробиологический мониторинг»:

Научные эксперименты в период полета экипажа МКС-41/42 выполнялись на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-41 и МКС-42».

Новые эксперименты:

- БИО-19 «Феникс»
- БТХ-45 «Биопленка» (фото);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-64 «Пробой»;
- ОБР-8 «Химия-Образование»;
- АСР-5 «Микробиологический мониторинг»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-30 «Морзе».

Заключение

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-41/42, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-41/42 по транспортному кораблю «Союз ТМА-14М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.
2. Полет экипажа МКС-41/42 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами из шести человек, в числе которых три космонавта Роскосмоса.
3. Высказанные экипажем в ходе полета и послеполетного разбора замечания и предложения целесообразно использовать заинтересованным организациям для совершенствования космической техники, повышения качества подготовки космонавтов и деятельности экипажа в ходе выполнения программы полета, организации работы персонала ГОГУ.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-41/42
(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-41/42. Дается краткая характеристика функционирования систем медицинского обеспечения полета и поддержания стабильности среды обитания космонавтов на РС МКС. Подведены итоги выполнения рекомендаций медицинских специалистов, программы медицинского контроля и использования бортовых средств профилактики нарушения состояния здоровья космонавтов в полете.

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

Medical Support of the ISS-41/42 Crew Members (Express Analysis).**V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-37/38 expedition and gives a brief description of operation of the medical support system and maintaining the stability of human environment aboard the ISS RS. Besides, the paper sums up results of implementing medical recommendations, program of medical monitoring and the use of onboard means designed to prevent the alteration of cosmonauts' health status in spaceflight.

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

Выполнение программы полета

25 сентября 2014 года в 23:24 ДМВ с 5-й пусковой установки 1-й площадки космодрома Байконур стартовые расчеты предприятий ракетно-космической промышленности России выполнили пуск ракеты-носителя «Союз-ФГ» с пилотируемым космическим кораблем «Союз ТМА-14М».

В составе экипажа: командир корабля и бортинженер-1 экспедиций МКС-41/42 космонавт-испытатель 3-го класса Роскосмоса Александр Михайлович Самокутяев; бортинженер-1 корабля и бортинженер-2 МКС-41/42 космонавт-испытатель Роскосмоса Елена Олеговна Серова; бортинженер-2 корабля, бортинженер-3 МКС-41 и командир МКС-42 астронавт НАСА Барри Юджин Уилмор. Позывной экипажа – «Тарханы».

Автономный полет корабля до стыковки проходил по короткой четырехвитковой схеме.

После выполнения маневров сближения 26.09.15 г. в 05:11 ДМВ была проведена стыковка ТПК № 714 с МКС штатно, в автоматическом режиме, ОПЛ – в 08:18 ДМВ. По прибытии экипажа на станцию функции БИ-1 были возложены на космонавта А. Самокутяева, БИ-2 – на космонавта Е. Серову и БИ-3 – на астронавта НАСА Барри Уилмора.

По оценке специалистов ГМО РТО экипажа ТПК «Союз» в первые сутки полета был напряженным в связи с выполнением сложной и ответственной динамической операции по стыковке. Общее время работы в этот день с момента старта с

учетом времени работ в ТПК и на станции составило у КК 13 часов, у БИ-1 и БИ-2 по 11–12 часов, период бодрствования после отдыха (сна) на Земле до отхода ко сну на МКС составил 20 часов.

После завершения работ на станции все космонавты были отправлены на отдых и сон с 09:00 (26.09.14 г.) до 06:00 GMT (27.09.14 г.) продолжительностью 21 час. Кроме того, 27 и 28.09.14 г. экипажу были запланированы дни отдыха. Согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 29.09.14 г. прибывшему экипажу стали планировать время по 1 часу на адаптацию и ознакомление со станцией за счет сокращения рабочей зоны.

С 06.10.14 г. БИ-1 и КЭ (М. Сураев) приступили к подготовке к предстоящей ВКД. С 13.10.14 г. рабочая зона у БИ-1 и БИ-2 была увеличена до нормативных величин – 6 часов 30 минут.

20.10.14 г. КЭ и БИ-1 провели тренировку в СК, которая прошла штатно, без замечаний. Перед ВКД экипажу планировались 2 полных дня отдыха.

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 всем космонавтам было предоставлено время для отдыха (сна) с 01:00 до 09:30 GMT продолжительностью 8,5 часа. В день выполнения ВКД РТО экипажа был напряженным, рабочая нагрузка у КЭ составила 12 часов 28 минут, у БИ-1 – 12 часов 48 минут, период бодрствования – 19,5 часа. Во время проведения ВКД БИ-2 находилась в объединенном объеме МИМ2 – ТПК № 714.

29.10.14 г. была проведена стыковка ТГК № 424 с МКС штатно в автоматическом режиме, стыковка проходила днем в рабочее время. В последующие дни после стыковки ТГК БИ-1 и частично БИ-2 занимались разгрузкой пришедшего «грузовика». 08.11.14 г. после завершения работ по укладке грузов в ТПК «Союз» № 713 экипаж МКС-40 произвел работы по расконсервации ТПК и укладке срочных грузов для возвращения на Землю.

24.11.14 г. в 05:48 состоялась стыковка ТПК № 715. После ОПЛ и перехода прибывших космонавтов на станцию количество членов экипажа МКС вновь увеличилось до шести человек. По завершении рабочих операций на станции всему экипажу было предоставлено время для отдыха и сна продолжительностью 20,5 часа (с 09:30 до 06:00 GMT 25.11.14 г.).

В последующие недели космонавты занимались разгрузкой ТГК № 424, монтажными и демонтажными работами, установкой накладных листов на панели интерьера ФГБ, научными экспериментами и другими работами.

На 17-й неделе (14–20.01.15 г.) РТО экипажа был напряженным в связи с возникновением на станции нештатных ситуаций и работой экипажа по их ликвидации.

14.01.15 г. утром в АС прошел сигнал «Токсичность». На РС МКС произошло отключение системы вентиляции и систем СОЖ. Кроме того, в модулях РС отмечалось срабатывание датчиков дыма. По анализу НС это было ложное срабатывание сигнализации. Тем не менее, все работы экипажа были отменены, физическими упражнениями также не занимались. Экипаж МКС занимался парированием выброса аммиака и приведением бортовых систем РС МКС в исходное состояние после нештатной ситуации. Время работы в этот день у космонавтов составило примерно по 12 часов.

16.01.15 г. вечером и 17.01.15 г. утром экипаж сообщил о неприятном запахе из ATV-5. Поиски очага запахов результатов не дали, космонавтам было рекомендовано прикрыть люк в ATV-5.

В соответствии с требованиями «Основных Правил и ограничений» с 26.02.15 г. рабочая зона у БИ-1 и БИ-2 сокращалась на 1 час, а это время (по 1 часу) выделялось космонавтам на подготовку к возвращению на Землю. На завершающем этапе полета (23–24-я недели) космонавты работали в условиях штатного РТО, т.е. сдвигов и других изменений РТО не предусматривалось. БИ-1 и БИ-2, в основном, занимались подготовкой и укладкой возвращаемого оборудования на ТПК № 714.

06.03.15 г. БИ-1 и БИ-2 (24-я неделя) провели тренировку по спуску на ТПК № 714. 10.03.15 г. была проведена церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на астронавта НАСА Терри Вёртса, кроме того, БИ-1 и БИ-4 был подписан акт о передаче смены по РС.

11.03.15 г. БИ-1 и БИ-2 продолжили работы по укладке грузов в ТПК № 714, в 01:42 ДМВ была осуществлена расстыковка ТПК № 714 от МКС. Посадка СА проведена 12.03.15 г. в 05:14 ДМВ. Таким образом, 167-суточный полет был завершен.

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

Общее полетное время экипажа составило 167 суток, из которых планировались 111 рабочих и 56 дней отдыха, из них 4 дня были неполными днями отдыха (отдых полдня).

Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у БИ-1 было 37, у БИ-2 – 45 полных дней отдыха, когда время работы не превышало двух часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-1 составила 64,5 часа, у БИ-2 – 53 часа. Фактически в дни отдыха БИ-1 на выполнение рабочих операций затратил 74 часа, БИ-2 – 75 часов. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-1 планировалось 74 часа, БИ-2 – 75 часов. Фактически на эти работы БИ-1 затратил 16,5 часа, БИ-2 – 29,5 часа.

Во время рабочей встречи с экипажем в ЦПК имени Ю.А. Гагарина 01.04.15 г. БИ-1 высказал пожелание, которое касается организации праздничных и выходных дней. БИ-1: «Не надо планировать выходные дни, когда у американцев рабочий день, а у нас выходной, то это означает у всех космонавтов рабочий день (6 человек). Надо предпринимать, чтобы дни отдыха были общими у всех».

БИ-2: «В рабочий режим вошла сразу по прибытии на станцию, проблем никаких не испытывала. Большим подспорьем было то, что М. Сураев и другие члены экипажа охотно помогали мне освоиться с жизнью и бытом на станции, знакомили с работой систем, агрегатов и другими вещами. Это мне очень помогало. В этом мне помогла и хорошая подготовка на высоком уровне к полету на Земле».

По поводу сна БИ-2 заметила: «Спать я ложилась вовремя, проблем со сном не было. Высыпалась нормально. Перед расстыковкой ТПК «Союз» сон был достаточен, подъем был запланирован поздно, на 11 часов. Нормально встали, ничего нам не мешало. Тем более что загрузка корабля (занимался Александр, в основном) была проведена своевременно, без сбоев. Перед ночными работами (расстыковка ТПК № 713 и др.) и после них удавалось высыпаться полностью, так как времени нам давалось достаточно...».

Относительно работ по Task List БИ-1 и БИ-2 отметили, что эти эксперименты очень интересны, вносят определенные положительные эмоции, помогают «скра-

силье жизнь» на станции во время полета. Время для их проведения находили за счет экономии времени на различные операции, быстрее выполняли плановые задания. В результате появлялось некоторое дополнительное время, которое космонавты успешно использовали для интересных экспериментов по программе Task List.

РТО экипажа по своей структуре и рабочей нагрузке в целом соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный, и, по мнению БИ-1, был приемлем для экипажа.

В отдельные периоды и дни полета, в силу ряда объективных причин, РТО был напряженным.

На начальном этапе полета (1-я неделя, 1-е сутки полета) напряженность была обусловлена выполнением сложной динамической операции по стыковке ТПК с МКС, увеличением времени на рабочие операции в этот день до 13 часов и увеличением продолжительности периода бодрствования до 20 часов.

Кратковременные периоды напряженности РТО (1–2 дня) в течение всего полета отмечались в дни, когда космонавты выполняли ответственные операции: ВКД-40, расстыковка ТПК № 713, стыковка ТПК № 715.

На заключительной неделе полета БИ-1 и БИ-2 выполнили большой объем работ по подготовке и укладке возвращаемых грузов и выполнению операции по спуску ТПК № 714 в ночное время.

Успешному выполнению программы полета во многом способствовали опыт и профессионализм БИ-1, приобретенные в предыдущем полете, оптимальная организация 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 радиопереговоров и докладам КК самочувствие членов экипажа транспортного корабля «Союз ТМА-14М» во время выведения и орбитального полета было хорошим.

Процесс адаптации к невесомости проходил без осложнений. Со слов БИ-1: «...мы понимали, как может развиваться нештатная ситуация с антенной...», поэтому в целях профилактики болезни движения БИ-1 и БИ-2 использовали по одной специальной таблетке из аптечки «БД». БИ-2 во время открытия люка и перехода на станцию чувствовала себя нормально, лишних и резких движений не делала. Изделие «Браслет» использовали после стыковки в течение дня. На следующий день БИ-1 и БИ-2 сообщили, что находятся без «Браслетов». БИ-1 сообщил: «...прекрасно себя чувствую, пока одевать не буду...»; БИ-2: «...честно говоря, я разницы не почувствовала, пульсации в голове нет, заложенности носа не ощущаю, вестибулярных расстройств нет...».

БИ-2 были даны рекомендации, что в случае развития симптомов болезни движения использовать лекарственные средства из аптечки «БД», использовать по необходимости изделие «Браслет», ограничивать двигательную активность и вращение головой, наблюдение за Землей из иллюминатора.

30.09.14 г. БИ-1 и БИ-2 жалоб на состояние здоровья не предъявляли, самочувствие было хорошим. Процесс адаптации к невесомости проходил без осложнений. Профилактическое изделие «Браслет» больше не использовали. Сон полноценный, время сна у БИ-1 и БИ-2 – 7 часов.

21.10.14 г. БИ-1 и БИ-2 жалоб на состояние здоровья не предъявляли, самочувствие хорошее. БИ-1 сообщил, что скафандры и перчатки подогнаны, медицинские укладки и дозиметры ИДЗ-МКС уложены в соответствии с радиограммой. Медицинских противопоказаний для выполнения работ по задачам ВКД-40 нет.

23.10.14 г. БИ-1 после ВКД жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Во время выполнения работ по внекорабельной деятельности свое самочувствие оценивал как хорошее. КЭ и БИ-1 сообщили, что температурный режим в скафандре был комфортный: «температура была нормальная, ..., ноги не мерзли». Ограничений в движении и дискомфорта при работе в скафандре не отмечали. После снятия скафандра при осмотре у БИ-1 повреждений кожи и наминов нет. Явлений общей мышечной усталости не отмечали.

03.03.15 г. жалоб на состояние здоровья не предъявляли, самочувствие было хорошее. Сообщали, что усталость, накопленная в течение дня, снимается ночным сном. БИ-1 обратил внимание, что такие работы как проверка герметичности скафандра «Сокол» и ОДНТ-тренировки необходимо разносить по времени, а не планировать подряд. Также обсуждался вопрос приема водно-солевых добавок перед спуском и своевременной укладки индивидуальных дозиметров «ИД-3МКС».

Перед посадкой у БИ-1 общее самочувствие было отличное, настроение деловое, внешне выглядел спокойным. У БИ-2 общее самочувствие было хорошее, настроение отличное, внешне выглядела бодрой. Довольна выполнением медико-биологических экспериментов. БИ-2 отметила, что времени для подготовки к возвращению на Землю выделяется достаточно.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Еженедельно экипаж проводил плановую уборку станции.

При отборах проб воздуха 08.11.14 г. и 09.03.15 г. пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиака не обнаружено.

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

28.09.14 г. при подготовке к эксперименту «Асептик» БИ-1 отметил большое количество пыли на панелях в месте размещения аппаратуры (за пан. 406 МИМ1).

19.11.14 г. при проведении работ по снижению количества хладона (фреон-218) в СКВ2 произошла утечка хладона в атмосферу СМ РС МКС. В связи с этим изменений в режиме работы СБМП не проводилось. Экипажу было рекомендовано взять пробу воздуха пробоотборником АК-1М-фреон.

19 и 21.11.14 г. проведен анализ атмосферы СМ на фреон с использованием анализатора ФИТ. По докладу БИ-2 концентрация фреона была ниже допустимых значений.

16.01.15 г. экипаж сообщил, что влажные полотенца вызывают аллергическую реакцию – кожный зуд. Вместо них используются сухие вафельные полотенца, смоченные водой, которых на борту РС МКС не осталось. Махровые полотенца для этих целей не годны из-за большого перерасхода воды, долго сушатся и могут вызвать, по заявлению БИ-1, ожог, так как хорошо держат тепло. Замечания по средствам гигиены приняты специалистами СОЖ.

17.01.15 г. БИ-1 сообщил, что из ATV-5 идет запах. Экипажу даны рекомендации при необходимости входа и работы в ATV-5 использовать противоаэрозольный респиратор и очки. Проведен отбор проб воздуха в ATV-5 анализатором АОК ГАНК-4М – метана, аммиака, окиси углерода, формальдегида, окислов азота, хлористого водорода, фтористого водорода и цианистого водорода не обнаружено.

Во время заключительного сеанса связи БИ-1 отметил, что после проведенных мероприятий «... у нас хорошо сейчас с запахом, никаких проблем нет».

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

Повышение температуры воздуха в основном отмечалось в периоды «солнечной» орбиты станции. Для снижения температуры воздуха в СМ СОТР переводилась в максимальный режим работы: включались в параллельную работу КОХ1 и КОХ2; РРЖ1 и РРЖ2 перенастраивались с 14 °С на 10 °С.

Жалоб на сухость воздуха от экипажа не поступало.

Для оптимизации влажностного режима периодически отключалась СКВ в РС.

Периодически проводились наддувы станции кислородом, воздухом и азотом из ТГК и ATV5.

12.01.15 г. БИ-1 сообщил о срабатывании датчика дыма в ФГБ. По докладу экипажа признаков возгорания не было, показания CSA-CP в норме. Срабатывание датчика расценено как ложное.

14.01.15 г. по докладу экипажа в модуле NODE 2 в 08:49 GMT получено сообщение аварийно-предупредительной сигнализации «Токсичная атмосфера» с дальнейшим отключением бортовых систем МКС. Экипаж изолировал АС и провел замеры проб атмосферы на аммиак – показания на РС МКС норма. Бортовые системы РС МКС были приведены в исходное состояние. После совместного решения ЦУПов о возможности входа в американский сегмент в 20:05 GMT экипажу было рекомендовано надеть аварийные маски, открыть люк ГА-РМА1 и взять пробы атмосферы в NODE 2 – присутствие аммиака в составе атмосферы АС не обнаружено. По заключению специалистов ЦУПа-Х причиной аварийной ситуации явился сбой программного обеспечения MDM2 в NODE 2. После проведенного анализа ситуации и необходимых восстановительных мероприятий системы АС включены в штатную работу.

БИ-1 спал в каюте NODE 2 по верхней плоскости, БИ-2 – в каюте по правому борту СМ. 10.11.14 г. БИ-2 переселилась в левую каюту СМ.

БИ-1 и БИ-2 во время сна использовали беруши и наушники с активным шумоподавлением.

Замечаний по СЛГ не было. БИ-1 и БИ-2 рекомендовалось при работе по укладке возвращаемого оборудования пользоваться хлопчатобумажными перчатками и надевать футболку с длинным рукавом.

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 у БИ-1 и БИ-2 аппетит хороший, водопотребление в норме.

27.09.14 г. у БИ-1 и БИ-2 аппетит хороший, изменения вкуса не отмечают. Во время полета на корабле использовали соки «Тетра Брик» и перекусили продуктами из суточного рациона питания.

04.11.14 г. БИ-1 сообщил, что свежие овощи и фрукты на ТК № 424 пришли в хорошем состоянии.

24.02.15 г. сообщили, что доставленные грузовым кораблем свежие овощи и фрукты пришли в хорошем состоянии, за исключением апельсинов. Половина апельсинов была испорчена. Также сообщили, что присланные продукты промышленного производства не совпадают с теми пожеланиями, которые были высказаны космонавтами на этапе формирования состава контейнеров.

На заключительном этапе полета аппетит был хороший, воду употребляли в достаточном количестве. БИ-2 отмечала повышенную соленость отдельных продуктов в рационе питания и нехватку соусов.

Результаты акустических измерений

Проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы Noise Pro).

Места сна российских членов экипажа:

БИ-1 (А.М. Самокутяев) – верхняя каюта NODE 2;

БИ-2 (Е.О. Серова) – левая каюта СМ.

Анализ полученных данных по российским членам экипажа на заключительном этапе полета показал, что шумовая нагрузка у всех превышала предельно допустимый уровень (ПДУ):

– за дневной период времени на 6,8–9,7 дБА;

– за ночной период времени превышение выявлено на 14,2–15,7 дБА.

Сравнение данных по шумовой нагрузке у российских членов экипажа с предыдущими измерениями показало:

– за дневной период времени снижение шумовой нагрузки имеет место у всех членов экипажа на 1–3 дБА;

– за ночной период времени снижение шумовой нагрузки наблюдалось только у БИ-1 на 6,9 дБА (спал в верхней каюте NODE 2), а у БИ-2 превышение допустимых уровней шумовой нагрузки осталось практически прежним (14,2–15,7 дБА).

Измерение эквивалентного уровня шума в СО1 после замены вентиляторов в феврале 2015 года показало, что уровень шума не превышает нормативные значения и за дневное и за ночное время (59,2 – 59,4 дБА).

Давались рекомендации по снижению акустической нагрузки:

1. Использовать средства индивидуальной защиты слуха (беруши или наушники с активным подавлением шума) при работе в местах расположения шумящего оборудования.

2. В связи с превышением допустимых значений акустической нагрузки на период сна необходимо закрывать дверь каюты и использовать средства индивидуальной защиты слуха.

Радиационная обстановка в РС МКС

За время полета РО внутри станции в основном оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у членов экипажа не превышала допустимых значений доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и ГОСТ 25645.215-85.

Во время частных медицинских конференций российского врача экипажа БИ-1 и БИ-2 сообщили, что свои индивидуальные дозиметры «ИДЗ МКС» с корабля забрали, разместили в своих каютах.

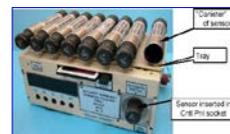
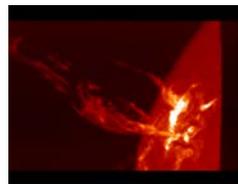
Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС».

Во время выполнения ВКД (22.10.14 г.) проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «ПИЛЛЕ-МКС».

Были использованы следующие датчики: АО309 находился в скафандре КЭ (МКС-41), АО310 находился в скафандре БИ-1, АО307 находился на подносе пульта Пилле в СМ.

Измеренная поглощенная доза по всем датчикам не превышала допустимых значений.

03.03.15 г. БИ-1 и БИ-2 сделано напоминание о своевременной укладке индивидуальных дозиметров «ИД-3МКС».



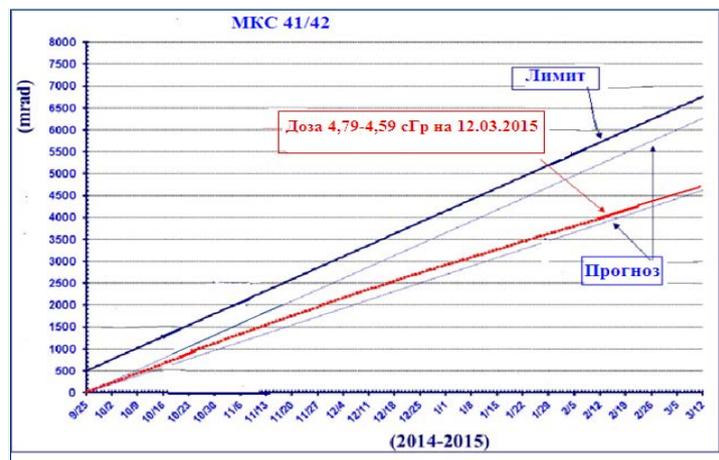
Дозиметр Пилле



Радиометр Р-16



ИДЗ-МКС



Результаты радиационного мониторинга МКС-41/42

Система профилактики в полете

БИ-1 и БИ-2 с 27 по 29.09.14 г. планировалось ознакомление с бортовыми тренажерами и процедурами выполнения физических тренировок.

30.09.14 г. выполнили по одной тренировке (ВБ-3М).

С 01.10.14 г. физические тренировки планировались по российской программе два раза в день (периодически блоком) общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2/Т2 и ВБ-3М/ARED с чередованием.

В период с 06 по 09.10.14 г. в связи с неисправностью ARED использовался в ограниченном режиме (только упражнения Core; упражнения Main Arm были запрещены).

10.10.14 г. проведены ремонтно-восстановительные работы, после чего было разрешено использование тренажера в полном объеме.

С 16.02.15 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов планировались двухразовые тренировки на беговой дорожке (БД-2/Т2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED и ОДНТ-тренировки (с 24.02.15 г.).

Профилактическое изделие «Браслет-М» использовали в течение дня после стыковки.

02.03.13 г. (158 сутки полета) примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-1, БИ-2 проведена без замечаний.

По ежедневным докладам экипажа ФТ выполнялись в полном объеме.



Физические тренировки

БИ-1 работал по большей части на Т-2, БД-2, и его тренировки выполнялись, чаще всего, по личным протоколам. Уровень физической работоспособности на протяжении всего полета оценивался как хороший. Трудности и малое количество работы на тренажере БД-2 в пассивном режиме определялось конструктивными особенностями Т-2, где переход с одного режима на другой, с локомоторного на пассивный, сопряжен с определенными трудностями. Большое внимание уделялось уровню тренированности и использованию средств профилактики БД-2. Но, как показал полет, тренировки у БИ-2 были достаточно грамотные и локомоторные тренировки на достаточном уровне для того, чтобы поддерживать удовлетворительный и хороший уровень тренированности. Структуры локомоторных тренировок были достаточно грамотные и соответствующие.

Оценка уровня физической тренированности и занятий на ARED показала средние рекомендованные нагрузки. БИ-1 некоторые упражнения делал больше, чем ему рекомендовалось, а БИ-2 меньше. Тем не менее, уровень физической работоспособности в полете и на месте приземления был оценен как удовлетворительный.

Медико-биологические эксперименты

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



Медико-биологические эксперименты в период МКС-41/42

МБИ-13 «Спланх» БИ-1: 24.12.14; 17.02.15; БИ-2: 23.12.14; 26.02.15.
МБИ-19 «Виртуал»: БИ-1: 28.09.14; 02.10.14; 10.10.14; 29.10.14; 28.11.14;
26.12.14; 27.01.15; 26.02.15; БИ-2: 27.09.14; 30.09.14; 10.10.14; 24.10.14; 26.11.14;
26.12.14; 26.01.15; 25.02.15.
МБИ-25 «Пародонт-2»: 09.03.15 (БИ-1).
МБИ-29 «Иммуно»: БИ-1: 28.10.14; 25.02.15; БИ-2: 29.10.14; 27.02.15.
МБИ-30 «Морзе»: БИ-1: 03-04.11.14; 14-15.02.15; 18-19.02.15;
БИ-2: 04-05.11.14; 04-05.03.15.
МБИ-31 «Кардиовектор»: БИ-1: 03.10.14; 03.12.14; 02.01.15; 03.02.15;
04.03.15; БИ-2: 02.10.14; 01.12.14; 02.01.15; 04.02.15; 02.03.15.
МБИ-33 «Биокард»: БИ-1: 31.10.14; 17.12.14; 12.02.15; БИ-2: 28.10.14;
17.12.14; 12.02.15.

Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-41/42 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

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

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
ОПЛ – открытие переходного люка
РТО – режим труда и отдыха
СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности
СОГС – средства обеспечения газовой среды
СТР – система терморегуляции
ФГБ – функциональный грузовой блок

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 61:629.78.007

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ НА ПРОБУ С ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева,
Т.Г. Шушунова, А.В. Абоимов, С.А. Горбачева

Канд. мед. наук В.Ф. Турчанинова; канд. мед. наук И.В. Алферова;
В.В. Криволапов; Е.Г. Хорошева; Т.Г. Шушунова; А.В. Абоимов; С.А. Горбачева
(ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

В статье представлены результаты сравнительного анализа проб с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре, полученные у одной группы космонавтов с соблюдением единой методики в объеме «штатного» динамического (в течение рабочего дня космонавтов) на всем протяжении полета и «экспертного» (нередко с измененным режимом труда и отдыха) перед внекорабельной деятельностью медицинского контроля. В обоих случаях отмечались идентичные механизмы формирования ответных реакций, характерные для условий микрогравитации, отсутствие значимых различий абсолютных величин и относительных изменений основных показателей центральной гемодинамики. В итоге объективно показана возможность проведения проб с дозированной физической нагрузкой как «экспертных» в условиях инвертированного режима труда и отдыха космонавтов, что чрезвычайно важно для оценки их работоспособности и допуска к внекорабельной деятельности, поскольку на этапе подготовки и непосредственно в открытом космосе экипаж работает нередко утром, вечером и даже в ночное время и всегда с пролонгированным рабочим днем.

Ключевые слова: космонавт, сердечно-сосудистая система, проба с дозированной физической нагрузкой, медицинский контроль, внекорабельная деятельность, режим труда и отдыха.

Comparative Analysis of the Cosmonauts Cardiovascular System Reaction to the Exercise Test. V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.V. Aboimov, S.A. Gorbacheva

The paper presents the results of a comparative analysis of graded physical exercises (on a cycle ergometer) obtained from a group of cosmonauts in compliance with the uniform methodology of the "routine" dynamic (during the working day of cosmonauts) medical control throughout the flight and the "expert" (often with the changed work-rest schedule) medical control prior to the extravehicular activity. In both cases, there were identical mechanisms of the development of responses, specific to microgravity conditions, the lack of significant differences in the absolute values and relative changes in the main indicators of central hemodynamics. As a result, the possibility to conduct graded physical testing of cosmonauts as an "expert" evaluation under the inverted work-rest schedule has been objectively validated what is extremely important for the evaluation of their performance and extravehicular activity authorization, since during the preparation stage and directly in outer space a crew often works in the morning, evening or even in night and always under a prolonged working day.

Keywords: cosmonauts, cardiovascular system, graded physical stress tests, medical control, extravehicular activity, work-rest schedule.

Введение

Внекорабельная деятельность (ВКД) во время полета является одной из важных составляющих профессиональной деятельности участников космических миссий. Выполнение многочисленных операций в открытом космосе позволяет ответить на ряд научных и технических вопросов, решение которых необходимо для обеспечения безопасности длительного функционирования пилотируемых космических объектов и, следовательно, безопасности космонавтов.

В целях сохранения нормального состояния здоровья и поддержания высокого уровня работоспособности космонавтов во время ВКД была разработана и успешно апробирована в длительных космических полетах (КП) многоэтапная система и методы подготовки ее медицинского сопровождения [5, 9, 10]. В частности, согласно российскому протоколу для допуска космонавтов к предстоящей работе за 7–10 суток до ВКД предусмотрена комплексная оценка функционального состояния их сердечно-сосудистой системы (ССС) и работоспособности, в том числе по результатам пробы с дозированной физической нагрузкой (ДФН) на велоэргометре [9, 10], которая применяется на всем протяжении пилотируемой космонавтики [1–3, 6–8, 11–14] и входит в структуру «штатного» динамического медицинского контроля (ШМК) состояния здоровья космонавтов и выполняется в течение их рабочего времени (рабочей зоны) при соблюдении характерного для экипажа режима труда и отдыха (РТО).

Организационно-методические особенности проведения проб с ДФН перед ВКД состоят в соблюдении одновременно двух обязательных условий: сроков их реализации по отношению к предстоящей работе и наличием технических возможностей получения в режиме онлайн по каналам телеметрической связи (ТМ-связи) физиологической информации, необходимой для оперативного контроля непосредственно во время нагрузки состояния космонавта с целью обеспечения его безопасности. Перечисленные требования соблюдались неукоснительно, и в итоге пробы перед ВКД проводились в различное время суток (рано утром, днем, вечером, иногда даже в ночное время). Такие условия не согласуются с общепринятыми требованиями для выполнения аналогичных тестов и в то же время полностью соответствуют реальной действительности. Опыт медицинского сопровождения ВКД с борта отечественных станций показал, что работа экипажа на этапах подготовки, непосредственно ВКД и заключительных операций часто сочеталась с пролонгированным рабочим днем и инвертированным РТО и, следовательно, нарушением привычного суточного ритма работы экипажа. В большинстве случаев (до 60 %) космонавты работали в утренние, вечерние и ночные часы [9, 10]. Принимая во внимание, что пробы с ДФН перед ВКД являются «экспертными» (экспертный медицинский контроль – ЭМК), для оценки работоспособности и допуска космонавтов к предстоящей работе специалистам по медицинскому контролю (МК) чрезвычайно важно объективное подтверждение корректности их результатов, учитывая, как отмечено выше, условия проведения обследования.

Цель настоящей работы

Целью настоящей работы является сравнительный анализ реакции сердечно-сосудистой системы космонавтов на пробу с физической нагрузкой на велоэргометре при «штатном» динамическом и «экспертном» перед внекорабельной деятельностью медицинском контроле во время длительных полетов.

Методика

Объект исследования – результаты 92 проб с ДФН на велоэргометре, выполненных 19 космонавтами в возрасте 35–52 (в среднем $45 \pm 1,06$) лет, у которых во время длительных полетов (163–199 суток) на Международной космической станции (МКС) проводились оба вида обследования: ШМК ($n = 30$) в интервале от 14 до 157 ($73 \pm 8,22$) суток и ЭМК ($n = 26$) – от 19 до 159 ($95 \pm 7,29$) суток.

Во всех обследованиях применялась единая методика, внедренная в программу МК состояния здоровья космонавтов, начиная с полета 9-й основной экспедиции орбитальной станции (ОС) «Мир» с использованием штатной аппаратуры «Гамма-1М» и бортового велоэргометра (до полета – их аналогов) [13]. Выполнялась постепенно возрастающая нагрузка мощностью 125 W, 150 W и 175 W по 3так *мин* каждого режима при скорости педалирования 60 *об./мин*. Регистрировали: ЭКГ в отведении DS на всем протяжении пробы (до, во время и после нагрузки), артериальное давление (АД) по методу Короткова до, на 3-й минуте каждой ступени нагрузки и в восстановительном периоде (ВП), реоплетизмограмму (РПГ) туловища в отведении «рука–рука» до и после нагрузки. Анализировали: частоту сердечных сокращение (ЧСС), систолическое артериальное давление (АДмакс.), ударный объем сердца (УО), рассчитанный по РПГ с использованием формулы А.А. Кедрова, и минутный объем кровообращения (МОК) [2, 11–14]. Динамику показателей в ВП прослеживали в течение трех минут, поскольку во время полета продолжительность телеметрического (ТМ) сеанса была ограничена техническими возможностями ТМ-связи.

Полученные во время полета результаты анализировали дифференцированно для ШМК и для ЭМК с дальнейшим их сопоставлением с предполетными для этой же группы космонавтов ($n = 30$) и между собой. С применением метода вариационной статистики рассчитывали средние значения (М) показателей, относительные изменения (Δ в % – разница показателя по отношению к исходной, до пробы, величине), стандартную ошибку (m) средних величин каждого показателя. Результаты обработаны методом вариационной статистики с определением t-критерия по Стьюденту.

Результаты и их обсуждение

В условиях относительного покоя до и во время полета все анализируемые показатели находились в пределах физиологической нормы (табл.).

Таблица

Гемодинамические показатели в условиях покоя до и во время полета

	ЧСС (сокр./мин)	УО (мл)	МОК (л/мин)	АДмакс. (мм рт. ст.)
До полета				
Вся группа	$63 \pm 1,60$	$121,7 \pm 3,06$	$7,43 \pm 0,2726$	$120 \pm 1,61$
ПОЛЕТ				
ШМК	$72^* \pm 1,75$	$115,0 \pm 3,59$	$7,88 \pm 0,2874$	$124 \pm 1,71$
ЭМК	$69^{**} \pm 1,60$	$112,3 \pm 3,98$	$7,58 \pm 0,2874$	$122 \pm 1,99$
до полета – ШМК в полете	$p < 0,002$			
до полета – ЭМК в полете	$p < 0,02$			

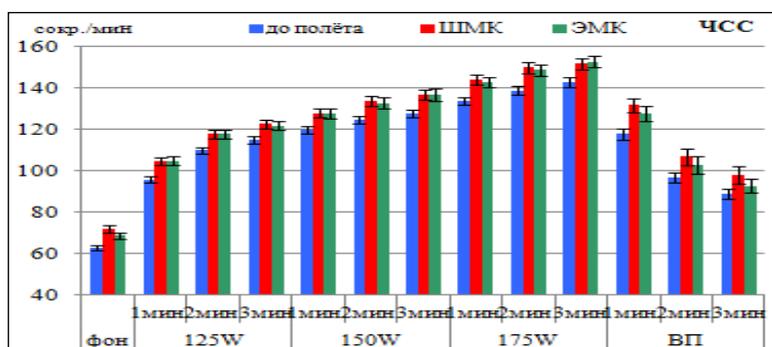
* – $p < 0,002$

** – $p < 0,02$

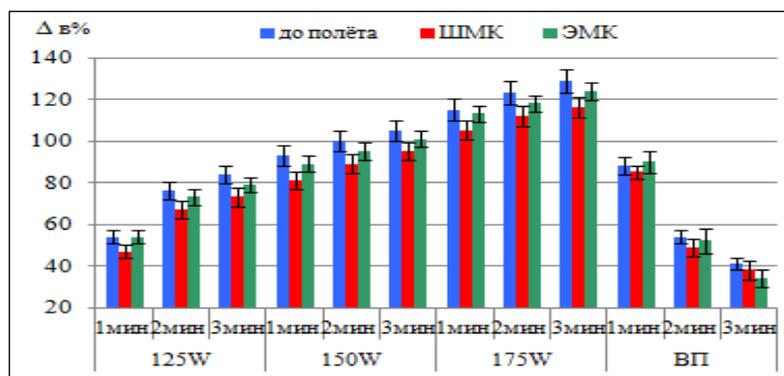
В полете и перед ШМК, и перед ЭМК абсолютные величины всех показателей не различались между собой. При этом ЧСС превышала предполетные величины, в то время как УО, МОК и АДмакс. от них практически не отличались, что характерно для условий микрогравитации [4, 8, 12, 13].

Работа на велоэргометре до и во время полета сопровождалась закономерным для физической нагрузки статистически достоверным увеличением ЧСС (рис. 1), МОК (рис. 3), АДмакс. и различной до и во время полета реакцией УО (рис. 2).

В полете и при ШМК, и при ЭМК по сравнению с результатами проб до полета выявлены следующие закономерности. ЧСС на всем протяжении нагрузки достоверно ($p < 0,05 - 0,02$) превышала предполетные величины максимально на 6–7 % (рис. 1, а). Именно ЧСС во время нагрузки, согласно «Инструкции по оценке физической работоспособности операторов для допуска к выполнению операции «В», является основным показателем при оценке переносимости проб перед ВКД, максимальная величина которой не должна превышать предполетную более чем на 20 %. Разница в относительной динамике (Δ в %) не достоверна (рис. 1, б).



а)



б)

Рис. 1. Средние значения абсолютных величин ЧСС (а), их относительная динамика в Δ % (б) и стандартная ошибка (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до полета, во время ШМК и ЭМК в длительных космических полетах (фон – до нагрузки; 125 W 1 мин и т.д. – величина нагрузки и время педалирования; ВП 1 мин и т.д. – минуты восстановительного периода)

Видоизменялась реакция УО: в полете на 1-й мин ВП он статистически значимо ($p < 0,001$) уменьшался с последующей тенденцией к возвращению к исходному уровню, до полета – увеличивался с максимальным приростом на 2-й мин ВП (рис. 2, б). Абсолютные величины УО были статистически достоверно ($p < 0,001$) меньше предполетных (рис. 2, а). В результате изменялся механизм формирования МОК с преобладание хронотропной функции сердца и усилением прессорных реакций. При этом статистически достоверно уменьшались абсолютные величины и относительный прирост МОК (рис. 3, а, б).

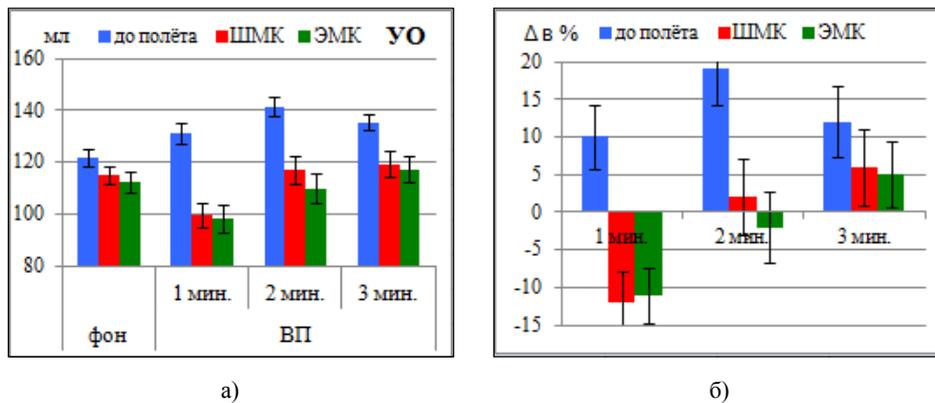


Рис. 2. Средние значения абсолютных величин УО (а), их относительная динамики в % (б) и стандартная ошибка (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до полета, во время ШМК и ЭМК в длительных космических полетах (фон – до нагрузки; ВП 1 мин и т.д. – минуты восстановительного периода)

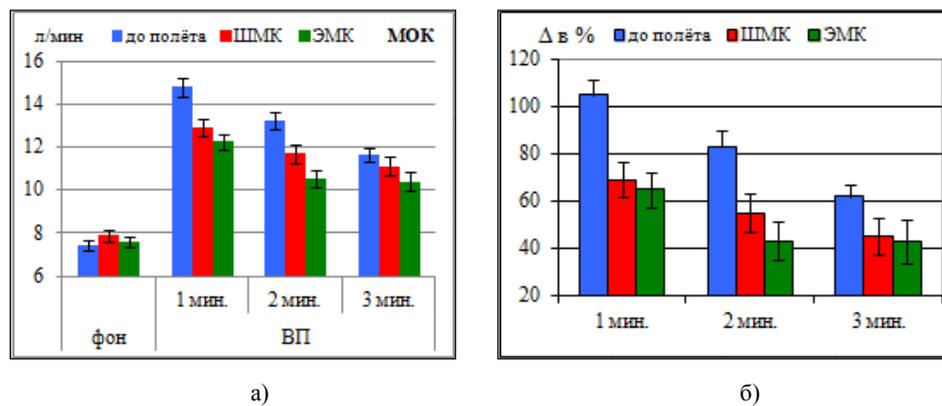


Рис. 3. Средние значения абсолютных величин МОК (а), их относительная динамика в Δ% (б) и стандартная ошибка средних величин (I) при проведении пробы с ДФН на велоэргометре до полета и во время ШМК и ЭМК в длительных космических полетах

Отсутствовали различия в относительной динамике АД_{макс}. (Δ в % равнялась до полета $70 \pm 2,78$, при ШМК – $63 \pm 3,21$, при ЭМК – $64 \pm 4,28$) и его величинах на высоте нагрузки (соответственно $201 \pm 3,26$ мм рт. ст., $203 \pm 4,23$ мм рт. ст. и $199 \pm 4,84$ мм рт. ст.).

Все выявленные особенности реакции ССС на нагрузку на велоэргометре характерны для условий полета и отмечались при аналогичных обследованиях на ОС «Салют – 6», «Салют – 7», «Мир» и МКС [11–13].

Сравнительный анализ результатов проб по программе ШМК и ЭМК показал отсутствие значимых различий абсолютных величин показателей функционального состояния ССС и их относительной динамики.

Выводы:

1. Результаты проб с ДФН на велоэргометре, проведенных во время длительных полетов в рамках ШМК (преимущественно в течение рабочего дня космонавтов) и ЭМК перед ВКД (нередко в условиях измененного РТО) не выявили различий в реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку и характерны для условий микрогравитации.

2. Объективно подтверждена возможность проведения в условиях инвертированного РТО проб с ДФН на велоэргометре как «экспертных» перед ВКД для оценки работоспособности космонавтов и допуска их к предстоящей ВКД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Результаты медицинского контроля состояния здоровья экипажей ОС «Мир» / Алферова И.В., Криволапов В.В., Лямин В.Р. и др. // Орбитальная станция «Мир» / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 249–258.
- [2] Анализ и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в длительных космических полетах / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. // Физиология человека. – 2003. – Т. 29. – № 6. – С. 5–11.
- [3] Мониторинг состояния здоровья космонавтов в полетах на МКС / Алферова И.В., Криволапов В.В., Турчанинова В.Ф., Хорошева Е.Г. // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2011. – С. 51–62.
- [4] Атьков О.Ю., Бедненко В.С. Гипокинезия и невесомость. Клинические и физиологические аспекты / Отв. ред. О.Г. Газенко. – М: Наука, 1989 – С. 303.
- [5] Медицинское обеспечение работы космонавтов в открытом космическом пространстве / Барер А.С., Вакар М.И., Филиппенков С.Н. и др. // Физиологические проблемы невесомости / Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 179–197.
- [6] Исследования биоэлектрической активности миокарда / Голубчикова З.А., Алферова И.В., Лямин В.Р., Турчанинова В.Ф. // Орбитальная станция «Мир» / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 276–282.
- [7] Результаты исследования гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла космонавтов в длительных полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Касьян И.И. и др. // Физиологические исследования в невесомости / Под ред. П.В. Симонова, И.И. Касьяна – М.: Медицина, 1983. – С. 82–100.
- [8] Исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы в длительных космических полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Алферова И.В. и др. // Физиологические проблемы невесомости / Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 70–93.
- [9] Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности космонавтов / Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Гноевая Н.К. и др. // Орбитальная станция «Мир» / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 482–499.

- [10] Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности / Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Барер А.С. и др. // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2011. – С. 196–213.
- [11] Реографические исследования в невесомости / Турчанинова В.Ф., Касьян И.И., Домрачева М.В. // Физиологические исследования в невесомости / Под ред. П.В. Симонова, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1983. – С. 100–124.
- [12] Особенности центрального и регионарного кровообращения в кратковременных и длительных космических полетах / Турчанинова В.Ф., Домрачева М.В., Касьян И.И. и др. // Физиологические проблемы невесомости / Под ред. О.Г. Газенко, И.И. Касьяна. – М.: Медицина, 1990. – С. 93–123.
- [13] Реакция сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Голубчикова З.А. // Орбитальная станция «Мир» / Гл. ред. А.И. Григорьев. В 2-х томах. Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 282–295.
- [14] Зависимость функционального состояния системы кровообращения от возраста космонавтов по результатам проб с физической нагрузкой на велоэргометре / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Криволапов В.В., Беляев А.П. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2010. – Т. 44. – № 5. – С. 8–13.

УДК 629.78

ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ЗАДАЧ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАБОТЫ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ

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

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

Рассмотрен подход к обоснованию задач для робототехнических систем, предназначенных для работы в открытом космосе. Разработанный подход применен к операциям внекорабельной деятельности космонавтов. На основе подхода проведено распределение функций между робототехнической системой и космонавтом при выполнении операций внекорабельной деятельности.

Ключевые слова: робототехническая система, внекорабельная деятельность, космонавт, космическая станция.

Approach to Reasoning the Tasks for Robotic Systems During Extravehicular Activity. P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy

The paper considers an approach to reasoning the tasks for robotic systems designed to operate in open space. The developed approach is applied to the extravehicular operations of cosmonauts. It is taken as a basis for function distribution between a robotic system and a cosmonaut during extravehicular activity.

Keywords: robotics system, extravehicular activity, cosmonaut, space station.

Одним из бурно развивающихся направлений науки и техники является робототехника. Большое количество коллективов, конструкторских бюро, специализированных институтов создают роботов различного назначения. Многие из этих организаций, достигнув каких-либо результатов, пытаются внедрить свои разработки в космической отрасли, в частности, на пилотируемых космических аппаратах (ПКА). Однако эти предложения не находят должной поддержки со стороны специалистов, занимающихся подготовкой космонавтов к конкретной деятельности на борту ПКА.

Одной из причин такого положения дел является некорректная формулировка задач, которые должны решать роботы на борту ПКА. Разработчики роботов возлагают на свои творения самые различные задачи. Но это не находит понимания у специалистов в области космонавтики. Для улучшения ситуации в этом направлении необходимо корректно сформулировать задачи, которые возможно возложить на роботов. Решение этой задачи может быть осуществлено на основе подхода, основанного на целевом предназначении робототехнической системы (РТС) [1], в соответствии с которым робот проектируется именно для выполнения конкретного класса целевых задач с исполнительными органами, спроектированными под конкретные действия и операции, выполняемые роботом в конкретных условиях. Телеоцентрический подход является модификацией системного подхода, для которого целевое предназначение разрабатываемой системы выходит на первый план.

Целью создания робототехнической системы является облегчение труда космонавтов в процессе внекорабельной деятельности (ВКД), расширение спектра задач, которые могут выполняться в космосе, повышение качества решаемых задач.

РТС и космонавт в процессе решения задач ВКД составляют единую эргатическую систему. Данная система должна выполнять возложенные на нее функции,

оптимизируя принятые показатели эффективности. По показателям энергозатрат внекорабельная деятельность относится к тяжелому и напряженному труду в экстремальных условиях.

Согласно [2] 50 % выполняемых операций во время ВКД по средним значениям показателей энергозатрат относятся к работам средней тяжести категории II и 50 % – к тяжелым физическим работам, а если учитывать верхние границы оценок энергозатрат, то только 12 % выполняемых операций во время ВКД относятся к работам средней тяжести категории II и 88 % – к тяжелым физическим работам. Поэтому снижение нагрузки на космонавтов и сокращение времени проведения работ в открытом космосе позволит облегчить труд космонавтов.

Снижение нагрузки на космонавтов может быть обеспечено за счет возложения на РТС наиболее энергозатратных операций. Сокращение времени нахождения космонавтов в скафандрах в открытом космосе может быть обеспечено за счет организации работы рассматриваемой эргатической системы, применяя последовательное или параллельное выполнение работ или относительно самостоятельных операций разными частями системы.

Исходя из этого, анализ выполняемых работ и операций в процессе ВКД и распределение функций между космонавтом и робототехнической системой целесообразно проводить с точки зрения следующих положений:

- целесообразность возложения конкретной операции на робота;
- возможность РТС выполнить операцию ВКД при существующем техническом уровне оборудования российского сегмента Международной космической станции (РС МКС);
- снижение энергозатрат космонавта при выполнении операции роботом;
- сокращение времени работы космонавта в открытом космосе.

На основе данного подхода проведен анализ выполняемых задач и операций применительно к внекорабельной деятельности космонавтов.

Во время выходов в открытый космос на МКС за время ее создания и эксплуатации [3, 4] проводились следующие виды работ:

- работы по программе научно-прикладных исследований;
- работы по дооснащению станции – монтажные работы;
- работы по устранению отказов систем и оборудования – ремонтно-восстановительные работы;
- работы по фотографированию оборудования и инспекции состояния внешней поверхности и локальных областей МКС.

Анализ каждого выхода показывает, что по циклограмме ВКД космонавты выполняют следующие операции:

- открытие выходного люка, установка защитного кольца, выход из стыковочного отсека;
- вынос укладок из стыковочного отсека;
- переход по поручням к требуемому месту работы (в том числе транспортировка укладок с оборудованием и инструментом);
- перемещения с помощью грузовой стрелы ГСт-М (в том числе транспортировка укладок с оборудованием и инструментом);
- выполнение различных целевых задач;
- выполнение научных экспериментов;
- дооснащение РС МКС;
- ремонтно-восстановительные работы;

- фотографирование результатов выполненных работ;
- инспекция внешней поверхности МКС;
- перенос укладок к выходному люку;
- внос укладок в стыковочный отсек;
- вход в стыковочный отсек, закрытие выходного люка.

Рассмотрим эти операции.

1. Открытие выходного люка является операцией, которая завершает процесс шлюзования. Для выполнения этой операции космонавт должен проконтролировать показания датчиков давления и выполнить несколько действий – вращение рукоятки с определенной скоростью, открытие люка, осмотр поверхности, раскладка кольца, фиксация кольца. Эту операцию возможно автоматизировать, но возлагать ее на РТС нецелесообразно, потому что пространство в стыковочном отсеке ограничено и размещение в нем дополнительно к космонавтам РТС проблематично.

Типовую операцию «Открытие выходного люка, установка защитного кольца, выход из стыковочного отсека» должен выполнять космонавт.

2. Вынос укладок из стыковочного отсека осуществляется во время каждого выхода. В данной операции задействованы два космонавта: первый подает укладки из стыковочного отсека, а второй принимает их и размещает на поручнях в районе выходного люка. После выноса укладок первый космонавт выходит из стыковочного отсека. В различных выходах космонавты выносили до 10 единиц оборудования и снаряжения, скомпонованных в несколько укладок, что требует довольно значительных затрат времени. Однако при существующем подходе к организации выхода нецелесообразно операцию выноса укладок возлагать на РТС, так как в ограниченном пространстве выходного отсека космонавт и РТС не смогут работать вместе.

Целесообразно организовать автономную работу РТС, которая до начала работы космонавта самостоятельно, автономно, выводит укладки из специальных шлюзовых отсеков (камер) и размещает их на внешней поверхности станции вблизи от мест выполнения работ. Это позволит сократить время выхода космонавта и снизить энергозатраты космонавта на выполнение данной операции.

3. Переход по поручням к требуемому месту работы или транспортировка укладок с оборудованием и инструментом осуществляется для перемещения космонавта к месту работы и переносу всего требуемого оборудования и инструмента. Операция «Переход по поручням к требуемому месту работы» по сравнению с операцией «Переход и транспортировка укладок с оборудованием и инструментом» является менее трудоемкой и занимает в 2–3 раза меньше времени. К примеру, в осуществленных выходах первая операция занимала в среднем 8 минут, а вторая – 19.

Операцию «Транспортировка укладок с оборудованием и инструментом» целесообразно возложить на РТС, что позволит сократить время на переход космонавта и снизить энергозатраты космонавта.

4. Перемещение с помощью грузовой стрелы ГСт-М (в том числе транспортировка укладок с оборудованием и инструментом). Работа с грузовой стрелой включает в себя 17 типовых операций, которые разработаны исходя из особенностей конструкции грузовой стрелы и условий управления ею космонавтом в скафандре. Возложение на РТС операций по работе с грузовой стрелой нецелесообразно. Так как грузовая стрела фактически является манипулятором с ручным управлением, то желательно разработать робот-манипулятор, а не возлагать на РТС задачи управления ручным манипулятором.

5. После подхода к месту выполнения работы космонавт приступает к решению целевых задач выхода.

По программе научно-прикладных исследований космонавты выполняют следующие работы:

- устанавливают приборы для проведения научных исследований;
- осуществляют периодическую смену экспонируемых образцов;
- осуществляют запуск малых космических аппаратов.

5.1. Установка приборов требует выполнения тонкокоординированных действий по креплению приборов, соединению разъемов различного типа, юстировке аппаратуры. Выполнение данных действий даже у космонавтов иногда вызывает проблемы.

Существующее научное и технологическое оборудование, предназначенное для эксплуатации на МКС, разрабатывалось для его использования космонавтом. Анализ работ, выполняемых в ходе разных выходов, показывает, что часто возникают проблемы следующего характера:

- аппаратура не устанавливается на предназначенное для нее посадочное место;
- возникали проблемы со стыковкой электроразъемов;
- имеются трудности со снятием контрольных приспособлений с электроразъемов;
- оборудование (устройство) не помещается в требуемое место;
- болты не вкручиваются в соответствующие отверстия и ряд других.

Конструктивные недоработки аппаратуры и оборудования дополнительно усложняют выполнение монтажно-демонтажных работ, итак требующих тонкокоординированных действий. Это показывает, что в настоящее время только космонавт способен проанализировать причины и найти способ решения задачи. Грубое механическое втискивание аппаратуры или устройств в требуемое посадочное место не даст положительного результата, а может только привести к поломке или повреждению станции.

Вследствие этого, в настоящее время возложение на РТС функций установки аппаратуры, т.е. выполнение монтажно-демонтажных работ является нецелесообразным.

5.2. Практически в каждом выходе космонавты выполняют операции по замене экспонируемых образцов, установленных в планшетах различного типа. Так как номенклатура посадочных мест для экспонируемых объектов ограничена, то целесообразно возложить функции по периодической замене экспонируемых образцов на РТС.

5.3. Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений научных исследований на борту МКС является запуск малых космических аппаратов. Операции отброса мини-спутников проводятся довольно регулярно. Основными требованиями при запуске являются направление, время и место отброса, а также отсутствие вращения спутника. В настоящее время запуск выполняется только во время ВКД, и при этом спутник может длительное время находиться на борту станции. Так как в рамках научной программы выполняется космический эксперимент «РадиоСкаф», то можно прогнозировать увеличение количества отбрасываемых спутников. Возможна реализация коммерческой программы по отбросу мини-спутников с борта станции.

Операция не представляет особых трудностей, но ее целесообразно автоматизировать для обеспечения требуемых параметров отброса. При запуске челове-

ком возможны следующие недостатки – разные усилия по отбросу спутника (придание начальной относительной скорости), разные углы отброса, разное время отброса. Космонавт приблизительно оценивает направление отброса и требуемые усилия для отброса. Во всех реализованных случаях отброса спутник совершал вращательный полет. В случае если предъявляются жесткие требования по времени и параметрам отброса спутника, то организовывать выход космонавтов для выполнения только одной операции является нецелесообразным. Представляется целесообразным операцию «Запуск спутника» возложить на РТС.

На РТС может быть возложена задача запуска малых космических аппаратов с борта МКС.

6. При выполнении работ по дооснащению станции космонавты осуществляли монтаж разнообразного оборудования:

- установили на внешней поверхности блоки аппаратуры различного назначения: смонтировали грузовую стрелу, смонтировали выходное устройство, установили универсальное рабочее место, смонтировали активную фазированную антенную решетку единой командно-телеметрической системы, установили антенны радиолобительской связи, установили панели противометеоритной защиты, установили лазерные световозвращатели для системы стыковки, установили различные проводки направляющих, ограничители и т.д.;

- проложили кабели по поверхности модулей РС МКС, осуществили стыковку межмодульных связей для различной аппаратуры;

- установили дополнительные поручни на различных модулях.

Как отмечено выше, у космонавтов при выполнении монтажных работ, прокладке и соединении кабелей часто возникали проблемы, поэтому монтажные работы должен выполнять космонавт.

7. Ремонтно-восстановительные работы по характеру выполняемых операций и действий аналогичны монтажным работам, выполняемым космонавтами, поэтому ремонтно-восстановительные работы также должен выполнять космонавт.

8. Фотографирование результатов выполненных работ.

Анализ циклограмм выполнения всех видов монтажных и ремонтно-восстановительных работ показывает, что завершающей операцией всегда является фотографирование смонтированных блоков, кабелей, разъемов, т.е. проводится инспекция локальной области поверхности МКС. Кроме того, регулярно проводится фотографирование научной аппаратуры.

Анализ выполнения данной операции показывает, что существуют объективные условия, снижающие качество выполнения данной операции, повышающие трудность ее выполнения, увеличивающие время выходов.

Основными факторами, препятствующими процессу фотосъемки, являются недостаточная освещенность и требуемый ракурс съемки. Космонавтам приходится ожидать выхода МКС на освещенную часть орбиты, это занимает до 20 минут. Съемка с требуемого ракурса приводит к засветке индикации фотоаппарата или к невыполнению съемки из-за неудовлетворительных условий освещенности. В отдельных случаях, когда требуется провести фотографирование стыковочных узлов, аппаратуры, расположенной на торцевых поверхностях модулей, солнечных батарей, выполнение данной операции существенно затрудняется или даже становится невозможным.

Вследствие этого выполнение фотографирования результатов работы на внешней поверхности станции, т.е. инспекцию локальных областей внешней поверхности станции целесообразно возложить на РТС.

9. Инспекция внешней поверхности МКС.

Для контроля состояния всей внешней поверхности станции необходимо периодически проводить фотографирование или видеосъемку поверхности модулей станции или ее крупных фрагментов. Выполнение этой операции космонавтом затруднительно или требует значительных затрат, как временных, так и организационных.

Вследствие этого на РТС целесообразно возложить выполнение операции инспекции состояния всей внешней поверхности станции.

10. Перенос укладок к выходному люку. После выполнения каждой операции космонавты осуществляют сбор и укладку инструмента, утилизируют снятое оборудование путем отброса в открытый космос или укладывают снятое оборудование. Далее осуществляется операция перемещения укладок с инструментом и оборудованием к выходному люку.

Операцию «Перенос укладок к выходному люку» целесообразно возложить на РТС, что позволит сократить время на переход космонавта и снизить его энергозатраты.

11. Внос укладок в стыковочный отсек является операцией обратной операции 2 – «Вынос укладок из стыковочного отсека» и осуществляется во время каждого выхода. При существующем подходе к организации выхода нецелесообразно операцию вноса укладок возлагать на РТС, т.к. в ограниченном пространстве выходного отсека космонавт и РТС не смогут работать вместе. Аналогично операции 2, операцию «Внос укладок в стыковочный отсек» автоматизировать нецелесообразно.

Целесообразно организовать автономную работу РТС, которая после окончания работы космонавта самостоятельно, автономно вводит укладки в специальные шлюзовые отсеки (камеры) МКС.

12. Вход в стыковочный отсек и закрытие выходного люка завершает процесс работы космонавтов в открытом космосе. Для выполнения этой операции космонавт в обратном порядке выполняет действия по снятию защитного кольца, закрытию выходного люка и шлюзованию. Эту операцию возможно автоматизировать, но возлагать ее на РТС нецелесообразно, потому что пространство в стыковочном отсеке ограничено и размещение в нем дополнительно к космонавтам РТС проблематично.

Типовую операцию «Вход в стыковочный отсек, закрытие выходного люка» должен выполнять космонавт.

Анализ задач, которые могут быть возложены на РТС, показывает, что выполнение данных задач одним техническим устройством практически невозможно. Задачи транспортировки укладок с оборудованием и инструментом, периодической замены экспонируемых образцов, запуска спутников с борта МКС могут быть решены путем использования робототехнической транспортно-манипуляционной системой, а задачи фотографирования результатов выполненных работ и инспекции внешней поверхности – спутника инспектора.

С использованием предлагаемого подхода проведено распределение функций между РТС и космонавтом при выполнении некоторых задач внекорабельной деятельности. На основе циклограмм выходов выделены характерные задачи, решение которых требует выполнения большого объема операций и которые могут быть распределены между РТС и космонавтом, представленные в таблице.

Таблица

№	Операции	Вид операций	Время выполнения, мин	РТС	К-О
1	– выведение общей укладки	ТО	2	2	0
	– транспортировка общей укладки	ТО	7	7	0
	– транспортировка	ТО	22	22	0
	– фиксация укладки на поручень	ТО	15	15	0
	– перемещение на Ф-образные поручни	ТО	4	0	4
	– сборка и установка	ЦО	15	0	15
	– перенос панелей	ТО	7	0	7
	– установка панелей	ЦО	1	0	1
	– отделение панелей и установка	ЦО	22	0	22
	– удлинение страховочного фала	ТО	12	0	12
	– раскрытие панелей, сдвиг	ЦО	20	0	20
	– фотографирование	ТО	20	20	0
	Общее время на комплекс работ:		147	66	81
2	– вывод укладок с инструментом	ТО	4	4	0
	– транспортировка укладок	ТО	10	10	0
	с инструментом по трассе поручней				
	– переход с укладкой к АО	ТО	3	0	3
	– переход по поручням СМ в зону	ТО	9	0	9
	– переход с укладкой	ТО	1	0	1
	– осмотр, фотографирование	ЦО	6	6	0
	– фотографирование	ЦО	18	18	0
	– фотографирование СММК	ЦО	7	7	0
	– переход к ВЛ1 и фотографирование	ЦО	13	13	0
	КДЗ, КД4				
	– фотографирование КДС СММК	ЦО	3	3	0
– переход на ВУ	ТО	8	0	8	
– заведение в СО-1 укладок	ТО	8	8	0	
	Общее время на комплекс работ:		90	69	21
3	– выведение укладки АСН		7	7	0
	– переход с укладкой АСН		5	5	0
	– переход с укладкой АСН по АО		12	12	0
	– переход с укладкой по КлП АО		1	1	0
	– снятие с антенного блока АСН		15	0	15
	– расфиксация разъемов, прокладка в/ч кабелей		1	0	1
	– стыковка н/ч разъемов кабеля		4	0	4
	– фотографирование		4	4	0
	– фиксация слабины в/ч кабелей		5	0	5
	– обратный переход с катушкой		11	11	0
	– осмотр зоны привода антенны		2	2	0
	– фотографирование зоны привода антенны		15	15	0
	– контроль перевода антенны		11	0	11
– фотографирование		2	2	0	
	Общее время на комплекс работ:		95	59	36

Исходя из принципа организации последовательного выполнения операций ВКД, в таблице указаны промежутки времени, в течение которых осуществляется выполнение типовых операций отдельно космонавтом-оператором и РТС. Все операции, связанные с переносом укладок, должны быть возложены на РТС. Космонавт только осуществляет переход к месту выполнения работы, при этом время перехода существенно меньше времени перемещения укладок.

Анализ временных показателей (таблица) позволяет провести оценку времени, затрачиваемого на выполнение задач выхода. Если РТС будет выполнять свои задачи независимо от космонавта, то возможно сокращение времени выхода космонавта на 45–60 % от суммарного времени выходов, осуществляемых в настоящее время.

Выводы

1. Предложен подход к обоснованию задач, которые могут быть возложены на РТС при решении задач в открытом космосе. Применение данного подхода позволило определить, что для повышения эффективности деятельности космонавтов при выполнении работ в открытом космосе целесообразно возложить на РТС выполнение следующих операций:

- транспортировка укладок с оборудованием и инструментом;
- периодическая замена экспонируемых образцов;
- запуск спутников с борта МКС;
- фотографирование результатов работы на внешней поверхности станции, т.е. инспекция локальных областей внешней поверхности станции;
- инспекция внешней поверхности МКС.

2. Для РТС, предназначенной для работы на перспективных модулях, перечень операций может быть расширен и в него могут быть введены технологические и монтажно-демонтажные работы. Однако это потребует проведения дополнительного анализа задач, решаемых на этих модулях, конструирование модулей и перспективной РТС с позиций системного подхода как сложной «человеко-машинной» системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Подход к построению робототехнических систем для работы в космосе / Г.И. Падалка, П.П. Долгов, А.А. Алтунин // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(9). – 2013.
- [2] Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х томах. Том 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М.: ГНЦ РФ-ИМБП РАН, 2001.
- [3] Циклограммы внекорабельной деятельности. Архив полетов. Сайт Центра управления полетами. http://www.mcc.rsa.ru/arh_vid.htm.
- [4] Журнал «Новости космонавтики». 2000–2014 гг.

УДК 004.5

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ
ИНТЕРАКТИВНОГО БЕСКОНТАКТНОГО
ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШЛЕМА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**
А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, В.М. Усов

Докт. техн. наук, доцент А.А. Карпов; докт. техн. наук, профессор А.Л. Ронжин (СПИИРАН)

Докт. мед. наук, профессор В.М. Усов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены вопросы тестирования интерактивного бесконтактного человеко-машинного взаимодействия с использованием современных средств и технологий виртуальной реальности. Эти решения пригодны для дистанционного управления антропоморфными роботами в копирующем режиме, включая космические робототехнические системы. Для оценки эргономичности (юзабилити) указанных средств, в частности, шлема виртуальной реальности, необходимо разрабатывать методики эргономических исследований. Предлагается рассмотреть одну из возможных инструментальных методик, основанная на математической модели, известной как закон Фиттса, и позволяющая получить скоростные и точностные характеристики сенсорно-моторных процессов при целеуказании на элементы информационного поля. Описан программно-аппаратный комплекс, реализующий идеи многомодального человеко-машинного интерфейса, приведена рекомендуемая методика исследования, отвечающая стандартам ISO, и дана иллюстрация проведения расчетов на модельном примере.

Ключевые слова: человеко-машинное взаимодействие; многомодальные пользовательские интерфейсы; речевые и жестовые интерфейсы; шлем виртуальной реальности; юзабилити; закон Фиттса, космическая робототехника.

Instrumental Methods of Testing an Interactive Contactless Human-Machine Interaction When Using a Helmet-Mounted Display. A.A. Karpov, A.L. Ronzhin, V.M. Usov

The paper discusses the issues of testing an interactive contactless human-machine interaction using advanced tools and technologies of virtual reality. These solutions are suitable for remote controlling the anthropomorphic master-slave robots, including space robotic systems. In order to assess the usability of these devices, in particular helmet-mounted displays, it is necessary to develop methods of ergonomic studies. It is proposed to consider one of the possible techniques, which is based on the mathematical model, often cited as Fitts' law, allowing us to evaluate speed ability and precision characteristics of sensory-motor processes when pointing at the elements of information field. The hardware-software complex that implements an idea of contactless multimodal human-machine interface is described, as well as the research technique, meeting the ISO standards, and an example, illustrating calculations, are given in the paper.

Keywords: human-computer interaction; multimodal user interfaces; voice and gestural interfaces; virtual reality helmet; head-mounted display; usability; Fitts' law; space robotics.

Введение

Развитие космической робототехники в числе ряда новых и актуальных задач выдвинуло вопросы, каким образом при дистанционном управлении антропоморфным роботом обеспечить высокий уровень интерактивности человеко-машинного интерфейса, сохраняя при этом «естественность» ведения диалога и оператив-

ность реагирования на изменения в рабочей среде. Большие перспективы в этом отношении открывает использование средств и технологий виртуальной реальности для зрительного контроля активности робота, а также жестового и речевого каналов управления целеуказанием, позиционированием и навигацией, что сегодня относят к проблеме построения многомодальных интерфейсов.

В текущих новостных лентах постоянно появляются сообщения ряда ведущих фирм (Samsung, Google, Microsoft, Sony и др.) о новых попытках разработки устройств типа шлемов и очков виртуальной реальности. Сегодня в своем подавляющем большинстве разработки этого класса носимых изделий предназначены для индустрии развлечений или являются отражением социального заказа на гаджеты в качестве аксессуара к мобильным смартфонам и игровым приставкам.

Однако для многих перспективных задач, в том числе дистанционного управления антропоморфными роботами в копирующем режиме, необходимо создание высокоинформативных и удобных для ношения систем целеуказания и индикации, о чем свидетельствует, в частности, практика военной авиации, в которой создаются высокоточные интегрированные нашлемные системы целеуказания и индикации (НСЦИ) [1].

В составе бортового оборудования самолета НСЦИ должна обеспечивать [2]:

- индикацию знакографической информации, необходимой при выполнении задач пилотирования и прицеливания;
- выдачу угловых координат линии визирования летчика (оператора) для обеспечения целеуказания ряду бортовых систем вооружения и управления линией визирования оптико-электронной визирной системы;
- отображение изображения внекабинного пространства по видеoinформации от оптико-электронных бортовых систем или нашлемных приборов ночного видения для обеспечения решения экипажем прицельных и пилотажно-навигационных задач в ночных условиях.

Исходя из представленного перечня решаемых задач, НСЦИ можно рассматривать как комбинацию системы индикации и системы позиционирования (в это рассмотрение не входит предназначение шлема как защитного снаряжения). Таким образом, в современных авиационных нашлемных системах отображения информации успешно решаются вопросы комбинированной индикации разнородной информации и управления целеуказанием. Это позволяет надеяться на определенный прогресс в области построения шлемов виртуальной реальности для применения в космической робототехнике с такой же функциональностью.

В то же время, надо указать на такую отличительную особенность современных НСЦИ, как наличие передающей системы, расположенной на борту летательного аппарата, и приемной части, закрепленной на защитном шлеме пилота, что увеличивает и без того большую массу и габаритные размеры пилотажного защитного шлема с нашлемной системой индикации. Это вполне преодолимый недостаток, так как в настоящее время имеются отечественные разработки систем позиционирования, основанные на бесплатформенных инерциальных блоках, выполненных на базе микромеханических акселерометров и гироскопов [3].

Эти решения привлекательны для применения шлемов виртуальной реальности в пилотируемых космических полетах при дистанционном управлении роботами, хотя предстоит длительный путь инженерно-психологического проектирования и эргономических испытаний такого сорта изделий, если ориентироваться на достигнутый уровень в военной авиации.

Эти факты, в свою очередь, означают, что от качественных субъективных оценок юзабилити этих изделий уже сегодня необходимо переходить к стандартизированным методикам эргономических исследований в лабораторных и полунатурных условиях носимых на голове ЧО изделий индикации и отображения информации в формате виртуальной реальности. Эти методики должны позволить получить сравнительные оценки производительности работы пользователя при бесконтактном информационном обмене с компьютером по отношению к традиционным видам интерфейса и, прежде всего, выявить ограничения по скорости и точности выполнения операций по типу целеуказания. Обеспечение бесконтактного способа взаимодействия человека-оператора (ЧО) с робототехническими изделиями особенно важно в ситуациях, когда по тем или иным причинам невозможно выполнять все операции управления традиционным контактным способом задания команд и предписаний [4].

Указанные инженерно-психологические проблемы в числе прочих факторов способствовали интенсификации разработок в области многомодальных интерфейсов и методов повышения скорости и точности целеуказания при тестовых и речевых видах обмена информацией [5, 6]. Вопросы использования многомодальных интерфейсов при взаимодействии космонавта с роботом-помощником на орбитальной станции ранее освещались в ряде публикаций [7, 8].

Большое значение при эргономическом проектировании человеко-машинного интерфейса имеет этап лабораторных и полунатурных исследований, который позволяет получить сравнительные характеристики различных физических устройств ввода информации, исходя из единого концептуального подхода к стандартизации методов и методик исследований. Особую ценность имеют разработки инструментальных методик с получением численных оценок различных режимов взаимодействия, видов интерфейсов и ориентированных для разных категорий пользователей.

Назначение многомодальных интерфейсов, варианты построения интерактивных бесконтактных режимов

Этот тип человеко-машинных интерфейсов является расширением речевых интерфейсов и позволяет кроме речи анализировать другие естественные для человека модальности (способы взаимодействия) – движения, позы, жесты и др.

Применительно к рассматриваемому случаю использования ЧО шлема виртуальной реальности необходимо рассматривать возможность использовать для ЧО такую естественную входную модальность, как указательные жесты-движения головы (вверх, вниз, вправо, влево и в любых промежуточных направлениях), дополняя ее информационной системой речевого обмена на русском языке для подтверждения команд целеуказания и правильности их выполнения.

Предполагается, что в условиях планируемого лабораторного эксперимента для тестируемого изделия помимо 3D-индикации реализована возможность управления движением головы для целеуказания и имеется система распознавания речи, что, в частности, может быть обеспечено использованием для получения исходной информации современных цифровых веб-камер.

Технология виртуальной реальности при дистанционном управлении антропоморфными роботами и технические средства реализации человеко-машинного интерфейса

Системы виртуальной реальности, как правило, базируются на достаточно мощных вычислительных платформах, позволяющих обеспечить моделирование и синтез сложных визуальных 3D-сцен и сопряжение с рядом сенсорных и исполнительных устройств (в их числе: системы создания стереоизображений, ручные манипуляторы, шлемы или очки-дисплеи и т.п.). Системы создания носимых мобильных устройств для предъявления стереоизображений в широком диапазоне медиаконтента сегодня представляют собой специализированные системы отображения информации (СОИ) для информационных систем виртуальной реальности, которые востребованы в разных областях человеческой деятельности. Область этих технологий и носимых устройств претерпевает бурное развитие, появляются новые решения и образцы, но существо инженерно-психологических проблем остается прежним. Кратко остановимся на их описании.

Проблемам построения СОИ для улучшения зрительного контроля при дистанционном управлении антропоморфным роботом в копирующем режиме традиционно уделяется повышенное внимание, поскольку организация обратной связи самым непосредственным образом влияет на точность выполнения манипуляций и безопасность применений роботов. Одно из привлекательных решений состоит в изготовлении устройств по типу шлема или очков виртуальной реальности, которые являются альтернативой применения мониторов в составе информационных систем виртуальной реальности в робототехнике.

Существо возникающих при этом проблем достаточно полно отражено в работе [9]. В этой работе указывается, что существенным для ЧО условием получения качественной обратной связи по зрительному каналу «является получение стереоскопического изображения рабочей зоны». Согласно цитируемой работе, качественная обратная связь по зрительному каналу «требует использования в рабочей зоне двух TV-камер с параллельными оптическими осями, смещенными друг относительно друга на расстояние, равное базе между глазами человека». Например, при использовании шлема «выводятся TV-изображения для левого и правого глаза соответственно» и тем самым достигается эффект присутствия ЧО в удаленной рабочей зоне, в которой с помощью манипуляционного робота выполняется воздействие на объект. Сегодня для отображения информации пользователю или ЧО могут применяться как специальные линзы с разделением каналов для левого и правого глаза, так и дисплеи в форме очков на основе различных технологий проекции.

В работе [9] раскрывается существо задачи достижения высокого информационного подобия при использовании шлема виртуальной реальности, состоящей в выборе такого «масштаба TV-изображений, при котором угловые смещения зрачка глаза при переводе с одной характерной точки TV-изображения на другую становятся равными углам смещения зрачков, которые имели бы место, если человек рассматривал эти точки невооруженным взглядом, находясь в рабочей зоне при совмещении оптических осей его глаз с оптическими осями TV-камер». Другое существенное условие, указанное в той же работе, – «возможность отслеживания (копирования) вышеупомянутыми TV-камерами смещения и поворота головы оператора». Фактически в данном контексте раскрыты те задачи офтальмоэргономики, которые необходимо решать в процессе оценки качества визуализа-

ции и выявления возможных источников зрительного дискомфорта и зрительных нарушений при использовании шлема виртуальной реальности.

В предлагаемой методике акцент делается на оценку точности и скорости управления посредством поворота головы ЧО при исследовании данного способа индикации.

Описание предлагаемой инструментальной методики

Описание программно-аппаратного комплекса

Для реализации приведенного методического подхода к эргономическому исследованию юзабилити человеко-машинного взаимодействия была адаптирована ранее разработанная информационная система бесконтактного управления ICanDo – “Intellectual Computer Assistant for Disabled Operators” – «Интеллектуальный компьютерный помощник для операторов с ограниченными возможностями» (в частности, в отношении контактного взаимодействия с ЭВМ) [10], которая снабжена программными технологиями автоматического распознавания русской речи/голосовых команд и технического зрения для отслеживания движений головы (указательных жестов) с целью управления курсора мыши на экране дисплея. Такое решение существенно повышает естественность и расширяет возможности человеко-машинного взаимодействия, так как включает текстовый и речевой каналы обмена информацией дополнительно к визуальному. Речевой обмен сегодня признается одним из наиболее перспективных средств повышения интерактивности такого взаимодействия. Видео- и аудиосигналы одновременно и параллельно захватываются одним аппаратным устройством – цифровой видеокамерой (веб-камерой) и синхронно обрабатываются в многомодальном интерфейсе.

Предлагаемый комплекс реализует один из многомодальных пользовательских интерфейсов [11] и использует две естественные входные модальности: речь на русском языке и указательные жесты-движения головы (вверх, вниз, вправо, влево и в любых промежуточных направлениях). Обе модальности являются активными [12] и иницируются напрямую человеком (как пользователем и как оператором), поэтому они непрерывно отслеживаются и обрабатываются интеллектуальными подсистемами интерфейса.

Рекомендуемый план эксперимента и предлагаемая инструментальная методика эргономических исследований

Одним из направлений эргономического исследования бесконтактного интерфейса и юзабилити конкретных устройств целеуказания является получение оценки скорости и производительности работы пользователей с бесконтактным интерфейсом при указании на объекты графического пользовательского интерфейса.

Для оценки скорости ввода информации может быть использована методология международного стандарта ISO 9241-9:2000 “Requirements for Non-Keyboard Input Devices” («Требования к неклавиатурным устройствам ввода информации») [13], которая базируется на экспериментах и законах, разработанных в середине XX века американским психологом-когнитивистом Полом Фиттсом (Paul Morris Fitts, 1954 г., цит. по [14]) и впоследствии развитых другими учеными [15, 16].

Применяемая в данном исследовании методика оценки интерфейса состоит в следующем. Операторы, решающие задачи «тестирования интерфейса», используя предоставленное им устройство указательного ввода, должны насколько возможно быстро отметить на экране набор целей-объектов (последовательно «кликнуть» на них, т.е. дать голосовую команду «левая» для нажатия левой кнопки

мышью), появляющихся по круговой схеме на экране монитора. При этом порядок целей задается программой автоматически таким образом, чтобы пользователь последовательно выделял наиболее удаленно расположенные друг от друга объекты, совершая движения указателем в различных направлениях [16].

Когда нажатием на кнопку происходит подтверждение выделения текущего объекта-цели на экране, то отображается следующая цель. При этом автоматически вычисляется индекс сложности задачи ID (англ.: “index of difficulty”), измеряемый в битах согласно формуле [17]:

$$ID = \log_2(D/W + 1), \quad (1)$$

где D – расстояние между центрами целей и W – диаметр цели.

Однако координаты точки, где происходит щелчок кнопкой мыши, зависят как от фактического (“effective”) расстояния между точками кликов, так и от фактического диаметра самих целей (т.е., чем меньше цель, тем сложнее попасть по ее центру).

Поэтому фактический индекс сложности выражается следующей формулой:

$$IDe = \log_2(De/We + 1), \quad (2)$$

где De – фактическое расстояние между точками кликов двух последних целей и We – фактический диаметр (или ширина) цели, определяемый как [18]:

$$We = 4,133 \cdot \sigma, \quad (3)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение координат точки выделения (клика), проецируемой на ось, которая соединяет центры начальной и конечной целей. Получаемые значения IDe отличаются от значений ID , более точно учитывая качество выполнения тестового задания пользователем.

Для проведения эксперимента было разработано соответствующее программное обеспечение, которое позволяет произвольно задавать значения D и W , а также фиксировать результаты прохождения теста.

Программа для ЭВМ предлагает пользователю последовательно кликнуть на 16 целей, которые по очереди появляются на экране согласно рис. 1 (слева).

На рис. 1 (справа) для иллюстрации способа отображения стимульной информации показан реальный пример получившейся траектории движения курсора мыши на экране при бесконтактном выполнении задания посредством ICanDo. Здесь можно видеть, что данная задача для пользователя не была простой, но ошибок выделения (непопаданий по целям) он не допустил.

Предлагаемые дизайн проведения исследований и способ анализа результатов экспериментов (иллюстрация на модельном примере)

Для построения модельного эксперимента выполнения тестового задания были привлечены четыре пользователя «новичка», то есть операторы, не имевшие ранее опыта работы с многомодальным интерфейсом, и два пользователя «эксперта», принимавшие участие в ее разработке и отладке. Каждым пользователем были проведены серии по 10 тестов с последовательным изменением диаметра цели W в пределах от 32 до 128 пикселей и среднего расстояния D между целями в пределах 96–650 пикселей (использовалось разрешение экрана 1280x1024), т.е. показатель ID варьировался от 1,32 до 4,4 бит. Каждый тест занимал в среднем 30–60 секунд.

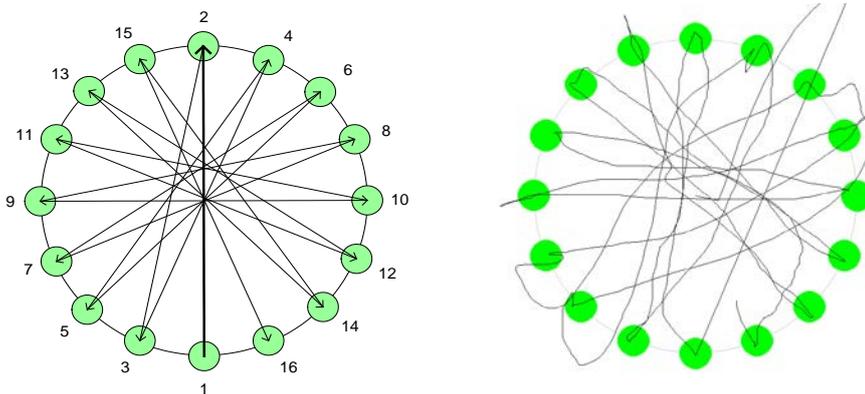


Рис. 1. Схема и порядок расположения целей на экране для проведения когнитивных экспериментов с интерфейсом по методу Фиттса (слева); реальный пример траектории движения курсора мыши на экране при бесконтактном выполнении задания (справа)

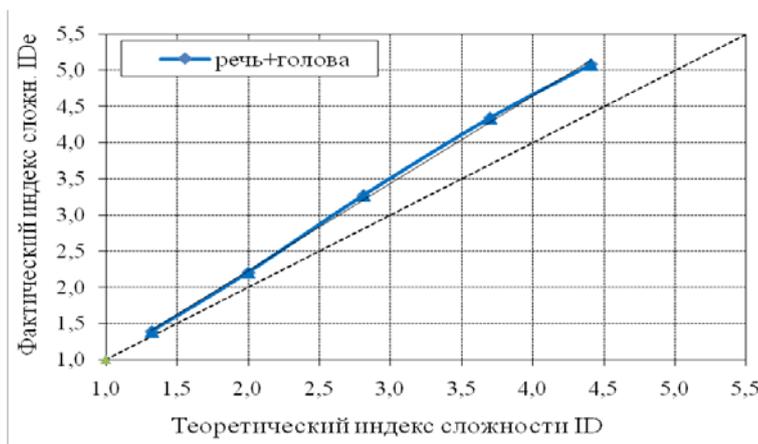


Рис. 2. График зависимости значений фактической сложности ID_e и теоретической сложности ID выполнения задачи и его отклонение от нормали

Рис. 2 показывает усредненный по всем пользователям график зависимости отношений значений ID_e (фактический индекс сложности) и ID (теоретически рассчитанный индекс сложности) при разных значениях D и W . Характерно, что данный график лежит выше пунктирной линии-нормали (ожидаемый теоретически индекс сложности выполнения задачи), а это означает, что выполнение данной задачи оказалось несколько сложнее, чем планировалось; в противном случае, если бы график зависимости лежал ниже нормали, то можно говорить о том, что предлагаемая операторам задача оказалась легче расчетной сложности.

Согласно экспериментам по методике Фиттса, время движения (англ.: “movement time”) MT между двумя целями линейно зависит от индекса сложности ID [18].

Полученное в ходе экспериментов среднее значение MT для всех операторов равняется 2550 мс, т.е. около 2,5 секунд между речевыми «нажатиями» цели. Рис. 3 показывает два аппроксимирующих графика зависимости времени движе-

ния MT от фактической сложности задачи IDe отдельно для пользователей «новичков», не работавших ранее с интерфейсом, и для обученных пользователей «экспертов». Хорошо заметно, что эффект обучения положительно сказывается на увеличении скорости бесконтактной работы с компьютером. Также разброс значений MT для «новичков» оказался значительно больше, они выполняли тесты менее стабильно. Исходя из опыта экспериментов, можно сказать, что «новички» начинают уверенно работать с компьютером бесконтактно при помощи многомодального интерфейса уже через 10–15 мин тренировки (не включая этап настройки системы распознавания речи на голосовые характеристики пользователя), что несколько больше, чем при первоначальном овладении мышкой и клавиатурой. Собственные исследования позволяют полагать, что уже через один день работы с системой пользователь приобретает достаточный навык для уверенной работы в варианте бесконтактного человеко-машинного взаимодействия.

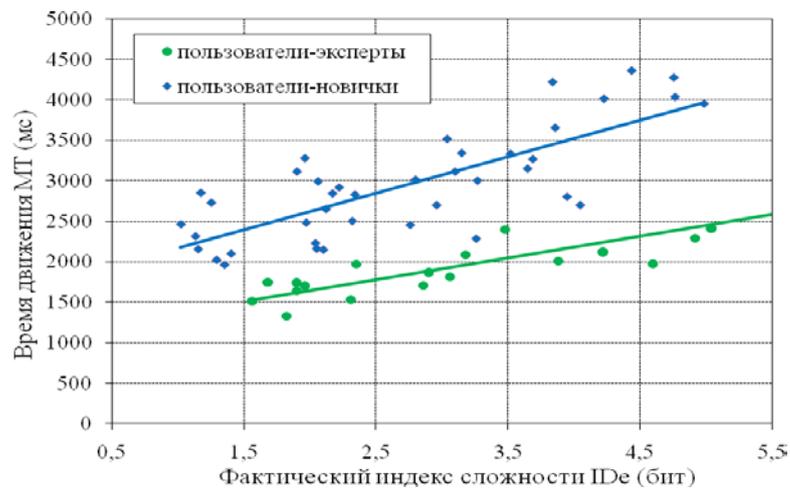


Рис. 3. Графики зависимостей времени движения MT от фактического индекса сложности IDe задачи отдельно для новичков и экспертов

Согласно применяемой методике экспериментов Фиттса, основным показателем оценки интерфейса является общая производительность работы пользователя с системой TP (англ.: “throughput”) [19], определяющая компромисс между временем движения (скоростью выполнения задания) и точностью выделения цели, и измеряется в бит/секунду согласно следующей формуле:

$$TP = IDe / MT . \quad (4)$$

Полученное в ходе экспериментов среднее значение TP для всех операторов равняется 1,2 *bit/c*, максимальное значение TP для одного ЧО – 2,0 *bit/c*.

Также в ходе когнитивных исследований была проведена сравнительная оценка контактных устройств для ввода/указания, таких как: сенсорный экран 17 дюймов, джойстик, трекбол, сенсорная панель (“touchpad”) 3 дюйма и стандартный манипулятор-мышь. Двумя пользователями были проведены серии по 10 тестов для каждого устройства с последовательным изменением диаметра цели W в пределах от 32 до 128 пикселей и среднего расстояния D между целями в пределах

от 96 до 650 пикселей. В таблице приводятся результаты экспериментов и сравнения всех вышеуказанных устройств по трем основным количественным критериям:

- среднее время движения *MT* между двумя целями;
- процент ошибок выделения целей (непопадание курсором в цель);
- общая производительность указательного интерфейса *TP*.

Данная таблица показывает, что наилучшие результаты по производительности интерфейсов были показаны сенсорным монитором, так как руки ЧО свободно перемещаются по воздуху. Управление курсором посредством многомодального интерфейса, отслеживающего движения головы, уступает по производительности практически всем аппаратным контактным средствам ввода информации, кроме джойстика (который весьма непривычен для управления курсором), однако имеет то преимущество, что является бесконтактным способом управления курсором и может применяться категориями потенциальных пользователей, для которых стандартные средства ввода информации недоступны.

Таблица

Сравнительная оценка эффективности интерфейсов для указательного ввода информации с использованием методики Фиттса

Устройство ввода	<i>MT</i> , с	Ошибка выделения, %	<i>TP</i> , бум/с
Джойстик	2,01	7,00	1,54
Трекбол	1,03	3,83	3,51
Сенсорная панель 3"	0,85	4,50	3,72
Манипулятор-мышь	0,49	3,17	6,65
Сенсорный экран 17"	0,50	6,17	7,85
Интерфейс ICanDo	1,98	7,33	1,59

Заключение

В статье представлены новые направления эргономических исследований человеко-машинного взаимодействия, реализуемого посредством многомодального интерфейса, предназначенного для бесконтактной работы в системе «человек-машина», рекомендуемые при тестировании пользовательских характеристик шлема виртуальной реальности.

Есть основания полагать, что данный многомодальный интерфейс при реализации в составе шлема виртуальной реальности, оснащенный соответствующими сенсорами и некоторыми дополнительными ассистивными компонентами (в частности, обеспечения речевого взаимодействия), может обеспечить приемлемую скорость и производительность работы человека-оператора, не существенно отличающуюся от аналогичных показателей для стандартных контактных интерфейсов-устройств ввода, и может успешно применяться для бесконтактного управления.

На основании литературного анализа и собственного опыта исследования проблемы построения многомодальных пользовательских интерфейсов даны рекомендации эргономического исследования характеристик устройств бесконтактного целеуказания с помощью инструментальной методики, которая была разработана и апробирована специалистами СПИИРАН (г. Санкт-Петербург). Особое внимание уделено вопросам эргономики, инженерной психологии, которые с неизбежностью будут постоянно возникать перед разработчиками при проектирова-

нии новых типов устройств и интерфейсов для дистанционного управления мобильными и манипуляционными роботами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling* / L. Biberman, editor. – SPIE Press, 2000. 645 p.
- [2] Устройства измерения, сбора и обработки сигналов в информационно-управляющих комплексах / Л.Н. Костяшкин, О.В. Павлов, Д.В. Трофимов // Тезисы докладов 1-й Всероссийской научно-практической конференции (г. Ульяновск, 6–10 сентября 2011 г.) – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 28–33.
- [3] Микроминиатюрные системы позиционирования на основе микромеханических акселерометров и гироскопов для наשלемых систем целеуказаний и индикации / В.М. Ачильдиев, Ю.К. Грузевич, В.А. Солдатенков, С.С. Рязанов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2008. – № 4. – С. 56–64.
- [4] Ющенко А.С. Управление роботами с использованием нечеткой логики: состояние и проблемы // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 1. – С. 119–130.
- [5] Речевой и многомодальный интерфейсы / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов, И.В. Ли. – М.: Наука, 2006. – 173 с.
- [6] Особенности дистанционной записи и обработки речи в автоматах самообслуживания / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов, И.А. Кагиров // Информационно-управляющие системы. – Вып. 42, т. 5. – 2009. – С. 32–38.
- [7] Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Б.И. Крючков, А.А. Карпов, В.М. Усов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 32. – С. 125–151.
- [8] Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом – помощником экипажа / Юсупов Р.М., Крючков Б.И., Карпов А.А., Ронжин А.Л., Усов В.М // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 3. – С. 23–34.
- [9] Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: Учеб. пособие / Г.В.Алферов, Ф.М. Кулаков, А.И. Нечаев, С.Э. Чернакова. – СПб.: «СОЛЮ», 2006. – С. 24–25.
- [10] Карпов А.А. ICanDo: Интеллектуальный помощник для пользователей с ограниченными физическими возможностями // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – № 7. – С. 32–41.
- [11] Карпов А.А., Ронжин А.Л. Многомодальные интерфейсы в автоматизированных системах управления // Известия высших учебных заведений. – Приборостроение, 2005. – Т. 48. – № 7. – С. 9–14.
- [12] Карпов А.А., Ронжин А.Л. Проектирование интерактивных приложений с многомодальным интерфейсом // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – 2010. – № 1-1. – С. 124–127.
- [13] ISO 9241-9:2000(E) Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs), Part 9: Requirements for Non-Keyboard Input Devices, International Standards Organization, 2000.
- [14] Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – СПб: Символ-плюс, 2010. – 272 с.
- [15] Soukoreff R.W., MacKenzie I.S. Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 years of Fitts' Law Research in HCI // International Journal of Human Computer Studies, 2004, vol. 61, no. 6, pp. 751-789.
- [16] Zhang X., MacKenzie I.S. Evaluating Eye Tracking with ISO 9241 Part 9 // In Proc. Human-Computer Interaction International Conference HCI 2007. – Beijing, China, Springer Verlag LNCS 4552, 2007, pp. 779–788.
- [17] Carhini S., Viallet J.E. Evaluation of Contactless Multimodal Pointing Devices // In Proc. 2-nd IASTED International Conference on Human-Computer Interaction. Chamonix, France, 2006, pp.226–231.

-
- [18] De Silva G.C., Lyons M.J., Kawato S., Tetsutani N. Human Factors Evaluation of a Vision-Based Facial Gesture Interface // In Proc. Workshop on Computer Vision and Pattern Recognition for Computer Human Interaction. – Madison, USA, 2003.
- [19] Wilson A., Cutrell E. FlowMouse: A Computer Vision-Based Pointing and Gesture Input Device // In Proc. Human-Computer Interaction INTERACT Conference. – Rome, Italy, 2005, pp. 565–578.

УДК 004.5

**МЫСЛЕННЫЕ КОМАНДЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ СИНТЕЗА
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ
В СИСТЕМАХ «ЧЕЛОВЕК–МАШИНА»****Б.М. Владимирский, Б.Б. Олехнович, Ю.А. Украинский,
И.Е. Шепелев, В.А. Кирой**

Докт. биол. наук, профессор Б.М. Владимирский (Южный федеральный университет)

Б.Б. Олехнович; Ю.А. Украинский; канд. техн. наук И.Е. Шепелев; докт. биол. наук, профессор В.А. Кирой (НИИ нейрокибернетики имени А.Б. Когана Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону)

Рассмотрены возможности идентификации по ЭЭГ-показателям мысленных команд для синтеза дополнительного канала управления в системе «человек–машина». Идентификационная процедура основана на нахождении уникальных бинарных векторов, соответствующих специфическим паттернам ЭЭГ для определенных фактических (реальных) и мысленных представлений о выполнении движений. Построение таких векторов основано на событийно-ориентированном анализе ЭЭГ, использующем представление о собственном времени физиологических процессов. Исходные массивы бинарных векторов формируются на основе выделения экстремумов ЭЭГ от множества отведений. Для построения и анализа таких массивов разработаны алгоритмы и программы, прошедшие апробацию в серии экспериментов по изучению интерфейса «мозг–компьютер» на основе анализа ЭЭГ показателей реальных движений и мысленных представлений.

Ключевые слова: система «человек–машина» (СЧМ), электроэнцефалограмма (ЭЭГ), событийно-ориентированный анализ ЭЭГ, мысленные команды, интерфейс «мозг–компьютер» (ИМК).

Mental Task-Based Commands as the Basis for Synthesizing a Secondary Control Channel in Human-Machine Systems. B.M. Vladimirovskiy, B.B. Olekhnovich, Ju.A. Ukrainskiy, I.E. Shepelev, V.A. Kirov

The paper considers the identification possibilities using EEG parameters of mental commands for synthesizing a secondary control channel in a human-machine system. An identification procedure consists in finding unique binary vectors that correspond to the specific EEG patterns for the certain actual (real) and imagined movements. The construction of such vectors is based upon an event-oriented EEG analysis with the use of the notion about intrinsic time of physiological processes. The initial arrays of binary vectors are formed on basis of EEG extremes obtained from multiple EEG leads. Novel algorithms and programs of the construction and analyzing these arrays have been developed and extensively tested in a series of experiments on studying a brain-computer interface.

Keywords: man-machine systems (MMS), electroencephalogram (EEG), event-driven EEG analysis, mental commands, brain-computer interface (BCI).

Введение

Включенность человека-оператора (ЧО) в оперативную задачу и текущую обстановку при высоком уровне автоматизации процессов управления определяет время, затрачиваемое на опознание новой, необычной ситуации, на ориентацию в обстановке, на подготовку и принятие решений в тех оперативных ситуациях, когда нерасчетные режимы не позволяют надеяться на надежность технических устройств и требуют перехода на ручное управление. Такая включенность соглас-

но «принципу активного оператора» при распределении функций между человеком и автоматом [9] является обязательной в обеспечении надежности человеческого звена и безопасности сложных эргатических систем.

Дальнейшее развитие этих подходов дают информационные технологии, позволяющие рассматривать проблему интерфейсов в системе «человек–машина» (СЧМ) с использованием для целей управления реакций человека как на осознаваемом, так и на неосознаваемом уровне. Такие возможности предоставляет современный инструментарий регистрации и анализа электрической активности мозга при мысленном представлении ЧО исполняемых им движений. При этом, однако, необходимо теоретически и экспериментально исследовать вопрос, насколько такая активность идентична для случаев фактического (реального) выполнения движения и при его ментальном воспроизведении в определенных условиях.

Методический подход к проектированию ИМК, предназначенного для практических приложений

Идея построения систем, позволяющих напрямую, минуя исполнительные звенья произвольных движений, осуществлять обмен информацией между мозгом человека и электронными устройствами, всегда привлекала внимание исследователей. Эксперименты в этой области перспективны для инженерно-психологических решений в тех ситуациях, когда двигательные возможности ЧО по каким-либо причинам резко (хотя и временно) ограничены, что имеет прямое отношение к так называемым опасным профессиям.

Подход, связанный с возможностью формирования дополнительного канала связи с использованием сигналов мысленного управления, является новым и перспективным для построения интерфейсов в СЧМ. Этот подход лежит в русле проводимых во многих странах мира исследований, направленных на создание интерфейса «мозг–компьютер» (русс. аббревиатура ИМК, англ.: BCI – brain-computer interface) [8, 12, 13, 21].

В настоящее время ИМК представляет собой коммуникационную систему, в которой с использованием программно-аппаратных средств распознавания специфических паттернов ЭЭГ формируются команды, посылаемые индивидуумом во внешний мир. При этом командные сигналы мозговой активности не проходят через обычные «нормальные» выходные каналы мозга с задействованием периферических нервов и мышц. Таким образом, ИМК реализует новую методологическую и технологическую парадигму, в рамках которой ментальные представления ЧО представляется возможным «транслировать в специфические паттерны электроэнцефалограммы» [8]. Есть основания полагать, что разработка различных вариантов ИМК (или BCI) уже в ближайшие годы перейдет в плоскость практического применения для управления сложными СМЧ. Блок-схема ИМК представлена на рис. 1.

Для создания ИМК, как правило, используют электрическую активность мозга человека, регистрируемую в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Для того чтобы выявить специфическую активность мозга человека, ему ставятся задачи выполнить «мысленную репрезентацию» конкретного движения или мысленные исполнительные команды. При этом, однако, возникает ряд сложных и малоисследованных проблем, так как существует неразрывная связь между функциями, реализуемыми ЧО в составе СЧМ, и его функциональным состоянием.

В свою очередь функциональное состояние человека модулирует электрическую активность мозга, что неизбежно сказывается на паттернах ЭЭГ, характер-

ных для той или иной мысленной команды. Это может происходить по ряду причин, в том числе из-за изменения входной нагрузки, утомления, изменения мотивации и др. Тем не менее, требования к инвариантности мысленных команд, связанных с необходимостью в однозначности результатов идентификации исполнительных действий, остаются неизменными.



Рис. 1. Блок-схема интерфейса «мозг–компьютер»

К настоящему времени разработано большое число алгоритмов и программ разной степени сложности для реализации мысленных команд с использованием суммарной биоэлектрической активности мозга человека, регистрируемой в виде ЭЭГ и вызванных потенциалов при создании ИМК [10, 20, 26, 27, 34]. Однако у исследователей этой проблемы все еще существует неудовлетворенность имеющимися результатами в данной области в связи с тем, что ограничения используемых методов анализа биоэлектрической активности не позволяют добиться требуемой точности и быстродействия. Это стимулирует поиск новых подходов в области анализа электрической активности мозга в интересах построения ИМК.

Переход от «квантового» анализа биоэлектрической активности мозга к событийно-ориентированному анализу

Как известно, исходным материалом для анализа в программных реализациях ИМК служит квантуемая с определенным шагом суммарная электрическая активность мозга. При этом квантование производится через равные промежутки времени, и время считается независимой переменной. В настоящее время общепризнанной является точка зрения на функционирование живых организмов в целом и их отдельных подсистем как на последовательность событий – функциональных квантов, таких как кванты элементарных физиологических процессов, кванты гомеостаза, кванты поведения.

Любой из этих квантов, заканчиваясь определенным результатом и являясь функционально одним и тем же, может иметь разную длительность в обычно используемой шкале времени. Следовательно, естественные элементы физиологических и поведенческих процессов не эквивалентны принятым для традиционных приложений метрическим единицам времени, а задают разнородный поток событий, определяющих «собственное время» того или иного процесса, в частности тех, которые протекают в нервных центрах мозга.

Именно поэтому и возникает необходимость использования представлений о «собственном времени», то есть времени, связанного с последовательностями физиологически или психологически значимых для индивида событий. Такой методический подход достаточно широко применяется в психофизиологии исследования процессов внимания, восприятия значимых сигналов и др. Исходя из этого подхода, первый шаг при разработке методов анализа должен состоять в переходе от «квантового» анализа биоэлектрической активности к событийному, то есть связанному с целостными физиологическими и/или поведенческими актами.

Использование концепции собственного времени позволяет разработать новые представления о принципах координации нервной активности различных мозговых образований, которые, в свою очередь, необходимо учитывать при создании алгоритмов классификации паттернов ЭЭГ для ИМК в СЧМ. Успешность функционирования этих интерфейсов зависит от того, насколько однозначно используемые в них алгоритмы могут вычлнять из регистрируемой ЭЭГ специфические паттерны, характерные для той или иной мысленной команды или реально производимого движения.

Исходя из работы [1], правомерно различать организацию движений, как функциональной системы, в форме актуализируемых двигательных механизмов и в виде мысленных представлений. Отсюда следует, что и идентификация движения должна осуществляться двумя способами в зависимости от того, реализуется ли движение включением соответствующего моторного механизма, когда человек производит движение, или же актуализируется только мысленное представление того действия, которое надо распознать и классифицировать. И если это так, то гипотеза о разном отражении этих двух способов в ЭЭГ-активности приводит к положению о том, что должны иметь место два различных паттерна.

Для обнаружения и различения этих паттернов были разработаны алгоритмы и программное обеспечение в рамках предложенного одним из авторов «событийно-ориентированного» анализа ЭЭГ [7]. Такой анализ основан на использовании в качестве «натуральной меры» собственного физиологического времени, трактуемой в данном контексте в качестве непостоянной в астрономической шкале времени единицы исчисления последовательностей локальных экстремумов суммарной биоэлектрической активности мозга.

Для того чтобы сделать понятие собственного времени конструктивным, то есть пригодным для решения конкретных исследовательских задач, необходимо ввести для него определение и соответствующую метрику, различая при этом естественные элементы поведения (события) и метрические единицы времени. Согласно подходу, изложенному в работе [7], для определения понятия времени практически наиболее приемлемым и приспособленным для дальнейшего использования является формулировка, использующая идею о том, что в качестве датчика времени следует использовать изменения свойств объекта, а не его движение. Это позволяет определить, какие изменения суммарной биоэлектрической активности следует отслеживать, чтобы ввести новый уровень анализа и понимания

процессов, связанных с реализацией мысленного управления при создании ИМК в СЧМ и отражающихся в суммарной биоэлектрической активности.

Построение процедур анализа ЭЭГ для поиска инвариантов, пригодных для реализации команд мысленного управления

При разработке алгоритмов анализа ЭЭГ для поиска инвариантов, пригодных для реализации команд мысленного управления, в качестве «натуральной меры» времени в данном исследовании использовались единицы исчисления последовательностей локальных максимумов, отражающих, согласно сформулированной рабочей гипотезе, процессы синхронизации медленных биоэлектрических потенциалов в коре мозга человека. При этом, как указывалось выше, в используемой модели времени, если два или более последовательных события одинаковы (различия в амплитудах не превышают 5 %, что, примерно, соответствует психофизиологическому порогу восприятия), то есть, когда в состоянии процесса фактически отсутствуют изменения, констатируется, что его собственное время останавливается, прекращает свой ход.

Исходя из всего вышесказанного, были разработаны две оригинальные программы для нахождения ЭЭГ-маркеров, пригодных для обнаружения инвариантов, характерных для определенных мысленных команд управления. В первой из них в качестве специфических информационных компонентов используются локальные положительные максимумы амплитуды ЭЭГ-сигналов от множества отведений.

Массив этих максимумов формируется, исходя из следующего соотношения:

$$x_i = \begin{cases} 1, & u_i < u_{i+1} > u_{i+2} \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases}, \quad (1)$$

где u_i, u_{i+1}, u_{i+2} – три последовательных значения амплитуд ЭЭГ; x_i – i -й элемент массива.

При этом при различиях значений двух соседних положительных максимумов менее чем на психофизиологический порог восприятия человека они считались равными, и второй максимум исключался из последующего анализа. Анализ начинается с выделения первого положительного локального максимума от любого из отведений, которое рассматривается как опорное. Относительно этого максимума фиксируются значения амплитуд ЭЭГ-сигналов по всем остальным отведениям. В результате получается набор амплитуд, представляющих собой первый входной вектор, используемый в дальнейшем в качестве входного для обучаемой многослойной нейронной сети.

Такая процедура формирования входных векторов повторяется для каждого последующего положительного максимума опорного отведения и для каждого отдельного отведения, каждый раз принимаемого как опорное, до тех пор, пока каждое из отведений не выполнит функцию опорного. В результате получается многомерный массив входных векторов ЭЭГ для конкретного испытуемого. На самом деле используется не одна, а четыре таких сети, входами для которых служат сигналы от разных групп отведений ЭЭГ. Решение о соответствии анализируемого паттерна ЭЭГ конкретному движению принимается по большинству выходов всех используемых сетей. Это позволяет повысить вероятность правильной идентификации, и в этом состоит новизна использования подхода.

При обучении многослойной нейронной сети дополнительно формируется массив указателей классов «мысленных репрезентаций» движений, выполняемых испытуемым, который используется как выходной массив для обучения нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. При выполнении процедуры идентификации мысленного движения массив входных векторов подают на нейронную сеть для вычисления выходного вектора, по которому определяют класс «мысленной репрезентации» движения испытуемого.

Особенность реализации второго алгоритма идентификации мысленных команд состоит в том, что в качестве исходной информации используются ряды экстремумов ЭЭГ – и максимумов, и минимумов – от множества отведений, определенные в соответствии с вышесказанным, то есть учитывается не только синхронизация, но и десинхронизация медленных биоэлектрических потенциалов.

Если исходить из представлений о том, что всякое движение абсолютно неделимо, то это означает, что определяющими являются сами факты появления экстремумов безотносительно к их величине и знаку. Поэтому для каждого момента астрономического времени, задаваемого таймером устройства регистрации ЭЭГ-сигналов, существует бинарный – состоящий из нулей и единиц – вектор, размерность которого определяется числом пунктов съема ЭЭГ-сигналов, а единицы соответствуют тем отведениям, для которых в данный момент имеет место экстремум.

Для того чтобы одновременно учитывать и пространственные, и временные особенности ЭЭГ во время воспроизведения реальных и мысленных движений, каждый из таких векторов включает в себя три последовательных момента наличия максимумов (минимумов) в отдельных отведениях ЭЭГ. Полученные таким образом векторы используются в дальнейшем анализе.

Для проведения численного анализа разработано специальное программное обеспечение, позволяющее отыскивать уникальные векторы экстремумов ЭЭГ, регистрируемой от множества отведений, а затем ставить эти векторы в соответствие конкретным реальным или мысленным движениям.

Поиск уникальных векторов ЭЭГ осуществляется следующим образом (рис. 2): на первом шаге программа в автоматическом режиме преобразует исходные данные в бинарные, осуществляя поиск экстремумов ЭЭГ по отведениям. Срезы, в которых максимумы отсутствуют, удаляются.

На втором шаге осуществляется поиск векторов экстремумов (максимумов и/или минимумов), соответствующих только определенному движению – реальному или мысленному. Программа позволяет осуществлять выбор нужных отведений и выбор критерия уникальности векторов, то есть учета количества появлений вектора в нескольких фрагментах одного движения. В результате получается массив уникальных векторов, который используется для классификации.

На третьем шаге полученный массив уникальных векторов загружается в качестве настроек разработанной программы для осуществления процесса классификации. На вход подаются новые массивы бинарных данных, не использованные для процесса обучения. Программа производит сравнение новых векторов с уникальными и в случае полного совпадения относит неизвестный вектор к одному из классов. Для каждого фрагмента накапливаются найденные уникальные векторы, и по процентному соотношению принимается решение об отнесении данного фрагмента к одному из классов.

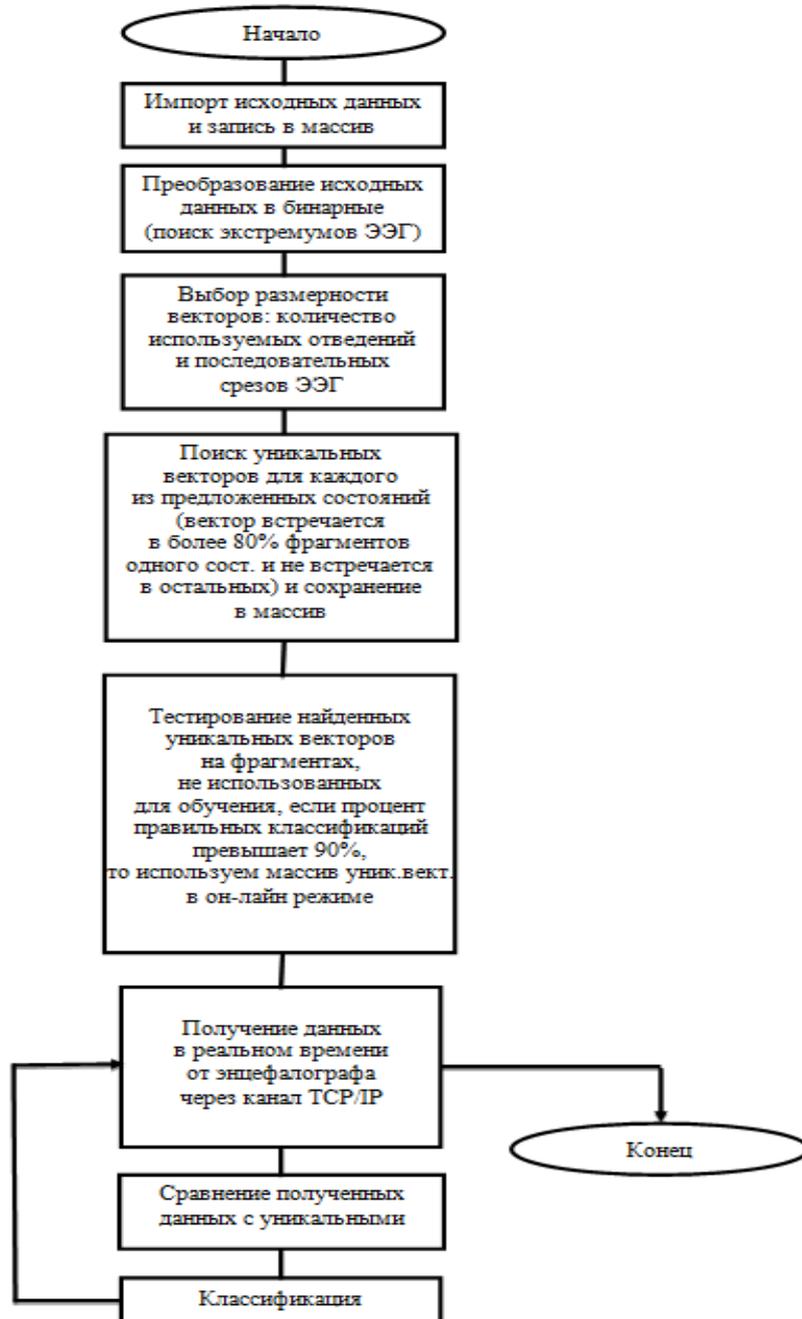


Рис. 2. Шаги (блок-схема) вычислений для построения уникальных векторов для одного конкретного движения (реального или мысленного)

На последнем шаге на выходе программы получается файл с результатами классификации, в котором указаны, с каким процентом каждый фрагмент отнесен к определенному классу, и перечислены найденные в нем уникальные векторы.

Экспериментальная проверка предложенного алгоритма вычислений

Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение было протестировано на экспериментальном материале, полученном в ходе специально организованного обследования. Это обследование было проведено на здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 25 лет. ЭЭГ-обследование проводилось с использованием установки «Энцефалан 121-3-1». Общий вид аппаратных средств и схема расположения электродов приведены на рис. 3 и 4. Эти средства включают в себя шлем с электродами для отведения ЭЭГ, миниатюрный электроэнцефалограф, систему беспроводной связи и универсальный вычислитель. Для анализа использовались ЭЭГ-эпохи длительностью 512 отсчетов (1024 мс). Регистрация осуществлялась поверхностно расположенных электродов монополярно от симметричных ($F_3, F_4, T_3, T_4, T_5, T_6, C_3, C_4, P_3, P_4$ и O_1, O_2) областей относительно объединенных референтных электродов, расположенных на мочках ушей (система «10-20»), в частотном диапазоне 0.03–60 Гц (см. рис. 4).

В работах [2, 3, 24, 15] описана постановка комплекса экспериментальных исследований, в ходе которых исполнителями решались разные по своей направленности исследовательские задачи в области ИМК на основе анализа ЭЭГ показателей реальных движений и их мысленных представлений, от постановки фундаментальных физиологических проблем до разработки практических алгоритмов вычислений и проверки точности классификации реальных и представляемых двигательных актов.

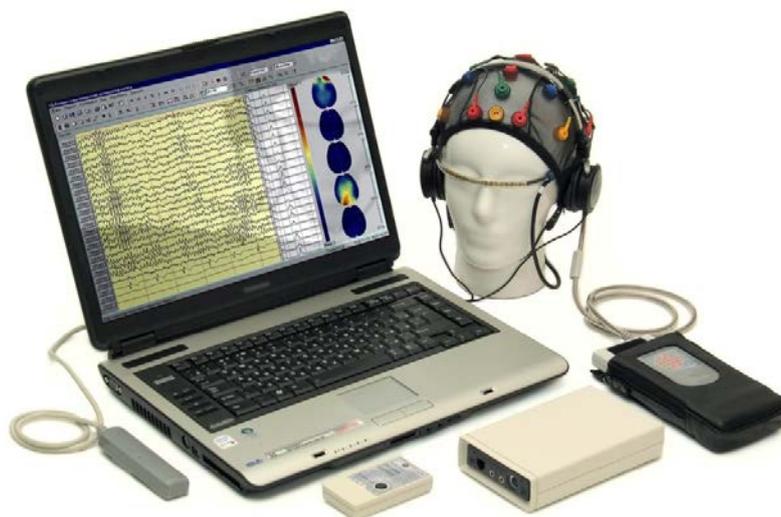


Рис. 3. Общий вид аппаратных средств ИМК

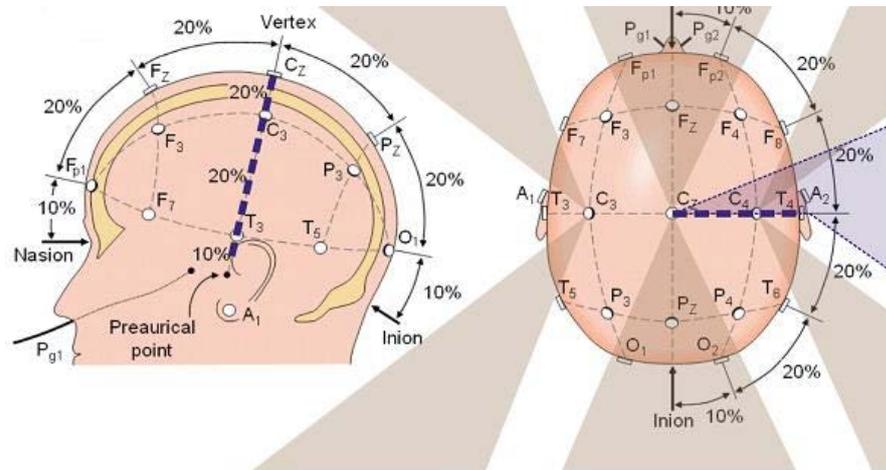


Рис. 4. Схема отведений ЭЭГ

Во время эксперимента испытуемым предлагалось выполнить ряд простых реальных и мысленных движений, связанных с пальцами рук и ног. Каждое движение выполнялось 10–20 раз с регистрацией электромиографической (ЭМГ) и ЭЭГ-активностей. ЭМГ использовалась в качестве метки для определения момента начала выполнения реального движения. По результатам экспериментов были сформированы массивы данных для дальнейшей обработки. Оказалось, что эти массивы пригодны также и для использования в качестве входных векторов в обучаемой нейронной сети. Уникальные векторы, используемые для идентификации реальных и мысленных движений, существенно различаются. Применение предложенного способа представления ЭЭГ и разработанных алгоритмов позволяют правильно идентифицировать реальные и мысленные движения с точностью от 80 до 95 %.

Полученные результаты, прежде всего, показали, что предложенная гипотеза о двух способах отражения в ЭЭГ реальных и мысленных команд нашла свое экспериментальное подтверждение, хотя и требует дальнейших исследований. Эти факты представляют особый интерес в свете интерпретации известных из практики обучения лиц опасных профессий. Имеют место различия в результатах готовности человека к предстоящей деятельности, когда в одном случае подготовка происходит на моделях умственной репрезентации теоретического материала (посредством «проигрывания» в уме предстоящих действий и с применением реалистичных моделей визуализации, построенных с помощью технологий виртуальной реальности, но обедненных по тем или иным причинам по составу требуемых от обучаемого исполнительных действий), а в другом, когда выполняются тренировки на тренажерах на полунатурных моделях, близких к реальной деятельности по составу фактических исполнительных действий.

Обсуждение полученных результатов построения ИМК в свете проблем человеко-машинных интерфейсов

Совершенствование интерфейсов в системе «человек–техника» является одним из стратегических направлений повышения надежности человеческого звена в ряде инженерно-психологических приложений, в том числе, имеющих отношение к пилотируемым космическим полетам. В числе перспективных подходов при этом называют многомодальные интерфейсы, которые позволяют более широко использовать традиционные для человеческого восприятия способы передачи информации (речевой, жестомимический и другие типы «естественного» для коммуникации людей интерфейса и разные варианты их комплексирования) [18, 19], а также интерфейсы «мозг–компьютер» (ИМК), которые ранее были недоступны для реализации в неинвазивных вариантах [5, 10, 11, 12, 30–33].

Первый подход преимущественно направлен на расширение набора «исполнительных звеньев» анализаторов и сенсоров, которые осуществляют передачу информации и ее прием как со стороны ЧО, так и со стороны технических устройств, чему во многом способствовал возрастающий интерес к применению «очувствленных роботов» и к их дистанционному управлению ЧО.

Множественность путей и каналов передачи данных позволяет найти рациональный вариант организации коммуникации в сложных условиях, в зашумленной обстановке, при отказах какого-то канала поддержания связи и пр. Второй подход, напротив, предполагает поиск путей «исключения потенциально излишних исполнительных действий», что, в какой-то степени, предполагает сужение понятийной базы в пользу построения более лаконичного и однозначно трактуемого по семантическому наполнению командного языка. Это не исключает комбинированного подхода, например, варианта, когда при передаче информации от робототехнического комплекса поддерживаются многомодальные интерфейсы, а со стороны человека – только ИМК.

На начальных этапах освоения новых технологий ИМК для целей супервизорного управления, в т.ч. и робототехническими системами, скорее всего, правомерно ограничиться достаточно узким набором команд, что облегчит интерпретацию этих команд и снизит риски последствий ошибок их идентификации. Насколько практична такая поставка и есть ли основания применения таких решений в эргатических системах в обозримом будущем?

Помимо ранее обозначенной проблемы обеспечения своевременного или даже экстренного включения ЧО в управление сложным объектом в условиях потенциального отказа техники, существуют и другие, достаточно актуальные направления практического внедрения такого рода исследовательских проектов. Достаточно очевидно, что частичная, острая потеря работоспособности и дееспособности человека может привести к необходимости экстренного включения средств спасения, вспомогательных средств жизнеобеспечения (таких как герметизация отсеков, принудительная вентиляция, очистка искусственной газовой среды на гермообъектах и пр.), а также автоматического приведения сложного эргатического комплекса в безопасную конфигурацию и вывода его на безопасный режим функционирования [6]. В этом случае, при условии, что будут решены проблемы успешного применения неинвазивных методов ИМК в реальной деятельности человека, во многих случаях важно инициировать режимы спасения и безопасного завершения работ, а для этих целей требуется относительно небольшой набор команд реализуемых ИМК для исполнения автоматом.

В свете проблем использования самых различных видов поддержки коммуникации в СЧМ в литературе все чаще обсуждается потребность в управлении компьютерными системами с использованием мысленных команд. Имеется множество ситуаций, когда важен учет психического состояния индивида, вовлеченного в сложные виды деятельности, включая контроль неосознаваемых реакций на проблемные ситуации. Определенное состояние мозговой активности можно интерпретировать как особую совокупность мысленных команд, отслеживание которых представляет значительный интерес, поскольку переводит на принципиально новый уровень прогноз развития ситуации подготовки и принятия решений на управление в сложной эргатической системе, в которую включен человек.

Так в информационных системах, которые отличает высокая динамичность смены информационных кадров и высокая изменчивость информационного поля, что характерно для новых систем визуализации на базе технологий виртуальной и дополненной реальности, есть основания полагать наличие, наряду с осознаваемыми событиями, значительной доли неосознаваемых, но значимых для линии поведения и деятельности индивида событий. В этих случаях большой интерес для потенциального использования представляют биоэлектрические маркеры неосознаваемых реакций человека на узнавание знакомых шаблонов в изображениях (или «сенсорных эталонов»). Их пространственная и порядковая структура как отражение психологически и физиологически значимых событий в процессе узнавания также может быть использована для реализации дополнительного информационного канала управления исполнительными устройствами.

Некоторые проблемные вопросы построения обучения человека выполнению умственных действий

Одна из хорошо известных трудностей построения ИМК состоит в том, что электроэнцефалограмма не имеет прямого замыкания на функциональные системы, ответственные за реализацию двигательного акта, и как источник информации изначально представляла собой экспериментально инспирированный способ регистрации мозговой активности, представляющий собой некое «внешнее отражение» протекания естественных физиологических процессов и скрытых от наблюдателя механизмов. Поэтому использование показателей ЭЭГ в качестве канала связи с внешними устройствами, то есть, по существу, встраивания в рукотворную искусственную функциональную систему управления, является нетривиальной задачей. В контуре ИМК необходимо использовать такие новые приемы нейрофизиологии и психофизиологии, которые пригодны для изучения и описания механизмов приобретения новых навыков и возможности произвольных сдвигов в ЭЭГ при работе ЧО как исполнительного и/или контролирующего звена СЧМ.

Одним из направлений в разработке неинвазивных ИМК является их построение на волне Р300 – кратковременной реакции ЭЭГ на ожидаемый стимул, но более редкий, чем другие стимулы, появляющийся в поле внимания человека [8, 28]. Возможные решения в рамках этой новой парадигмы построения ИМК представлены в работе [8].

Обращаясь к обсуждению экспериментальной части настоящей работы, можно утверждать, что современная техническая база обеспечения физиологических экспериментов позволяет при использовании развитых программно-аппаратных средств обеспечить надежное выделение паттернов ЭЭГ, соответст-

вующих реальному и мысленному выполнению движения, и по результатам идентификации сформировать классификатор.

Трудности обучения человека формированию устойчивых ментальных представлений заставляет обратить пристальное внимание на конструирование в дальнейшем такого экспериментального задания испытуемому, которое должно стимулировать у него ментальные представления о заданной двигательной задаче, что индуцирует тот или иной вариант активности центральных мозговых структур.

Приведенные в настоящей работе эмпирически полученные данные свидетельствуют в пользу дальнейшего углубленного изучения особенностей реального исполнения движений и их мысленной репрезентации, хотя уже сегодня данные многочисленных публикаций дают основание надеяться, что в перспективе мысленное управление и интерфейсы «мозг–компьютер» займут важное место среди других способов повышения качества информационных взаимодействий человека с автоматическими устройствами, но при этом важно правильно позиционировать эти методы в системе обеспечения готовности индивида к деятельности и построения в этой связи технических средств обучения.

Критически важным при построении систем поддержки ИМК является нахождение новых подходов к созданию классификатора, основанного на распознавании паттернов ЭЭГ при мысленном представлении фиксированного набора движений. В работе рассмотрен один из возможных способов решения такой задачи. Дальнейшие перспективы совершенствования представленного в работе методического подхода во многом связаны с модификацией предложенных алгоритмов для решения задач идентификации в реальном масштабе времени и построения классификатора реальных и мысленных действий.

Благодарности

Авторы выражают благодарность В.М. Усову за полезные обсуждения и конструктивную критику при подготовке настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М.: Медицина, 1975. – С. 17–59.
- [2] Асланян Е.В. Динамика выраженности высокочастотных компонентов ЭЭГ в условиях реальной и мысленной двигательной активности // Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Том 2. Симпозиум «Интерфейс «Мозг-Компьютер», 3-й Симпозиум по Нейроинформатике и Нейрокомпьютерам. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – С. 4–6.
- [3] Бахтин О.М. Когерентный анализ ЭЭГ показателей реальных движений и их мысленных представлений // Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Том 2. Симпозиум «Интерфейс «Мозг-Компьютер», 3-й Симпозиум по Нейроинформатике и Нейрокомпьютерам. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – С. 7–10.
- [4] Бобров П.Д. Источники активности мозга, значимые и незначимые для классификации паттернов ЭЭГ, соответствующих воображению движений / Бобров П.Д., Гусек Д., Коршаков А.В., Фролов А.А. // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2011. – № 12. – С. 3–5.
- [5] Бобров П.Д. Локализация источников электрической активности мозга, наиболее значимых для управления интерфейсом мозг-компьютер, основанным на воображении движений / Бобров П.Д., Фролов А.А., Мокиенко О.А., Черникова Л.А., Гусек Д. // Всероссийская с международным участием школа-конференция по физиологии мышц и мышечной деятельности: новые подходы к изучению классических проблем. – 2013. – С. 44.

- [6] Василец В.М. Основы методологического подхода к разработке бортового автоматизированного комплекса диагностики и коррекции состояния летчика / Василец В.М., Вартбаров Р.А., Пономаренко В.А., Сергеев А.И., Хоменко М.Н. // Эргономические проблемы разработки и функционирования систем авиакосмической техники. Серия «Эргономика». – М., 1993. – Вып. 1–2. – С. 13–19.
- [7] Владимирский Б.М. «Хронос и часы» (вопросы исследования и моделирования физиологического времени) // Научная мысль Кавказа. – 1998. – С. 3–9.
- [8] Ганин И.П. Интерфейс мозг-компьютер «на волне Р300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления / Ганин И.П., Шишкин С.Л., Кочетова А.Г., Каплан А.Я. // Физиология человека. – 2012. – № 2. – С. 5–13.
- [9] Завалова Н.Д. Принцип активного оператора и распределение функций между человеком и автоматом / Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. // Вопросы психологии. – 1971. – № 3. – С. 3–12.
- [10] Иваницкий Г.А. Распознавание типа решаемой в уме задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора // Сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2006». – М.: МИФИ, 2006. – Т. 3. – С. 217–224.
- [11] Иваницкий Г.А. Как определить, чем занят мозг, по его электрическим потенциалам? Устойчивые паттерны ЭЭГ при выполнении когнитивных заданий / Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Роик А.О., Иваницкий А.М. // Вопр. искусств. интеллекта. – 2008. – № 1(1). – С. 93–102.
- [12] Каплан А.Я. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии интерфейс мозг-компьютер / Каплан А.Я., Кочетова А.Г., Шишкин С.Л., Басюл И.А., Ганин И.П., Васильев А.Н., Либушкина С.П. // Бюллетень Сибирской медицины. – 2013. – Т. 12. – № 2. – С. 21–29.
- [13] Кирой В.Н. Интерфейс мозг-компьютер. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2011. – 236 с.
- [14] Маклаков А.Г. Общая психология: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2010. – 582 с.
- [15] Медведев С.Д. Дискриминантный анализ спектральных характеристик ЭЭГ для классификации реальных и представляемых двигательных актов / Медведев С.Д., Тамбиев А.Э., Олехнович Б.Б., Украинский Ю.А., Кан М.Н. // Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Том 2. Симпозиум «Интерфейс «Мозг-Компьютер», 3-й Симпозиум по Нейроинформатике и Нейрокомпьютерам. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – С. 17–19.
- [16] Мокиенко О.А. Основанный на воображении движения интерфейс «мозг-компьютер» в реабилитации пациентов с гемипарезом / Мокиенко О.А., Бобров П.Д., Черникова Л.А., Фролов А.А. // Бюллетень сибирской медицины, 2013. № 2. С.30-35.
- [17] Воображение движения и его практическое применение / Мокиенко О.А., Черникова Л.А., Фролов А.А., Бобров П.Д. // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2013. – № 2. – С. 195–204.
- [18] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Исследование многомодального человеко-машинного взаимодействия на базе информационно-справочного киоска // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – Т. 7. – № 4. – С. 22–26.
- [19] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Многомодальные интерфейсы: основные принципы и когнитивные аспекты // Тр. СПИИРАН. – 2006. – Т. 3. – № 1. – С. 300–319.
- [20] Сонькин К.М. Распознавание паттернов мозговой активности на основе метода символьной регрессии // Научно-технические ведомости СПбГПУ 2' (169) 2013. – С. 117–122.
- [21] Фролов А.А., Рощин В.Ю. Интерфейс «мозг-компьютер». Реальность и перспективы // Научная сессия МИФИ-2008. X Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2008»: Лекции по нейроинформатике. Ч. 1. – М.: МИФИ, 2008. – С. 82–125.
- [22] Принципы нейрореабилитации, основанные на использовании интерфейса «мозг-компьютер» и биологически адекватного управления экзоскелетом / Фролов А.А., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д., Мокиенко О.А., Платонов А.К., Пряничников В.Е., Черникова Л.А. // Физиология человека. – 2013. – № 2. – С. 99–113.

- [23] Черникова Л.А. Нейрореабилитация: современное состояние и перспективы развития // Русский медицинский журнал. – 2005. – № 22. – С. 1453–1456.
- [24] Шепелев И.Е., Владимирский Б.М. Построение нейросетевого классификатора для интерфейса «мозг–компьютер» // Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Том 2. Симпозиум «Интерфейс «Мозг–Компьютер», 3-й Симпозиум по Нейроинформатике и Нейрокомпьютерам. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – С. 26–29.
- [25] Шишкин С.Л. Интерфейс «мозг–компьютер»: тенденции и потенциал в технологиях, науке и искусстве. Курчатовский НБИК-центр // Материалы Второй Молодежной Школы Проекта «Биотехнологии в Нейронауках» (БиоН) «На пути к нейроморфному интеллекту: эксперименты: модели и технологии», 3–7 октября 2011 г. // Электронный ресурс URL: http://www.school2.neurobiotech.ru/sites/default/files/Shishkin_BioN.pdf доступ свободный, дата обращения 09.03.2014.
- [26] Интерфейс «мозг–компьютер» на основе волны P300: волна N1 и проблема дистракторов / Шишкин С.Л., Ганин И.П., Басюл И.А., Каплан А.Я. // Материалы XV Междунар. конф. по нейрокибернетике “ICNC-09” (Ростов-на-Дону, 23–25 сентября, 2009 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – Т. 2. – С. 30–33.
- [27] Farwell L.A., Donchin E. Taking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related potentials // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1988. V.70. – P. 510–523.
- [28] Sutton S, Braren M, Zubin J, and John ER. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700):1187–1188, 1965.
- [29] Tan D.S., Nijholt A. (Eds). *Brain-computer interface. (Applying our Minds to Human-Computer Interaction)*. Springer. 2010. 277 p.
- [30] Wolpaw J.R. Brain–computer interfaces as new brain output pathways // *J. Physiol*, 2007. 579.3. P. 613–619.
- [31] Wolpaw J.R., Birbaumer N., Heetderks W.J., McFarland D.J., Peckham P.H., Schalk G., Donchin E., Quatrano L.A., Robinson C.J., Vaughan T.M. Brain-Computer Interface Technology: a Review of the First International Meeting. // *IEEE Trans. Rehabil. Eng.* 2000. 8: 161–163.
- [32] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M. Brain-Computer Interfaces for Communication and Control // *Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, no. 6, pp. 767–791.
- [33] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M. Brain-Computer Interface for Communication and Control // *Clin. Neurophysiol.* 2002. 113: 767–791.
- [34] Zhu D., Bieger J., Molina G.G., Aarts R.M. A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs // *Computational Intelligence and Neuroscience*. Article ID 702357. 2010.

УДК 004.896:159.9

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОММУНИКАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО МИНИРОБОТА
ДЛЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖА
НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**
А.Н. Супотницкий, Р.А. Богачева

А.Н. Супотницкий (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
Р.А. Богачева (ООО «Нейроботикс»)

На основе информации по разработке и испытаниям минироботов за рубежом, исследований российских ученых анализируются возможности взаимодействия антропоморфных минироботов с членами экипажа пилотируемого космического комплекса (ПКК). Исследуются перспективы их использования для решения задач коммуникации и психологической поддержки экипажа ПКК в длительном космическом полете.

Ключевые слова: антропоморфный миниробот, длительный космический полет, коммуникация, пилотируемый космический комплекс, психологическая поддержка, экипаж.

**Study of Communication Opportunities and Prospects of the Use of the
Anthropomorphic Mini-Robots for Psychological Support of Crews
aboard the Manned Space Complex. A.N. Supotnitsky, R.A. Bogacheva**

Capabilities of the anthropomorphic mini-robots to interact with crewmembers of the manned space complex (MSC) have been analyzed using information on designing and testing such robots abroad and studies of Russian scientists. Prospects of using them to solve problems of communication and psychological support of the MSC's crew in long-duration space flight have been studied.

Keywords: anthropomorphic mini-robot, long-duration space flight, communication, manned space complex, psychological support, crew.

**Анализ опыта разработки
и возможностей использования минироботов**

Робототехника малых форм – это одно из актуальных направлений исследований и разработок в робототехнике в целом. Исследования в этой области направлены на создание небольших мобильных роботов с широкой перспективой применения в аэрокосмической отрасли, машиностроении, военно-промышленном и топливно-энергетическом комплексах, медицине и т.д. Крупнейшие промышленные фирмы и университеты США, Японии, Германии, Китая, Франции, России и других стран в настоящее время активно работают в этом направлении.

За счет малых форм кинематика таких роботов относительно проста, они являются более легкими и скоростными, эффективнее расходуют энергию, используются для глубоководных погружений, патрулирования территории, в том числе береговой охраны, образовательно-развлекательных, сервисных, социальных целей и т.д. Среди наиболее известных образцов можно выделить:

– антропоморфные минироботы: Nao, Kirobo, DARwIn-OP, Q.Bo, ROBO Builder, Novis, Bioloid и др.;

– минироботы по облику подобные различным видам живых существ: гепард Cheetah-Cub, черепаха U-CAT, ищущая затонувшие корабли, тюлень, собака Aibo и др.;

– минироботы, отличные по внешнему виду от живых существ: шар-путешественник ROSPHERE, квадрокоптер-акробат Mini Dron Parrot, боевая платформа MAARS и др.

К наиболее важным характеристикам минироботов относят область применения и функции. Антропоморфные минироботы Nao и DARwIn-OP ориентированы на массовый рынок, их основными потребителями являются образовательные учреждения, использующие эти минироботы для обучения инженеров, программистов, дизайнеров, психологов и т.д.

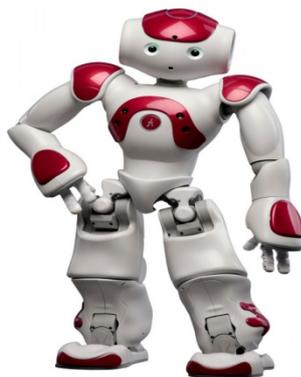


Рис. 1. Французский антропоморфный миниробот NAO

NAO (рис. 1) создан французской компанией Aldebaran Robotics. Его характеристики приведены в таблице [11]. Данный антропоморфный миниробот появился значительно раньше конкурента DARwIn-OP. Выпущено несколько его модификаций. Он принял участие в большом количестве исследований.

NAO может сидеть, вставать, ходить, танцевать, обходить препятствия, ударять ногами по объектам, хватать их и прочее. Благодаря модулю Wi-Fi, NAO может устанавливать подключение к Интернету для передачи и загрузки разнообразной информации.

Этот миниробот имеет два динамика и четыре высококачественных микрофона, благодаря которым может воспроизводить музыку в отличном качестве. Распознавая обращение к нему или звук, он может поворачивать голову на источник. Данный миниробот также может распознавать любой текст, а затем читать его вслух, таким образом общаясь с человеком. NAO может читать газеты, книги, электронные письма, делать и отправлять фотографии, снимать видео, с легкостью различать цвета, узнавать лица людей и в реальном времени передавать снятую информацию на компьютер или в сеть. Он обладает способностью самостоятельно ориентироваться в пространстве и выбирать наилучший маршрут движения, при этом обходя препятствия на своем пути, находить базу для зарядки, когда у него на исходе энергия [10].

NAO используется для обучения иностранным языкам, психологических исследований взаимодействия человека и робота, распознавания и следования за простыми предметами, выполнения ряда социальных функций (социализации детей-аутистов, проведения экскурсий и др.), проведения робототехнических соревнований.



Рис. 2. Американский миниробот DARwIn-OP



Рис. 3. Японский миниробот Kirobo космического назначения

Миниробот NAO обладает глазами, способными менять свой цвет «по настроению» (плачет, радуется, злится и т.д.), неподвижным ртом-динамиком, издающим звуки (может говорить на 19 языках), руками и ногами, позволяющими ему имитировать некоторые жесты и позы.

Миниробот DARwIn-OP (рис. 2) создан американской компанией Robotis при участии лаборатории Romela Политехнического университета штата Вирджиния. Сведения об этом роботе приведены в таблице [9].

Данный миниробот используется преимущественно для обучения робототехнике в вузах и участия в робототехнических соревнованиях. Светодиодная подсветка глаз, так же как и в случае с NAO, позволяет минироботу выражать эмоции, а движениями рук и ног имитировать жесты и позы. С помощью подобных минироботов можно отрабатывать некоторые способы взаимодействия с человеком в земных условиях, а для космических целей конструировать миниробота по итогам таких исследований.

Антропоморфный миниробот Kirobo разработан в рамках проекта KIBO ROBOT PROJECT совместно с Токийским университетом компаниями ROBO GARAGE, Toyota Motor и Аэрокосмическим исследовательским агентством Японии. Kirobo (рис. 3) изначально создавался не для массового рынка. Это более износостойкий и дорогой миниробот для исследовательских целей. Именно из-за жестких требований к весовым характеристикам грузов, доставляемых на борт Международной космической станции (МКС), удобства проведения эксперимента в качестве объекта исследований японскими учеными использовался антропоморфный миниробот, размерами и видом напоминающий ребенка. Вероятно с его «детскостью» можно связать такие качества и свойства «личности» антропоморфного миниробота, как ограниченный «интеллект», наивность речи и простоту в поведении, послушность, доверчивость, которые свойственны человеку в детском возрасте. Некоторые сведения об этом минироботе приведены в таблице. Несмотря на свои весьма скромные размеры и малый вес, такой миниробот обладает набором полезных качеств, направленных, прежде всего, на коммуникацию и психологическую помощь астронавтам во время длительных космических полетов.

Сведения об антропоморфных минироботах

№ п/п	Наименование характеристик и устройств	НАО (Франция)	DARwIn-OP (США)	Kirobo (Япония)
1	Габариты (см)	Рост – 58	Рост – 45,5	Рост – 34 Ширина плеч – 18 Толщина – 15
2	Степени свободы	25	20	20
3	Процессор, операционная система	2-ядерный, Linux	Intel Atom Z530 @ 1.6GHz ARM 32-bit Cortex-M3 72MHz	Android
4	Техническое зрение	4 HD камеры	2-мегапиксельная HD USD камера	2 камеры (записывающая, распознавания лиц)
5	Технический слух	4 микрофона	3 микрофона	–
6	Датчики давления	2 в ступнях	–	–
7	Датчики ускорения	Акселерометр	Акселерометр	Акселерометр
8	Датчики углов относительно центра масс	2 гироскопа	3-осный гироскоп	3-осный гироскоп
9	Тактильные датчики	9	–	–
10	Источник питания	Встроенный аккумулятор	Встроенный аккумулятор	Встроенный аккумулятор, бортовая сеть
11	Время автономной работы (ч)	1,5	0,5	–
12	Вес (кг)	4,3	2,8	1
13	Связь с роботом	Через сетевой кабель, по Wi-Fi	Через сетевой кабель, по Wi-Fi	–
14	Стоимость (тыс. руб.)	205	900	Готовится к продаже

При конструировании антропоморфного миниробота космического назначения учитывалась необходимость его адаптации к условиям космического полета. Для этого он должен «уметь» ориентироваться в пространстве МКС, двигаться и осуществлять взаимодействие с членами экипажа с учетом условий реального полета. Основной целью бортового эксперимента являлось детальное изучение коммуникации астронавта с антропоморфным минироботом, определение возможности его использования при проведении космических исследований.

Kirobo оснащен системой распознавания голоса и слов естественного (японского) языка, блоком обработки вопросов и формирования ответов на них, синтезатором речи, видеокамерой для записи изображений и аудиоинформации, блоком распознавания лиц, жестов и эмоций человека. Он также обладает способностью к телекоммуникации [1].

К функциям Kirobo относятся, помимо операций автоответчика, обеспечение голосовой связи и электронной почты, а также публикации сообщений и фотографий от астронавтов в социальных сетях Twitter, где у Kirobo есть свой блог, и Facebook (коммуникация миниробота с Интернетом и через Интернет).

Анализ основных задач и результатов исследований антропоморфного миниробота космического назначения Kigobo

Из анализа информации в источниках [11–19] следует, что бортовой эксперимент с многофункциональным антропоморфным минироботом Kigobo был нацелен на решение большой группы разнообразных исследовательских и испытательных задач, в том числе:

- проверка способности передвижения, навигации и ориентирования (локализации) внутри орбитальной станции в условиях невесомости;
- коммуникация на борту МКС (объекты коммуникации: астронавт, технические средства связи);
- удаленная коммуникация с Центром управления полетами (ЦУП), с минироботом-аналогом через Интернет;
- установление дружеского общения и ведение диалога с японским астронавтом;
- слежение, оценка и поддержание эмоционального состояния членов экипажа;
- определение возможности использования миниробота для обслуживания МКС и проведения некоторых научных экспериментов.

На возможное скептическое отношение к космической миссии антропоморфного миниробота Kigobo могут серьезно повлиять результаты проведенного на МКС эксперимента и анализ перспектив использования такого миниробота в будущем. В процессе экспериментальных исследований удалось установить, что миниатюрный робот-андроид обладает большими функциональными возможностями. Данный миниробот может:

- двигаться, ориентироваться в трехмерном пространстве в условиях невесомости, при разговоре он держит своего собеседника в поле зрения;
- получать, обрабатывать и интерпретировать широкий спектр информации (распознавать лица, голоса, эмоции и жесты, запоминать новые слова);
- реагировать на устные команды и жесты, совершать некоторые действия по указаниям, полученным по Интернету (через Twitter);
- искать и находить отдельные предметы;
- снимать и передавать информацию (фотографии) по беспроводной связи;
- записывать и передавать по беспроводной связи аудио- и видеoinформацию;
- вести диалог с астронавтом (отвечать на вопросы) и запоминать разговор;
- вести сеанс связи с борта МКС и передавать сообщения из ЦУПа экипажу;
- самообучаться в процессе своей деятельности;
- использоваться в качестве бортового средства психологической поддержки экипажа;
- применяться при выполнении некоторых работ по обслуживанию МКС;
- быть помощником при проведении научных экспериментов.

Главным результатом бортового эксперимента явилось подтверждение возможности и перспективности благополучного сотрудничества на борту МКС антропоморфного миниробота с членами экипажа МКС.

Использование антропоморфного миниробота на борту МКС имеет как преимущества, так и недостатки. Его легче доставить на борт МКС из-за малого веса и размеров. На борту МКС антропоморфный миниробот занимает мало места. При его движении и соударениях с поверхностью МКС не создается опасности

для повреждения антропоморфного миниробота или оборудования орбитальной станции. Размеры его никак не связаны с уровнем его интеллекта. Он более мобилен, чем робот больших размеров, обладает меньшей инерцией массы тела. Поэтому отработка антропоморфным минироботом передвижения, навигации и позиционирования на борту МКС облегчается. Он легче стабилизирует положение в пространстве и требует меньших усилий для движения. Усилия «рук», которые может развивать антропоморфный миниробот, незначительны. Поэтому его применение ограничено. Он не может быть использован для выполнения на борту ремонтных и монтажно-демонтажных работ, требующих значительных усилий, перемещения больших грузов.

Анализ использования антропоморфного миниробота в качестве средства коммуникации в космическом полете

В настоящее время среди конструкторов существует понимание того, что антропоморфные минироботы космического назначения, предназначенные для работы в составе экипажа, должны быть социальными (способными к пониманию людей и себя в социальном контексте), коммуникативными (способными устанавливать и поддерживать отношения в экипаже, с минироботом-дублером и с ЦУПом), обучающимися и максимально приближенными к астронавту (космонавту) в своем поведении, сервисными (для выполнения функции обслуживания) и в какой-то мере узкопрофессиональными в плане выполнения некоторых функций астронавтов (космонавтов). Способность устанавливать и поддерживать социальные отношения в экипаже, развивать свои социальные компетенции будет являться одним из основных функциональных свойств антропоморфных минироботов космического назначения.

В связи с использованием астронавтами (космонавтами) антропоморфных минироботов в условиях космического полета решается классическая задача инженерной психологии – согласование психофизиологических возможностей астронавта (космонавта) и антропоморфного миниробота. Это связано с тем, что существует сложная «проблема симбиоза между системами разной природы: биологическими, наделенными механизмами психического отражения и активного целеполагания, и техническими, реализующими алгоритмы и технологии искусственного интеллекта» [8].

Американские ученые провели интересное исследование, посвященное изучению отношения человека к антропоморфному минироботу и взаимодействию системы «антропоморфный миниробот НАО–человек». В ходе исследования они пришли к выводу, что «наше дружелюбное отношение [к минироботу], иногда не более чем условный рефлекс [ответ] на его заботу» [7]. В эксперименте выяснилось, что, когда люди получают от антропоморфного миниробота помощь, они воспринимают его как полезного соратника, ценного помощника. С другой стороны, если часто приходится помогать такому минироботу, обслуживать и настраивать его, то к НАО формируется отношение, как к отвлекающей время и ресурсы, даже раздражающей машине. В первом случае отношение людей к антропоморфному минироботу можно оценить как положительное, формирующее определенное доверие к нему. Если такой миниробот демонстрирует интеллектуальное поведение, то он воспринимается как «умный» и в глазах людей обретает некоторые естественные человеческие качества.

Именно фактор доверия и его уровень способны серьезно повлиять на характер отношений. Если иметь в виду использование антропоморфного миниробота в

космосе, то ясно, что уровень доверия к нему должен быть высоким в тех случаях, когда цена ошибки действий экипажа велика. Доверие зависит от различных факторов, в том числе: надежности антропоморфного миниробота, понимания экипажем его реальных возможностей, которое необходимо формировать при подготовке экипажа, оценки адекватности его действий в процессе полета и др. Можно предположить, что критерием обоснованного доверия является в целом положительное, доброжелательное отношение экипажа к антропоморфному минироботу.

Устройства, активно взаимодействующие с человеком, должны быть до определенной степени похожими на людей, чтобы функционировать в среде, максимально приспособленной для пребывания и деятельности человека, особенно одновременно с человеком, сходным образом ориентироваться в мире и быть безопасными, а также вызывать доверие.

В настоящее время существует понимание того, что эффективная коммуникация миниробота и человека должна базироваться на глубоком понимании коммуникационного процесса и правильном выборе модели его поведения. Вместе с тем, несмотря на возможности повышения «интеллектуальности» антропоморфного миниробота, использования гибридных и диффузных свойств его «интеллекта», совершенствование понимания смысла и выбора оптимальной модели коммуникации, всякий раз существует некоторый предел достижения эффективных условий естественной социальной коммуникации. Нельзя не заметить, что разработка и испытания в невесомости мобильного антропоморфного миниробота-коммуникатора является элементом общей стратегии создания роботов с развитым многомодальным интерфейсом.

На практике оказалось, что такой миниробот может выполнять достаточно важную функцию коммуникации в сложной техногенной среде пространства МКС. Коммуникация может быть вербальной и невербальной (знаки, жесты, мимика). Ввиду селективных свойств диффузного «интеллекта» в организованной среде его «внимание» может быть направлено на несколько объектов одновременно.

Общая схема коммуникации антропоморфного робота Kirobo показана на рис. 4. Действительно, процесс разветвленной коммуникации предусматривает включение его в сложные отношения сотрудничества, совместную деятельность с экипажем, бортовым комплексом («машиной»), минироботом-аналогом на Земле, ЦУПом. При этом указанные выше отношения доверия к антропоморфному минироботу рассчитаны на подготовленного члена экипажа, знающего его реальные возможности и особенности поведения.

При необходимости антропоморфный миниробот, в соответствии с рис. 4, может быть использован как посредник-коммуникатор между двумя астронавтами, астронавтом и Интернетом, астронавтом и минироботом-близнецом и помощником (Mirata) на Земле, ЦУПом. Действуя как посредник между астронавтами, работая в одной команде с экипажем, антропоморфный миниробот выполняет функции, свойственные социальным роботам. Для построения правильной стратегии коммуникации для антропоморфного миниробота-коммуникатора необходимо расставить как общие, так и условные приоритеты взаимодействия. В связи с этим ключевым является определение статуса бортового миниробота и его агентов. Он может быть равноправным по отношению к минироботу-дублеру, но не может быть выше статуса астронавтов (космонавтов) и ЦУПа. Не исключается повышение статуса антропоморфного миниробота в случае невозможности выполнения экипажем некоторых своих функций.

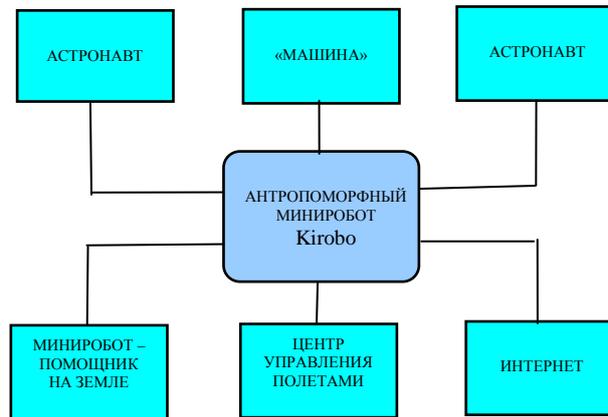


Рис. 4. Общая схема коммуникации антропоморфного миниробота Kirobo

«Машина» (рис. 4) – это обобщенное название бортовых средств, устройств и систем, с которыми миниробот Kirobo так или иначе взаимодействует. К его взаимодействию с «машиной» относятся: функции контроля определенного информационного поля по признакам отклонения показателей от нормы, в том числе состояния сигнализации, автоматически работающих экспериментальных установок (при отсутствии в зонах их расположения астронавтов и космонавтов) и оперативного информирования членов экипажа об изменениях в информационном поле (в пределах зоны обзора). Для этого данному минироботу необходимо будет воспользоваться голосом или средствами бортовой связи. В этом случае к человеко-машинной системе «антропоморфный миниробот–машина» (пульт управления и контроля, экспериментальные установки) прибавляется новое звено: «антропоморфный миниробот–средства бортовой связи–астронавт (космонавт)». Из рис. 4 следует, что антропоморфный миниробот в определенной степени интегрирует в сложной техногенной среде орбитальной станции несколько объектов при решении задач управления, контроля и коммуникации: бортовую технику, человека (астронавтов и космонавтов), миниробота-помощника на Земле, возможности сети Интернет, ЦУП.

Возникает вопрос, как антропоморфный миниробот будет наилучшим образом позиционировать себя при решении задач контроля. Обычно предлагается использовать для этого соответствующие характерные метки, а также уникальные элементы внутрикорабельного интерьера, световые элементы (светящиеся экраны, лампы освещения и др.) и звуковые индикаторы (издающие шум вентиляторы). Не исключается также применение антропоморфным минироботом бортового навигатора, сообщающего по запросу миниробота координаты его местоположения и направление движения.

Обладая многомодальным интерфейсом, антропоморфный миниробот сможет параллельно решать несколько функциональных задач коммуникации в соответствии с расставленными приоритетами, что тоже может быть одной из целей исследования. Одной из проблем для него при этом будет необходимость держать в поле внимания несколько объектов (астронавтов, пульта управления и контроля, экспериментальные установки), что не всегда возможно.

Важно отметить, что до настоящего времени еще остается нерешенной сложная задача определения меры автономности и самоорганизации поведения антропоморфного миниробота в сложной техногенной, социальной и информационной средах. В некоторых случаях при наличии и отсутствии с ним визуального контакта внутри орбитальной станции возможно использование дистанционного интерактивного управления мобильным антропоморфным минироботом с помощью специальных пультов. При этом оператору-астронавту (космонавту) необходимо получать по беспроводной связи информацию о текущем местоположении антропоморфного миниробота, окружающей обстановке, его состоянии, обеспечивать формирование и передачу команд управления.

Находящиеся в поле зрения антропоморфного миниробота объекты могут фотографироваться и подвергаться видеосъемке автоматически, а фотоизображения и видеоматериал фиксироваться в памяти бортового компьютера или сразу предаваться на Землю по сети Интернет. В процессе контроля выполняемых астронавтом (космонавтом) алгоритмов работ, такой миниробот может отслеживать последовательность действий астронавтов (космонавтов) оперативно, по их запросу, давать необходимую дополнительную информацию и, может быть, формулировать подсказки оператору. Кроме того, оперативно фиксируемые им контрольные видеоданные могут быть в некоторых случаях более информативными, чем получаемая с борта телеметрическая информация. Как небольшой по размерам и мобильный видеоинформатор, антропоморфный миниробот-коммуникатор сможет легко менять позицию для наблюдения на борту МКС как по указаниям с группы управления, экипажа, так и самостоятельно и координировать свою деятельность с другими минироботами. Выполнение таких операций также может быть целью дальнейших бортовых испытаний антропоморфных минироботов.

Нельзя не заметить, что применение в сложной техногенной среде ПКК мобильного антропоморфного миниробота с многомодальным интерфейсом позволит расширить решение части задач коммуникации. Новым подходом может быть предложение о предоставлении при этом мобильному антропоморфному минироботу некоторой автономности в сфере коммуникации и соответствующее ее обеспечение способом создания интеллектуальной среды (информационных средств и услуг).

Повышение качества коммуникационного взаимодействия авторам работы [3] видится на пути решения эргономической задачи выбора средств и способов коммуникации экипажа с целью расширения возможностей взаимодействия с интеллектуальным искусственным агентом (роботом-помощником экипажа). Существуют трудности решения этой задачи с учетом наличия у него ограниченных сенсорных функций и интеллектуальных возможностей, многочисленных вариантов конкретных ситуативных условий обстановки, которые должны учитываться и преодолеваться соответствующим образом.

Фактически японский антропоморфный миниробот Kirobo уже имеет многомодальный пользовательский интерфейс, который воспринимает, объединяет информацию от нескольких ограниченных по уровню восприятия естественных каналов (слух, зрение, осязание). Разработчики данного миниробота пошли по пути совершенствования коммуникации способом включения миниробота в связь с новыми агентами (Интернет, миниробот-помощник, ЦУП) и использования миниробота в качестве посредника в цепочках коммуникации (например, «астронавт-антропоморфный миниробот-астронавт», «машина-антропоморфный миниробот-астронавт», «астронавт-антропоморфный миниробот-ЦУП»).

Некоторые возможности и перспективы использования антропоморфных минироботов для психологической поддержки экипажа в длительном космическом полете

Для решения задачи использования антропоморфных минироботов для психологической поддержки экипажа в длительном, прежде всего, межпланетном космическом полете необходимо указать на главную проблему при организации таких полетов. Она заключается в необходимости обеспечения психологической поддержки длительной экспедиции. Конечно, изначально существует понимание того, что для членов экипажа в этом случае будут важны новые элементы общения при существующих ограничениях по его составу.

Для дальнейших исследований воспользуемся определением психологической поддержки, данным О.Г. Газенко и А.И. Бурназяном. Психологическая поддержка космонавтов – это комплекс профилактических и коррекционных средств, методов и мероприятий для поддержания у космонавтов эмоционального и рабочего тонуса, предупреждения (компенсации) недостатка сенсорных и социальных стимулов среды обитания, обеспечения благоприятного психологического климата на борту и в контуре взаимодействия «борт–Земля» в длительном космическом полете [5].

Психологическая поддержка направлена на мобилизацию включенности членов экипажа в сферу общения, сохранение у космонавтов хорошего самочувствия, настроения и высокой работоспособности. При использовании антропоморфного миниробота она в значительной степени должна базироваться на обеспечении экипажа информацией, значимой в различных аспектах: эмоциональном, индивидуально-личностном, социально-психологическом с учетом характерологических особенностей членов экипажа.

Исходя из содержательной части этого определения, необходимо ответить на ряд возникающих вопросов. Можно ли рассматривать антропоморфного миниробота, обладающего искусственным интеллектом, как часть комплекса профилактических и коррекционных средств психологической поддержки экипажа? Какие новые возможности дает его присутствие и использование с точки зрения получения дополнительных методов и мероприятий поддержания эмоционального и рабочего тонуса, компенсации недостатка сенсорных и социальных стимулов среды обитания? Действительно ли антропоморфный миниробот будет оказывать благотворное влияние на психологический климат на борту ПКК?

В настоящее время психологическая поддержка экипажа в космическом полете, несмотря на наличие хронического стресса, осуществляется дистанционно и кратковременно по каналам радио- и телесвязи с ЦУПом. Для длительных, межпланетных полетов, а также периодов выполнения сложных и опасных работ, аварийных ситуаций, грозящих экипажу травмами и даже гибелью, в особенности на большом удалении от Земли (межпланетные полеты), характерен повышенный уровень тревоги, отсутствие постоянной устойчивой связи с ЦУПом. В этом случае представляют интерес дополнительные бортовые средства и методы оперативной психологической поддержки экипажа.

Будем исходить из рабочей гипотезы, что использование антропоморфных минироботов, вероятно, может иметь перспективу в сфере познавательной, эмоционально-волевой, поведенческой, межличностной и внутригрупповой (в экипаже) психологической поддержки.

В связи с этими важными функциями антропоморфного миниробота будет являться мониторинг и оценка эмоционально-психологического состояния экипажа непосредственно на борту ПКК, регистрация изменений в настроении членов экипажа. Особенно важно при этом прогнозирование и фиксация наличия дезадаптивных состояний, вызванных острыми психическими переживаниями. Однако это возможно, когда астронавты (космонавты) или астронавт (космонавт) находятся в поле зрения антропоморфного миниробота постоянно или определенный промежуток времени. Не исключается его перемещение в нужную область ПКК или получение дополнительной информации от бортовых телекамер, от миниробота в ЦУПе или от другого бортового миниробота.

Важным элементом функционала антропоморфного миниробота является выявление отклонений состояния и настроения членов экипажа, базирующееся на анализе и оценке изображений лиц астронавтов (космонавтов). Для этой цели его предлагается оснастить программой лицевой (мимика лица, артикуляция губ, положение головы) идентификации. Используя снимки лиц членов экипажа, обученный антропоморфный миниробот будет не только распознавать их, но при этом он будет в состоянии определить причины и симптомы напряженности, усталости, раздражения, делать надлежащие выводы и даже вступать в адекватные формы общения.

Использование антропоморфного миниробота в качестве нового средства психологической поддержки в длительном, особенно в межпланетном, полете по сравнению с запланированными сеансами связи с Землей имеет преимущество в плане свободы оперативного выбора экипажем как времени общения (под настроение), так и темы общения. При этом общение с данным минироботом может быть как межличностным, так и коллективным (для всего экипажа). Для этого потребуется предварительная разработка психологами сценариев и содержания сеансов психологической «разгрузки».

В настоящее время присутствие антропоморфного миниробота на борту МКС является частью программы по изучению потенциала дружеского общения, корректирующего воздействия минироботов-андроидов на психику членов экипажа, изолированных от общества на долгое время, которое может быть насыщено событиями как предсказуемыми, так и неожиданными. При этом взаимодействие антропоморфных минироботов и астронавтов подразумевает определенное, предварительно сформированное и опробованное, скажем, во время тренажной подготовки или совместной деятельности в полете, дружеское отношение экипажа к антропоморфным минироботам [1].

Постановка и поиск решений задачи установления дружеского контакта в процессе диалогового взаимодействия антропоморфного миниробота и астронавта (космонавта) является новой и, возможно, одной из самых интересных и полезных его функций, которая в перспективе может быть использована в системе диалогового взаимодействия бортового антропоморфного миниробота и экипажа.

Для реализации функции психологической поддержки, с точки зрения возможностей и ограничений, наиболее подходящими моделями, на наш взгляд, являются антропоморфные минироботы Nao, DARwIn-OP и Kirobo. Каждый из этих минироботов, прежде всего, исследовательская платформа, которая за счет малых размеров позволяет отработать различные сценарии поведения, минимизируя при этом риски нанести вред человеку или самому устройству.

Вместе с тем, эмпирические данные по оценке воздействия социальных роботов, разработанных для деятельности в рамках ассистивной (от англ. assistant –

подручный, помощник, ассистент) среды, не приспособленной для жизни человека, требующей той или иной помощи, свидетельствуют о положительных эффектах социальной робототехнической терапии и психологической коррекции. Это проявляется в виде снижения уровня стресса, создания позитивного настроения, уменьшения чувства одиночества, повышения активности общения [8].

Для достижения цели успешной межличностной коммуникации собеседникам необходимо быть максимально внимательными друг к другу, чтобы уловить именно те смыслы, которые вкладывает в свою речь говорящий, воспринять, в том числе, и его невербально выраженную часть смыслов. Это же правило верно для коммуникации между человеком и антропоморфным мини-роботом.

В зависимости от психологических типов членов экипажа мы приближаемся к вопросу о выборе темперамента антропоморфного мини-робота. В этом смысле вполне можно говорить о его индивидуально-своеобразных свойствах поведения, отражающих динамику деятельности, проявляющуюся независимо от ее целей, мотивов и содержания, даже о возможном темпераменте антропоморфного мини-робота (флегматик, холерик, сангвиник и меланхолик) или степени его приближения к одному из этих типов.

В настоящее время психологами для внешнего отображения пространства эмоций, независимо от национальности и культурного уровня человека, в координатах «возбужденность–невозбужденность», «удовольствие–неудовольствие» предложено использовать базовые и промежуточные эмоциональные состояния [4]. В том числе: радость (настороженность, взволнованность, ликование), гнев и страх (неудовольствие, стресс, нервозность, напряжение), грусть (скука, раздражение, депрессия), расслабленность (удовольствие, безмятежность, спокойствие). При этом бортовым антропоморфным мини-роботом должны решаться задачи воспроизведения фоновых состояний лица астронавта (космонавта) и оценки его реального состояния по выражению лица, полученному в результате компьютерной обработки.

В перспективе, вероятно, возможно создание и использование экспериментального бортового комплекса средств психологической экспресс-поддержки экипажа, контуры которого в настоящее время начинают постепенно выявляться. По существующим в настоящее время представлениям, в состав такого комплекса желательно включить один или два бортовых мини-робота, компьютер психологической поддержки, Интернет-портал психологической поддержки, набор программ психологической поддержки и диагностики, обновляемый блок информации психологической поддержки, содержащий разделы различной тематической направленности и др.

Для разработки программы управления процессом «дружеского общения» антропоморфного мини-робота с членами экипажа необходимо решение ряда новых задач, в том числе:

- достаточно глубокое изучение индивидуальных особенностей каждого члена экипажа; помимо типологических данных (лицо, мимика, голос, жесты), которые могут служить ему «фоновой» информацией для идентификации члена экипажа, собирается база данных, в которую входит круг его интересов, сведения о семье, друзьях, быте, увлечениях и т.д.;
- разработка методики и программы оценки указанных «отклонений» в состоянии (настроении) члена экипажа по сумме указанных признаков;
- разработка адаптивной модели инициативного (автономного) поведения антропоморфного мини-робота в процесс «общения» с экипажем;

– разработка индивидуальных программ «общения», включающих различные варианты тем «общения», отвечающих требованиям эмоциональной значимости для каждого члена экипажа и, возможно, неожиданных по содержанию (в виде приятного сюрприза), в том числе может быть использована любимая мелодия, юмористические выражения (рассказы), обращение близких (речь) людей, «зарисовки» природы, осмысление космической миссии и прочее;

– для развития диалога с антропоморфным миниروبотом организуется естественная для экипажа коммуникативная среда [3].

Для обеспечения «общения» экипажа с антропоморфным миниروبотом необходимо выполнение ряда предварительных условий, в том числе:

– экипаж должен быть подготовлен к такому «общению» (знать его возможности и ограничения, особенности поведения робота и др.);

– требуется глубокое и всестороннее изучение индивидуальных особенностей членов экипажа (особенностей характера, темперамента, интересов, круга общения, семьи др.);

– антропоморфный миниробот должен «знать» исходные, характерные, индивидуальные особенности поведения (привычки) каждого члена экипажа и обязательно учитывать их в процессе «общения», оценки их текущего состояния и его коррекции;

– составление и использование индивидуальных программ общения антропоморфного миниробота с каждым членом экипажа;

– целесообразно использование в процессе «общения» набора различных тем (функциональная музыка, аудиописьма, цветковые и визуальные сюжеты, фотографии, голоса друзей и родных, психорегулирующие упражнения, приятные сюрпризы, что-то из увлечений и др.).

Антропоморфного миниробота с феноменальными языковыми возможностями целесообразно использовать как посредника (переводчика) для лучшего взаимопонимания в международном экипаже. Он может быть полезен при выполнении некоторых работ по обслуживанию МКС, быть помощником при проведении отдельных научных экспериментов, выполнять функции средства информационной поддержки, для чего он может предлагать астронавту (космонавту) актуальную информацию, нужную в конкретный момент деятельности. Действительно, он может подсказать, где какой предмет находится на МКС, напомнить инструкции в нужный момент времени, ответить на интересующие вопросы из категории специальных знаний и т.п.

Концепция разработки антропоморфного миниробота космического назначения в идеальном варианте должна быть, по всей видимости, следующей: интеллектуально сильный, надежный, внимательный и заботливый, в восприятии астронавтов и космонавтов миниробот-помощник – милое, симпатичное существо, похожее на человека. Не требующий особых забот и внимания у экипажа, он может быть полезным помимо выполнения своих функций в сфере коммуникации, сервисного обслуживания и научных исследований. Будучи способным, не вызывать особого раздражения у экипажа, более того, погасить негативные эмоции и вызвать доброе настроение, он может пользоваться его симпатией и расположением к сотрудничеству.

Заключение

Из материалов статьи следует, что было бы большой ошибкой и недоразумением рассматривать антропоморфного миниробота в качестве забавной «космической игрушки», предназначенной для развлечения астронавтов и космонавтов.

В действительности мы имеем дело с исследовательской платформой с искусственным интеллектом, объектом для проведения исследований с целью определения полезных функций, которые могут быть востребованы при выполнении длительных космических полетов.

Проведенные исследования достаточно убедительно свидетельствуют о наличии нескольких перспективных направлений использования на борту ПКК антропоморфного миниробота. В связи с этим следует, прежде всего, указать на его использование в качестве мобильного средства коммуникации, информационной и психологической поддержки экипажа.

На наш взгляд также имеется реальная возможность и перспектива применения антропоморфного миниробота в качестве мобильного «контролера» не только состояния членов экипажа, но и элементами бортового оборудования многомодульного ПКК в длительном космическом полете.

Мы считаем, что имеет смысл рекомендовать включение антропоморфного миниробота в состав экспериментального бортового комплекса психологической поддержки экипажа ПКК в длительном космическом полете для снижения уровня стресса, создания позитивного настроения, уменьшения чувства одиночества, повышения активности общения в экипаже.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Новости космонавтики. – № 10. – 2013. – С. 26.
- [2] Бройль Т. Встраиваемые робототехнические системы. – М-И.: Институт космических исследований, 2012.
- [3] Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом-помощником экипажа / Р.М. Юсупов, Б.И. Крючков, А.Л. Ронжин, В.М. Усов [Текст] // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(8). – 2013. – С. 23.
- [4] Сергеев С.Ф., Сергеева А.С. Проблема квазисоциального интерфейса в робототехнических средах // Труды международной науч.-техн. конф. «Экстремальная робототехника». – С-П: Изд. ЦНИИ робототехники и технической кибернетики [eр.ttc/ru]. – 2014. – С. 22–31, 331–340.
- [5] Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х томах. – Аником, 2001. – Т. 1. – С. 367.
- [6] Богачева Р.А., Супотницкий А.Н. Первые шаги и перспективы развития коммуникации и психологической поддержки космонавтов при помощи социальных роботов // Гуманитарная информатика. – Т. 9. – Томск, 2015.
- [7] <http://> Первый говорящий робот запущен в космос. Mht.
- [8] <http://Gtronetchnjlogy-review.pdf>
- [9] <http://nanojam.ru/produkts/darwin-OP>
- [10] <http://robotek.com.ua/androidnye-roboty/13-nao-h25-next-gen.html>
- [11] <http://econet.ru/articles/4996-kirobo-yaponskiy-robot-astronavt>
- [12] <http://www.dailytechinfo.org/robots/5050-yaponcy-otpravili-robot-kirobo-na-bort-mezhdunarodnoy-kosmicheskoy-stancii.html>
- [13] <http://www.popmech.ru/technologies/14532-kompanon-astronavta-kirobo/>
- [14] <http://www.day-news.ru/news/1389>
- [15] <http://www.france24.com/fr/20130804-espace-mini-robot-japonais-kirobo-decolle-station-spatiale-international>

-
- [16] <http://translate.google.ru/translate?hl=ru&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Kirobo&prev=search>
- [17] <http://www.postsovet.ru/blog/russia/455045.html>
- [18] <https://ru.wikipedia.org/wiki/КИРОБО>
- [19] <http://mapgroup.com.ua/news/411-robot-kirobo-v-pryamom-efire-s-mks-peredal-soobshchenie>

УДК 629.78.007

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С БОРТА РС МКС**

В.И. Васильев, Н.В. Васильева, В.Е. Фокин, Е.В. Дедкова, И.А. Бирюкова,
С.Н. Максимов

В.И. Васильев; канд. техн. наук, доцент Н.В. Васильева; канд. техн. наук
В.Е. Фокин; Е.В. Дедкова; И.А. Бирюкова; С.Н. Максимов (ФГБУ «НИИ ЦПК
имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена истории создания, особенностям работы и применению в под-
готовке космонавтов тренажера «ВИН».

Ключевые слова: визуально-инструментальные наблюдения, подготовка космо-
навтов, технические средства подготовки космонавтов, тренажер «ВИН».

**Application of Current Information Technologies in Cosmonaut Training
for Visual-Instrumental Observation of Earth's Surface from the Board of
the ISS RS. V.I. Vasiliev, N.V. Vasilieva, V.E. Fokin, E.V. Dedkova,
I.A. Biryukova, S.N. Maksimov**

The paper describes the history, peculiarities of operation and usage of the simulator of
visual instrumental observations for cosmonaut training.

Keywords: visual instrumental observations (VIOs), cosmonaut training, technical fa-
cilities for cosmonaut training, simulator of VIOs.

Предпосылки и история создания тренажера «ВИН»

Визуально-инструментальные наблюдения (ВИН) являются особым видом деятельности космонавтов на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА). Программа ВИН, осуществляемая на российском сегменте Международной космической станции (РС МКС), включает в себя целый ряд задач, связанных, прежде всего, с наблюдением природных и антропогенных объектов, явлений, происходящих в космосе, атмосфере, на земной и океанической поверхностях. Процесс ВИН, в том числе и с борта ПКА, включает операции поиска, обнаружения и наблюдения объектов (в данном случае подстилающей поверхности) невооруженным глазом и с помощью оптических средств, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта, а также регистрацию их изображений [1, 2].

Исследования Земли из космоса фактически начались с полета Ю.А. Гагарина. Находясь на борту первого космического корабля «Восток», он оценивал возможность наблюдения Земли из космоса, а совершивший после него полет Г.С. Титов сделал в космосе первый снимок нашей планеты. В дальнейшем наблюдение и съемка Земли выполнялись на всех ПКА.

Как показали исследования в области опознавания объектов с борта ПКА, наибольшие трудности при выполнении задач, связанных с ВИН, космонавты испытывают в первом космическом полете. Поиск объекта, находящегося на земной поверхности, при высоте полета пилотируемого космического корабля 400 км представляет достаточно сложную задачу и нередко для практического изучения особенностей местности по трассам полета, выработки навыков уверенного ори-

ентирования требуется временной интервал до двух месяцев от начала полета. В целях минимизации сроков выработки навыков ориентирования при поиске объектов наблюдения и выполнения ВИН на высоком профессиональном уровне требовалось проведение соответствующей предполетной подготовки космонавтов. С этой целью создавались информационные ресурсы в виде карт, схем, а затем и космических снимков, полученных со спутников и сделанных космонавтами. По мере усложнения задач исследований начали создаваться технические средства подготовки к выполнению ВИН с борта ПКА.

Одним из первых тренажеров подготовки космонавтов к ВИН с борта ПКА стал «Тополь-М» (1976 год). В системе визуализации применена пленка с изображениями Земли, полученная со спутников.

Затем, в 1990 году была сделана попытка создания стенда под задачи ВИН на базе персонального компьютера с процессором i486.

В 1995–1998 годах для подготовки к выполнению ВИН в ЦПК была введена в действие рабочая станция со специальным программным обеспечением «ERDAS IMAGINE» и был поставлен вопрос о создании специализированного стенда. В результате к 2000 году был разработан функционально-моделирующий стенд (ФМС) «Глобарий», обеспечивший на определенный период подготовку по задачам ВИН.

В тот же период была создана система визуализации «Альтаир» на комплексном тренажере РС МКС, один из каналов которой формировал изображение земной поверхности.

В дальнейшем с развитием информационных технологий появилась возможность создания систем визуализации с высоким разрешением и с использованием материалов высокодетальной космической съемки с применением специализированных эффектов (облачность, засветка, блики и т.п.) для имитации условий наблюдения с борта РС МКС, а также с простым интерфейсом управления тренировкой.

В 2013 году на основе этих технологий был разработан и введен в строй тренажер «ВИН». Его применение в подготовке позволило существенно расширить обучающие свойства технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) и обеспечить подготовку космонавтов к выполнению ВИН на высоком профессиональном уровне.

Структура и функциональные особенности тренажера «ВИН»

Структурно тренажер «ВИН» представляет собой три функциональные зоны, объединенные единым информационным пространством (рис. 1, 2):

- зона тренировки;
- лекционная зона;
- методическая зона.

Функционирование тренажера «ВИН» обеспечивает комплекс информационных и программно-аппаратных средств, включающий в себя:

- компьютерный генератор изображений;
- цифровую визуальную модель Земли (ЦВМ);
- систему хранения данных (СХД);
- систему управления тренировкой (СУТ);
- информационную систему сопровождения комплексной подготовки космонавтов (ИСС КПК);

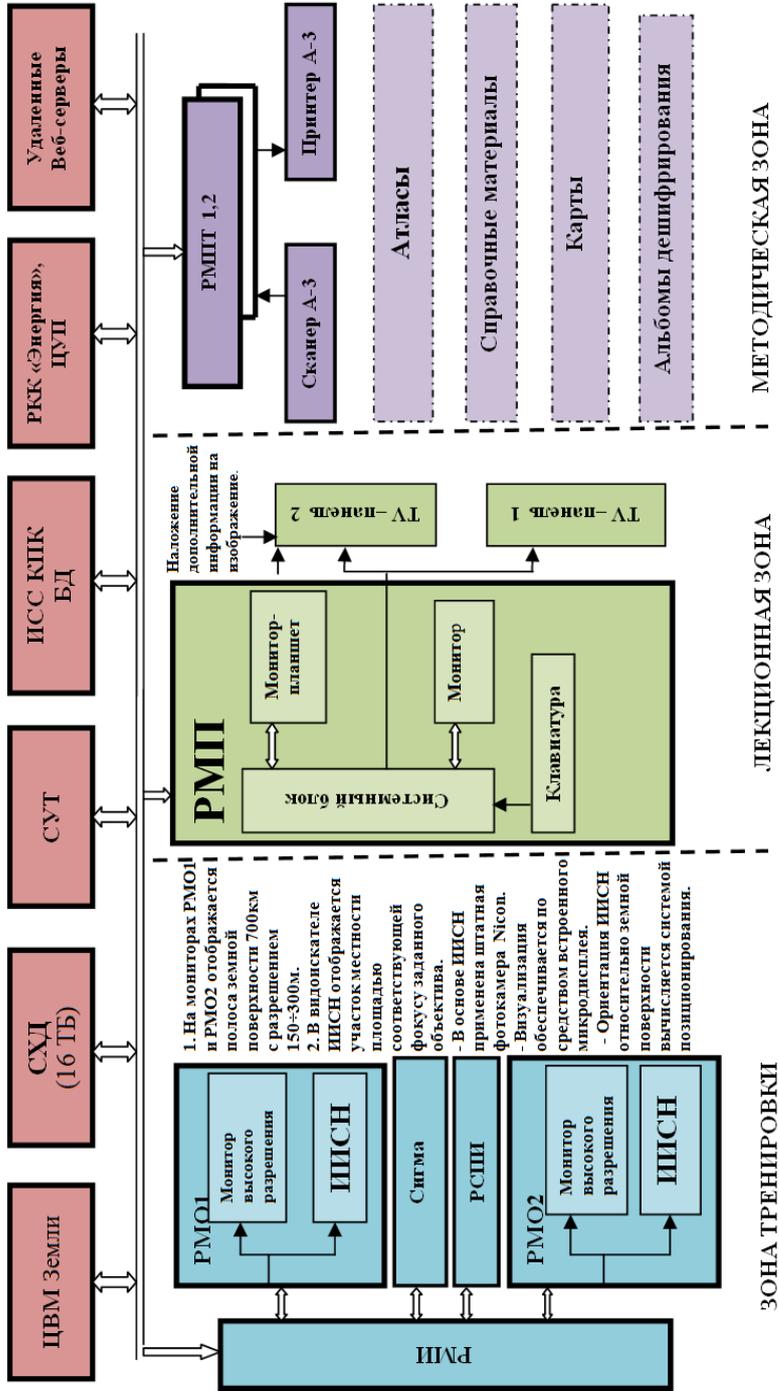


Рис. 1. Структурная схема тренажера «ВИН»



Рис. 2. Рабочие места тренажера «ВИН»

- имитатор инструментальных средств наблюдения (ИИСН);
- программу отображения баллистики и навигации «Сигма»;
- радиосистему передачи информации (РСПИ).

Предусмотрены рабочие места оператора (РМО1, РМО2) и рабочее место инструктора (РМИ).

Тренажер «ВИН» обеспечивает решение следующих задач:

- получение кандидатами в космонавты базовых знаний и практических навыков по вопросам выполнения ВИН на этапе общекосмической подготовки (ОКП);
- подготовка к выполнению ВИН в группах специализации и совершенствования (углубленное изучение некоторых вопросов, получение основных умений и навыков и закрепление навыков по выполнению ВИН и работе с научной аппаратурой);
- подготовка в экипажах (получение информации о предстоящей программе полета, подробное знакомство с предстоящими объектами наблюдений и дополнительная отработка навыков работы с научной аппаратурой);
- отработка профессиональных навыков у космонавтов в дешифрировании наблюдаемых в полете объектов;
- дублирование и корректировка реальной работы экипажа на орбите в процессе проведения научно-прикладных исследований и экспериментов;
- обучение космонавтов методам наблюдения и регистрации заданных объектов с помощью научной и специальной аппаратуры;
- привитие навыков по обработке и использованию полетной информации на бортовом ПК.

При разработке тренажера «ВИН» были максимально учтены факторы, влияющие на выполнение ВИН с борта РС МКС:

- влияние условий полета на выполнение ВИН;
- конструктивные особенности станции;
- влияние атмосферы;
- светотеневая обстановка на орбите.

Для достижения высокого уровня обучающей эффективности тренажера «ВИН» были сформулированы и затем реализованы технические требования к цифровой модели внешней визуальной обстановки:

1. Возможность формирования в поле зрения бортового средства наблюдения изображения подстилающей поверхности Земли по трассе полета ПКА для любого номера суточного витка, соответствующего заданным баллистическим параметрам орбитального полета.

2. Полнота состава типовых объектов детального наблюдения, представленных в ЦВМ.

3. Полнота воспроизведения демаскирующих признаков объектов (в особенности, для объектов детального наблюдения и объектов–реперов) с учетом их приоритета и времени года (летние и зимние условия наблюдения).

4. Высокий уровень географического подобия формируемого изображения земной поверхности.

5. Возможность необходимых проективных преобразований формируемого изображения с учетом кривизны Земли при моделировании изменения пространственного положения оптической оси бортового средства наблюдения.

6. Высокая точность координатной привязки объектов наблюдения, представленных в ЦВМ Земли.

7. Возможность плавного масштабирования формируемого изображения без потери качества изображения в соответствии с пределами изменения кратности увеличения моделируемого бортового средства наблюдения.

8. Максимальный уровень детализации объектов земной поверхности, представленных в ЦВМ Земли, должен определяться с учетом разрешения системы «глаз–прибор» и обеспечивать физиологическое подобие модели визуальной обстановки ПКА.

9. Возможность воспроизведения факторов, обуславливающих ухудшение условий наблюдения исследуемых объектов:

- наличие яркостного стимула-помехи (блик);
- облачность любого типа;
- ухудшение частотно-контрастных и цветовых характеристик сцены в видеоскательных средствах регистрации;
- резкое уменьшение угла поля зрения при переходе от наблюдения через иллюминатор к наблюдению с помощью средства ВИН;
- наличие в поле зрения элементов внешней конструкции модулей орбитальной станции.

В целях максимально возможного информационного обеспечения подготовки космонавтов к выполнению ВИН в состав тренажера «ВИН» был включен каталог объектов наблюдения.

Применение тренажера «ВИН» в подготовке космонавтов к выполнению ВИН

В настоящее время применение ТСПК при подготовке к выполнению ВИН является неотъемлемой частью комплексной подготовки космонавтов к данному виду работ, которая включает в себя следующие направления:

- изучение комплекса наук о Земле, объединенных в настоящее время (в системе подготовки космонавтов) в единое направление – Космическая география;
- проведение тренировок на специализированном тренажном средстве, моделирующем визуальную обстановку в условиях полета на РС МКС;
- проведение занятий по работе с фотоаппаратурой в объеме, обеспечивающем профессиональное владение техникой съемки длиннофокусными объективами, в том числе движущихся объектами;
- отработка навыков ВИН в полетах на самолете-лаборатории в сопровождении представителей ведущих научных учреждений, природоохранных и дру-

гих заинтересованных в получении посредством ВИН информации организаций России.

На всех этапах (от общекосмической подготовки до подготовки в составе экипажей) подготовка космонавтов к выполнению ВИН реализуется в форме лекций, лекционно-практических, практических занятий и тренировок с применением информационных ресурсов тренажера «ВИН» [3].

Для обеспечения проведения занятий по подготовке космонавтов, связанных с освоением методов дешифрирования, изучения объектов наблюдения и постановкой полетной задачи экипажам предстоящей экспедиции, в составе тренажера предусмотрена зона для группового обучения (лекционная зона на рис. 2).

Курс занятий с применением тренажера «ВИН» включает ознакомление с объектами, процессами и явлениями, подлежащими наблюдению, их особенностями, дешифровочными признаками, ориентирами и реперными точками, облегчающими поиск объектов, тренировочные занятия с имитацией пролета над заданными объектами, а также поиск и опознавание заданных объектов в усложненных условиях видимости (рис. 3–5).



Рис. 3. Примеры изображений поверхности Земли через иллюминатор тренажера «ВИН» с вариантами маскирующих факторов



Рис. 4. Примеры изображений поверхности Земли через иллюминатор тренажера «ВИН» и видеоискатель имитатора регистрирующего устройства



Рис. 5. Примеры детального изображения объектов наблюдений

Практические занятия и тренировки на тренажере «ВИН», послеполетный анализ выполнения экспериментов, связанных с выполнением ВИН, проходят в индивидуальном порядке (зона тренировки на рис. 2). Формат проведения лекционно-практических занятий предполагает совместную работу инструктора и слушателя (рис. 6).

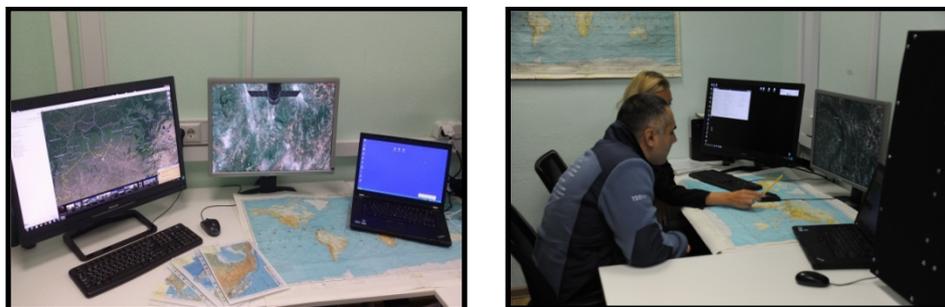


Рис. 6. Теоретико-практическая подготовка на рабочих местах тренажера «ВИН»

Отработка практических занятий (тренировок) осуществляется по учебным радиogramмам и предусматривает самостоятельную деятельность слушателя под наблюдением и контролем инструктора (рис. 7).

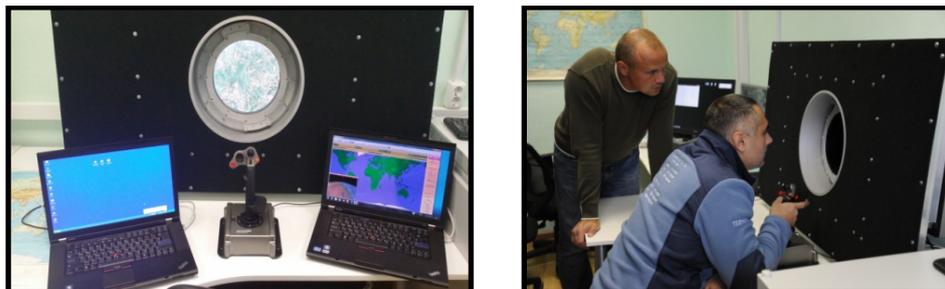


Рис. 7. Практическая подготовка на рабочих местах тренажера «ВИН»

Для формирования информационно-методического материала к курсу теоретико-практической подготовки было принято решение подстилающую поверхность Земли условно разделить на 7 «регионов» согласно их физико-географическим особенностям: европейская часть континента Евразия, азиатская часть континента Евразия, макрорегион Юго-Восточная Азия и континент Австралия, континент Северная Америка, континент Южная Америка, регион Центральная Америка и острова Карибского бассейна, континент Африка.

Информационной основой для изучения каждого региона стали специально сформированные фототеки с материалами реальных и типовых объектов наблюдения. Сюда же вошли объекты персонального интереса обучаемых, отвечающие условиям наблюдения с борта МКС на разных суточных витках. При этом особую ценность для формирования образа изучаемых регионов и объектов имеют пояснения к этим материалам, предлагаемый ассоциативный ряд.

В качестве вспомогательных материалов постоянно задействованы интернет-ресурсы (в части картографических и справочных материалов), разномасштабные физико-географические карты мира, бортовая космонавигационная карта, космические фотоснимки исследуемых территорий и объектов.

Процесс профессиональной подготовки космонавтов на тренажере предусматривает усвоение всего алгоритма деятельности космонавта по выполнению задач ВИН.

Для отработки устойчивого навыка самостоятельного выполнения операций ВИН была разработана циклограмма операций на тренажере, идентичная работам космонавта на борту МКС. Данная циклограмма предусматривает основные этапы деятельности космонавта:

- подготовительные операции (изучение планируемых районов и объектов наблюдения, работа со вспомогательным оборудованием, подготовка регистрирующей аппаратуры);
- рабочая зона (поиск, обнаружение и регистрация объекта наблюдения);
- заключительные операции (необходимая оперативная обработка полученных изображений, сброс информации на Землю).

В целях получения и закрепления навыков поиска и обнаружения объектов наблюдений был разработан цикл тренировок, включающий все ранее изученные районы наблюдений.

В качестве исходных материалов космонавт получает бортовую документацию, штатные радиogramмы с перечнем объектов наблюдения, долговременные радиogramмы, фотоматериалы и доступ к Интернет-ресурсам.

Отработка операций «рабочей зоны» осуществляется на рабочих местах тренажера при помощи имитаторов штатных средств фоторегистрации.

Для выполнения заключительных операций космонавт использует программные и технические средства (аналоги бортовой аппаратуры лэптопы RSS2 и RSK1), которые позволяют выполнять операции первичной обработки изображений и сброса на Землю.

На сегодняшний день тренажер «ВИН» активно используется для подготовки космонавтов на всех ее этапах. За период его эксплуатации было проведено около 1000 часов теоретико-практических и практических занятий.

Таким образом, применение тренажера «ВИН» позволило значительно расширить возможности подготовки кандидатов в космонавты на этапе ОКП, космонавтов в составе групп специализации и совершенствования, а также в составе утвержденных экипажей к конкретному космическому полету по задачам визуально-инструментальных наблюдений Земли с борта РС МКС.

Результатами применения тренажера «ВИН» стало приобретение слушателями теоретической базы и получение достаточных практических умений и навыков для выполнения полетных задач, связанных с ВИН, в необходимом объеме, что привело к значительному уменьшению времени на адаптацию в начале полета и увеличению эффективности и качества работ, выполняемых с применением ВИН. Так, например, результаты полетной деятельности космонавта О.Г. Артемьева в части ВИН показали сокращение сроков выработки навыков ориентирования со среднестатистических двух месяцев до трех недель, что полностью подтверждает правильность принятых методик подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Визуально-инструментальные наблюдения с борта Международной космической станции экипажами российского сегмента и основные принципы подготовки к их выполнению / Васильев В.И., Сохин И.Г., Васильева Н.В., Бронников С.В., Гордиенко О.С. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(7) – 2013.
- [2] Результаты мониторинга с борта РС МКС катастрофических наводнений Краснодарского края / Падалка Г.И., Десинов Л.В., Беляев М.Ю., Караваев Д.Ю. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(9). – 2013.
- [3] Опыт проведения подготовки космонавтов на стенде «Тренажер ВИН» для решения задач исследования Земли из космоса методами визуально-инструментальных наблюдений / Дедкова Е.В., Жлудко В.В., Максимов С.Н. // Полеты в космос. История, люди, техника: Материалы научно-практической конф., Звездный городок, 8–9 окт. 2014 г. – М.: ИИЕТ РАН, 2014. – С. 78.

УДК 629.78.072.8

РАЗВИТИЕ БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ТРЕНАЖЕРОВ

В.М. Жуков

Докт. тех. наук, профессор В.М. Жуков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье анализируются состояние и развитие бортовых средств визуально-инструментального наблюдения и фотосъемки, управляемых космонавтом, а также соответствующих тренажеров в период 1960–2014 гг. На основе выполненного анализа предложены некоторые принципы и направления совершенствования этих средств.

Ключевые слова: средства визуально-инструментального наблюдения, оптический визир, цифровые фотокамеры, телескоп, имитационная модель, параметрическая адекватность.

Development of the Onboard Means for Visual Instrumental Observations and Appropriate Simulators. V.M. Zhukov

The paper reviews the state and the development of the onboard means for visual instrumental observations and photographic survey, controlled by cosmonauts, and the appropriate simulators in a period from 1964 through 2014. On the basis of the review the author suggests some principles and directions of improving those means.

Keywords: means of visual instrumental observations, optical sight, digital photocaleras, telescopes, simulation models, parametric adequacy

Введение

В период 1960–2014 гг. средства визуально-инструментального наблюдения и фотосъемки (ВИН-Ф) в основном создавались для выполнения экипажем пилотируемого космического аппарата (ПКА) задач наблюдения наземных и космических объектов, а также явлений физики атмосферы. Трудности создания и применения средств ВИН-Ф обусловлены космической скоростью движения ПКА относительно Земли и космическими скоростями движения космических объектов.

Известным преимуществом метода ВИН-Ф по сравнению со спутниковыми средствами мониторинга окружающего пространства является возможность наблюдения космонавтом в широком поле зрения, обнаружения и выбора объекта для детального наблюдения при больших кратностях увеличения (в очень узком поле зрения) [1]. Для реализации метода ВИН-Ф требуются оптические средства наблюдения с широким диапазоном кратностей увеличения порядка 1,5–160 крат. Создание оптического прибора с подобным диапазоном кратностей увеличения связано с технологическими трудностями принципиального характера. Применение двухканальных средств наблюдения предполагает наличие некоторой «мертвой зоны» в диапазоне кратностей увеличения (между каналами обнаружения и детального наблюдения) [2]. Конструкция средств этого класса обуславливает наличие в операции ВИН-Ф фаз наведения, обнаружения, захвата на сопровождение, смены каналов наблюдения, прецизионного наведения и фотосъемки, которые космонавт должен выполнять в условиях дефицита времени (в пределах 100 с).

Выполнение операций ВИН-Ф космонавтом имеет стохастический характер. Эффективность операции оценивается вероятностью достижения цели операции. Частными показателями эффективности являются временные и точностные показа-

тели выполнения фаз операции. Оценивание эффективности по статистическим данным, получаемым в космических полетах, весьма затруднительно в связи с необходимостью получения репрезентативной выборки в одинаковых условиях выполнения операций. Применение адекватных имитационных моделей позволяет оценивать проектную эффективность используемых и перспективных средств ВИН-Ф [3].

Цель исследования – на основе анализа развития средств ВИН-Ф определить принципы и направления их совершенствования.

Средства ВИН

За период пилотируемых полетов для наблюдения наземных и космических объектов был создан ряд средств ВИН, к основным из которых относятся: орбитальная обсерватория «Орион-2» на ПКА «Союз-13» [4], панкратический визир «Пума», оптические визиры типа ОД-5, приборный комплекс ПИОН-К [5, 6], прибор «Рубинар», спектральная система «Фиалка-МВ-Космос», фотоспектральная система, телескопическая система AVR, а также телескоп «Celestron CPC 925», поставленный Канадой на борт МКС.

Для анализа этапов развития оптических средств и цифровых фотокамер их основные тактико-технические характеристики (ТТХ) представлены в таблицах 1 и 2.

Исследование эффективности операций ВИН-Ф с применением ряда рассматриваемых приборов выполнено с помощью комплекса имитационных моделей (КИМ) «Барбет-1» [3]. При моделировании использованы характеристики средств (табл. 1). Выявлены ошибки проектирования и применения средств, использованных в космических экспериментах. Установлены закономерности протекания процесса ВИН-Ф точечных объектов на пролете.

Создание орбитальной обсерватории «Орион-2» стало крупным достижением в области астрономического приборостроения. Телескоп «Орион-2» с фотоприставкой был установлен на месте стыковочного узла корабля «Союз-13» и работал в условиях открытого космоса (под терморегулируемым куполом с перепадом температур от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ при движении ПКА на теневом и освещенном участках орбиты). Оптика телескопа была изготовлена из плавленого кварца, что обеспечило устойчивость к температурным колебаниям в космосе. Длина бленды телескопа составляла 330 мм. В куполе телескопа были проделаны отверстия с крышкой, открываемой только на время сеанса наблюдения. Размеры отверстий обеспечивали развороты телескопа в пределах $\pm 15^{\circ}$ по трем осям. Впервые осуществлена трехосная стабилизация телескопической платформы без использования гироскопов. Системы слежения и стабилизации позволяли выполнять фотографирование звездного неба с выдержкой до 18 минут.

Экипаж ориентировал корабль и посредством оптического визира, установленного на иллюминаторе орбитального отсека, наводил (с помощью системы дистанционного управления) телескоп на заданный участок звездного неба, используя опорные звезды. Угловая скорость предварительного наведения визира – 1 град/с ; точное прицеливание возможно на скорости $0,3\text{ град/с}$. Выполнение операции экипажем в определенной мере облегчалось наличием системы автоматического слежения за выбранной звездой (с точностью до нескольких угловых секунд).

Конструктивное решение по размещению телескопа «Орион-2» вне герметизированного отсека (без использования иллюминатора) было оправдано в связи с краткосрочностью полета, который продолжался 7 суток (5 рабочих дней), а также применением телескопа только на теневом участке орбиты. Получены

Таблица 1

ТТХ основных средств ВИН

Тип средства	Увеличение, крат	Коэф. «мертвой зоны» каналов	Уголы поля зрения, град.	Фокусн. расстояние объектива, мм	Прониц. спос-ть, звезд. вел.	Скорость наведения, %/с	Диаметр объектива, мм	Масса, кг
Визир системы «Орион-2»	3	–	10	100	8	3	25	5
УФ-телескоп «Орион-2»	–	10	5	1010	13	0,3–1	240	200
Панкратический визир «Пума»	1,5*–15*	–	40–4	–	11,5	3	50	2,5
Оптический визир ОД-5	2,5–8* 25–160*	3,1	30–1	1057	12	3–5	260	110
Комплекс ПИОН-К	2,05; 22,2; 4,8; 60*	10,8 12,5	35–1,2	1188	11	2	250	900
«Рубинар»	5* 40*	8	9–2,3	–	–	5	50	4,7
Телескоп Celestron CPC	9* 58,7*	6,5	5,8 0,9	40 2350	14,4	3	235	47,5
Комплекс АВР	–	19	17 0,76	100 1900	–	3	50 127	60

уникальные результаты, в число которых входит регистрация УФ-спектров звезд до 13-й звездной величины на площади в 20 квадратных градусов [4].

Опыт применения обсерватории «Орион-2» экипажем ПКА «Союз-13» (в составе П.И. Климук и В.В. Лебедева) может быть использован для обоснования облика средств перспективных средств ВИН-Ф, режимов их применения на освещенной и теневой сторонах орбиты, а также для рационального распределения функций между членами экипажа ПКА-обсерватории. Схема размещения телескопа «Орион-2» за бортом ПКА и визира-искателя на иллюминаторе обитаемого отсека оправдала себя.

Оптический визир ОД-5 предназначался для наблюдения и фотосъемки наземных объектов пленочной фотокамерой [2]. Его конструкция была оптимизирована по ряду основных показателей. Применение визира в экспериментах на станциях «Салют» оказалось эффективным в части наблюдения через оптический канал, однако необходимость доставки фотопленки на Землю снижало эффективность по показателю оперативности до неприемлемого уровня. Замена пленочной фотокамеры на цифровую в системе подобной конструкции обеспечило бы ее соответствие современным требованиям к средствам ВИН-Ф. Конструкцию оптической системы визира ОД-5 можно считать наиболее совершенной по сравнению с другими рассматриваемыми средствами ВИН-Ф. Основное его преимущество заключается в наличии сканирующего зеркала, которое после захвата объекта человеком-оператором обеспечивает его автоматическое сопровождение. Это позволяет «останавливать» изображение объекта и наблюдать его при больших кратностях увеличения, а также применять длиннофокусные объективы и увеличивать выдержку фотокамеры до 1/20 с.

В период 1985–1989 гг. были выполнены космические эксперименты по ВИН-Ф космических объектов на пролете с применением комплекса ПИОН-К. Эксперименты показали, что операция ВИН-Ф космических объектов существенно более сложная по сравнению с наблюдением звездного неба. Желаемые результаты в экспериментах не были получены, а использованные средства ВИН-Ф не получили дальнейшего развития. По большинству характеристик комплекс уступает визире ОД-5. Используемые в комплексе дискретные кратности увеличения ограничивают возможности ВИН-Ф. Так, ошибка в выборе одного из двух каналов прибора ПИОН-К (например, $2,5^x$ или $4,8^x$) приводит к уменьшению вероятности выполнения операции ВИН-Ф на величину порядка 0,22, что неприемлемо. Моделирование канала детального наблюдения космических объектов показало, что в этом случае допустимая кратность увеличения ограничена угловой скоростью движения изображения цели в окулярном поле зрения. Возрастание кратности увеличения приводит к «размытию» изображения, а блеск цели на сетчатке глаза наблюдателя оказывается ниже порога восприятия, т.е. менее 20 квантов в секунду для адаптированного к темноте зрения.

Существенным недостатком ряда средств ВИН-Ф является наличие большой «мертвой зоны» в диапазонах кратностей увеличения (табл. 1). Приемлемой можно считать величину коэффициента «мертвой зоны» визира ОД-5, равного 3,1. Увеличение этого коэффициента приводит к снижению вероятности захвата на сопровождение и вероятности выполнения всей операции.

Панкратический прибор «Пума», установленный на борту РС МКС, предназначен для координатной привязки наблюдаемых наземных и космических объектов [6]. Имитационное моделирование применения прибора «Пума» в задаче обнаружения движущегося точечного объекта по целеуказанию (при изменении уг-

ловой скорости линии визирования в диапазоне 0,1–2,5 °/с) показало, что для надежного обнаружения объекта определяющее значение имеет выбор начальной кратности увеличения визира. Оптимальное значение начальной кратности зависит от нескольких факторов, которые взаимодействуют нелинейно. Основными факторами является размер и блеск объекта. С помощью машинных экспериментов установлено, что для типовых орбитальных объектов оптимальные значения, обеспечивающие максимальную вероятность обнаружения, находятся в диапазоне 1,5–8 \times . Каждому классу орбитальных объектов соответствует своя оптимальная для обнаружения начальная кратность увеличения визира. Увеличение кратности сужает поле зрения визира, что затрудняет выполнение фаз мануального захвата на сопровождение, сопровождения и прецизионного наведения. В результате достижимое максимальное значение вероятности выполнения всей операции не соответствует максимальной вероятности обнаружения, установленной за счет выбора оптимальной для обнаружения начальной кратности увеличения визира. Целеуказание экипажу выдается заблаговременно, что позволяет выполнить имитационное моделирование операции (в ЦУПе или на борту ПКА-обсерватории) и определить начальную кратность увеличения, доставляющую максимум вероятности выполнения всей операции, а также определить другие регулируемые параметры средств ВИН-Ф в соответствии с пространственно-временной схемой сближения с объектом на пролете.

Расчеты показали, что визир «Пума» имеет проникающую способность 11,5 звездных величин и может быть использован в космических экспериментах для отработки методики наблюдения точечных космических целей и «космического мусора» в ближней зоне. При проектировании панкратических визиров-искателей движущихся целей целесообразно предусматривать градуировку шкалы увеличений и возможность предварительной выставки кратности увеличения для фазы обнаружения космической цели с точностью до 0,25 \times .

Установленная на внешней поверхности МКС система из двух телескопов по основным характеристикам уступают спутниковым системам наблюдения Земли (двойного назначения), но превосходят средства ВИН-Ф, используемые экипажами МКС. Телескопы предназначены для передачи изображений подстилающей поверхности на Землю в реальном масштабе времени. Развитие этой системы может быть осуществлено за счет трансляции изображений на бортовой компьютер с двумя экранами и оснащения рабочего места космонавта ручками наведения телескопов.

Проблема астероидно-кометной опасности актуализировалась в связи с падением Челябинского метеорита. На базе наземных и космических телескопов создается система мониторинга этой опасности. Опыт применения космического телескопа «Хаббл» показал, что, благодаря отсутствию влияния атмосферы, разрешающая способность космического телескопа в 7–10 раз больше, чем у аналогичного телескопа, расположенного на Земле [7]. Установка орбитальной обсерватории для мониторинга астероидно-кометной опасности на МКС и перспективных ПКА представляется целесообразной. В работе [4] рассматривается вопрос об установке телескопа на Луне как средства резкого повышения эффективности наблюдений.

Отработка экипажами орбитальной станции алгоритма выполнения операции ВИН-Ф космических объектов на пролете может быть использована для создания бортового телескопа-робота.

Цифровые фотокамеры

На МКС используются цифровые фотокамеры (ЦФК) серийного производства, созданные в период 2000–2014 гг., со сменными объективами с фиксированным фокусным расстоянием и вриообъективы.

Замена в космических фотосистемах пленочных фотоаппаратов на цифровые фотокамеры позволила решить проблему оперативности доставки фото- и видеоинформации на Землю. Этапы развития ЦФК иностранного производства, используемых на МКС в период 2000–2014 гг., можно проследить по их основным характеристикам, представленным в таблице 2.

Таблица 2

Основные характеристики цифровых фотокамер в процессе развития

Фотокамеры на МКС	Характеристики матриц ЦФК			
	Число эффективных пикселов, <i>Mn</i>	Размеры пиксела, <i>мкм</i>	Размеры матрицы, <i>мм</i>	Диапазон чувствительности, <i>ISO</i>
Nikon D1x	5,32	5,8 x 11,8	23,7 x 15,6	125–800
Nikon D1h	2,66	11,77 x 11,77	23,7 x 15,6	200, 400, 800, 1600
Kodak DCS 760	6,0	9,12 x 9,2	27,65 x 18,48	80–400
Nikon D100	6,0	7,8 x 7,8	23,7 x 15,6	200–1600
Nikon D200	10,2	5,88 x 5,88	23,7 x 15,6	100–1600
Nikon D2x	12,4	5,5 x 5,5	23,7 x 15,6	100–800
Nikon D3x	24,5	5,9 x 5,9	35,9 x 24	100–1600
Nikon D3s	12,1	8 x 8	36,0 x 23,9	200–12 800
Nikon D800	36,3	4,8 x 4,8	35,9 x 24	50–25 600
Nikon D800E	36,3	4,8 x 4,8	35,9 x 24	50–25 600

На орбитальных станциях применялись и применяются до настоящего времени ЦФК фирм Nikon и Kodak. Новые модели ЦФК регулярно доставляются на борт РС МКС. За период применения ЦФК на орбитальных станциях их характеристики существенно усовершенствовались: число эффективных пикселов возросло от 5,32 до 36,3 *Mn*, размер матрицы увеличен от 23,7 x 15,6 *мм* до малокадрового стандарта 36 x 24 *мм*, максимальная чувствительность возросла от 800 до 25 600 *ISO*. Размеры пикселов уменьшены практически до технологического предела, что повысило пространственное разрешение фотоснимков. Дальнейшее повышение разрешающей способности осуществляется за счет ухудшения некоторых других параметров. Разрешение фотокамеры Nikon D800E по сравнению с Nikon D800 повышено примерно на 15 % за счет удаления антиалисного фильтра и соответствующего увеличения риска появления муара и неправильной цветопередачи.

Высокая чувствительность последних моделей фотокамеры Nikon позволяет выполнять ночную съемку Земли и звездного неба с относительно короткими выдержками, обеспечивающими приемлемые значения величины смаза изображения за счет орбитального движения ПКА.

Дальнейшее развитие ЦФК связано с созданием среднеформатных моделей с числом эффективных пикселей порядка 40 Мп (размер матрицы CCD – 44 x 33 мм, размеры пиксела $\approx 6 \times 6$ мкм). Это позволит увеличить площадь кадра на местности при детальной фотосъемке с длиннофокусными объективами. Однако применение этих матриц связано с увеличением времени записи и компьютерной обработки цифрового изображения.

На борту МКС используются объективы для фотокамер с характеристиками в следующих диапазонах: фокусное расстояние 14–1200 мм, диаметр объектива 52–150 мм, угол поля зрения 114° – $1,2^\circ$.

Ручное управление цифровыми фотокамерами космонавтом ограничивает применение объективов с фокусным расстоянием более 1200 мм и время экспозиции.

Тренажеры ВИН-Ф

Для подготовки космонавтов к применению основных средств ВИН-Ф был создан ряд тренажеров («Тополь», ОД-Т, «Рось», «ПВП» и др.), функционально-моделирующие стенды («Геосфера», «Глобарий», стенд ВИН точечных объектов с регистрацией глазо-двигательной деятельности); разрабатывается компьютерный стенд-тренажер ВИН-Ф наземных объектов. Для подготовки космонавтов используется летающая лаборатория с комплексом средств наблюдения и фотосъемки.

Анализ уровня совершенства ряда тренажеров выполнен с помощью разработанной системы коэффициентов функционально-методической полноты и параметрической адекватности (относительно «идеального тренажера») [8]. В таблицах 3–5 показаны оценки основных технических средств подготовки космонавтов к выполнению операций ВИН-Ф.

Таблица 3

Оценка значений коэффициента параметрической адекватности ($k_{па}$) тренажного комплекса ВИН-Ф на борту самолета-лаборатории (СЛ)

Параметры	Значения параметров		$k_{па}$	Примечание
	МКС	СЛ		
Высота, км	400	12	0,03	–
Скорость, км/с	7,6	0,228	0,03	–
Радиус зоны обнаружения, км	400	12	0,03	–
Радиус зоны фотографирования, км	231	6,93	0,03	–
Линейное разрешение глаза на местности, м	116	3,5	0,03	При абсолютном контрасте
Угловая скорость линии визирования, град/с	1,1	1,1	1	Обеспечиваются выбором высоты и скорости полета СЛ
Располагаемое время на обнаружение, с	21	21	1	
Располагаемое время на фотосъемку, с	30	30	1	
Разрешение фотоаппарата на местности, м	5,9	0,18	0,03	Съемка фотокамерой Nikon D3x при fМКС=ЕЛЛ=400мм
Площадь кадра на местности, км x км	24 x 36	0,72 x 1,08	0,001	
Диаметр иллюминатора, мм	417	320	0,77	–

Таблица 4

Оценка значений коэффициента методической полноты ($k_{мп}$) тренажерных средств

Тренажерные средства	$k_{мп}$	Примечание
Спецтренажер ОД-4Т	0,455	приспособлен к модернизации
ФМС «Глобарий»	0,325	ограниченно приспособлен
СИВО (система имитации внешней обстановки)	0,272	ограниченно приспособлен
ЛЛ Ту-154М-ЛК1	0,182	ограниченно приспособлен
Тренажер «Тополь»	0,545	приспособлен к модернизации

Таблица 5

Оценка значений коэффициента функциональной полноты ($k_{фп}$) тренажерных средства ВИН-Ф

Тренажерные средства	$k_{фп}$	Примечание
Спецтренажер ОД-4Т	0,401	
ФМС «Глобарий»	0,183	Имеет функции, не реализованные на других средствах
СИВО (система имитации внешней обстановки)	0,136	
СЛ Ту-154М-ЛК1	0,591	
Тренажер «Тополь»	0,454	

Наибольшие трудности в создании тренажеров ВИН-Ф наземных объектов вызывает имитация режимов наблюдения невооруженным глазом через иллюминатор и с помощью панкратических оптических средств, а также отработка навыков сопровождения и фотосъемки заданного объекта.

В тренировках на самолете-лаборатории обеспечивается адекватность предполагаемого на наблюдение времени и угловой скорости линии визирования объекта, однако реализация адекватной полосы обзора и пространственного разрешения не представляется возможной. В ретроспективном плане наиболее совершенным можно считать тренажер оптического визира ОД-5 «Тополь».

Проведенные исследования показали, что полная параметрическая адекватность и функциональная полнота могут быть достигнуты (при некоторых ограничениях на методическую полноту) только в бортовых тренажерах на основе штатной аппаратуры ВИН-Ф.

Опыт создания и отработки экспериментального стенда ВИН точечных космических целей (с регистрацией глазодвигательной деятельности и автоматизированной количественной оценкой качества деятельности) [9] может быть использован при создании тренажера для подготовки космонавтов к выполнению операций мониторинга астероидно-кометной опасности и «космического мусора». Применение такого тренажера совместно с комплексом имитационных моделей «Барбет-1» [2] позволит прогнозировать эффективность выполнения космонавтом операции ВИН-Ф по показателям вероятности выполнения отдельных фаз и операции в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жуков В.М. К вопросу о роли и месте ПКА в системе космического мониторинга Земли // Пилотируемые полеты в космос. – № 2 (2). – 2011. – С. 137–144.
- [2] Изделие «Тополь». Инструкция по эксплуатации Ю-30.83.001.ИЭ. – ЦКБ ЛОМО, 1973. – 74 с., илл.
- [3] Жуков В.М. Имитационное моделирование в задачах прогнозирования эффективности операций визуально-приборного наблюдения объектов экипажем ПКА. – РГНИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, I Международная научно-практическая конференция. – 1993.
- [4] Обсерватория в космосе: «Союз-13»–«Орион-2» / Под ред. В.А. Амбарцумяна. – М.: Машиностроение, 1984. – 248 с., ил.
- [5] Батурин Ю.М. Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. – М.: РТС-софт, 2005. – 752 с.
- [6] Первушин А. Битва за звезды-2. Космическое противостояние (часть II). Электронная библиотека ModernLib.Ru,
- [7] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хаббл> (телескоп).
- [8] Жуков В.М. Методика оценивания уровня совершенства ТСПК. – РГНИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2005.
- [9] Жуков В.М. Докторская диссертация на спецтему. – 1998.

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 629.78.72

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ТРЕНАЖЕРОВ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.П. Хрипунов, К.С. Лункин, С.А. Арутюнов

Канд. техн. наук, доцент В.П. Хрипунов; К.С. Лункин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
С.А. Арутюнов (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)

В статье проведен анализ факторов и концептуальных решений, повлиявших на облик современных информационно-управляющих систем (ИУС) космических тренажеров (КТ). Проанализированы отличия в архитектуре, технических средствах и программном обеспечении современных ИУС КТ и ИУС предшествующих поколений. Показаны проведенные основные работы по модернизации ИУС последнего поколения и проанализированы их причины. В результате анализа опыта эксплуатации, проведенных доработок и модернизации современных ИУС КТ, обоснованы пути их дальнейшей модернизации и развития.

Ключевые слова: информационно-управляющие системы, технические средства подготовки космонавтов, системы коллективного пользования, многомашинные вычислительные комплексы.

Development Analysis of Information-Control Systems of the Simulators of Manned Space Vehicles. V.P. Khripunov, K.S. Lunkin, S.A. Arutyunov

The paper presents factors and conceptual decisions impacting the structure of existing information-control systems (ICSs) of space simulators (SSs) and analyzes the differences of the architecture, hardware and software of modern and previous ICSs. The paper contains a list of major works on updating ICSs of last generation and the reasons for such works as well as the ways of further upgrading and development of ICSs taking into account operating experience, modifications and upgrading.

Keywords: information-control systems, technical facilities for cosmonaut training, multiuser systems, multicomputer systems.

Под информационно-управляющей системой (ИУС) тренажера пилотируемого космического аппарата (ПКА) в данном случае понимается человеко-машинная система, базирующаяся на применении современных математических методов и технических средств автоматической обработки информации, обеспечивающая функционирование всех информационных и управляющих процессов тренажера ПКА. В настоящее время ИУС тренажера ПКА представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы реального времени с распределенной обработкой информации.

ИУС, являясь составной частью тренажера ПКА, находится в состоянии непрерывного развития и совершенствования в соответствии с появлением новых тренажеров, взаимодействующих систем подготовки и новых информационных

технологий. В связи с этим определение путей модернизации и анализ развития ИУС приобретает большое значение.

За пятидесятилетний период развития в космическом тренажеростроении накоплен уникальный инженерный и научный опыт разработки, создания и эксплуатации тренажерных средств. Каждая космическая программа сопровождалась появлением своего ряда специализированных и комплексных тренажеров. По мере усложнения задач, решаемых при выполнении пилотируемых космических полетов, усложнялись и технические средства подготовки космонавтов (ТСПК). Прогресс в развитии ТСПК обусловлен как непрерывным процессом совершенствования самих ПКА, так и развитием базовых отраслей тренажеростроения.

Идея создания систем коллективного пользования появилась в середине 70-х годов и в последующем нашла широкое воплощение при разработке тренажерных комплексов, т.к. наилучшим образом соответствовала существующему в то время техническому уровню средств, входящих в состав тренажеров [8].

В период с 1980 по 2000 гг. в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» были созданы и введены в эксплуатацию три поколения тренажерных комплексов для подготовки космонавтов, которые реализуют принципиально новую концепцию и технологию построения тренажерных средств подготовки космонавтов: тренажерный комплекс ДОС «Салют» («Белладонна»), тренажерный комплекс ОК «Мир» («Ермак-27») и комплекс тренажеров российского сегмента (КТРС) Международной космической станции (МКС) [9].

Идеология и основные принципы построения КТРС МКС были апробированы при создании и эксплуатации системы коллективного пользования ТК «Ермак-27» (1984–2000 гг.) [5].

Был получен опыт построения многомашинных вычислительных комплексов реального времени с распределенной обработкой информации, разработан единый протокол информационного обмена, разработаны унифицированные комплексы устройств связи с объектами (УСО), созданы специализированные устройства коммутации и межмашинного обмена [6].

В основу построения ИУС КТРС МКС (далее ИУС) был положен частично реализованный в «Ермаке-27» переход к децентрализованным системам коллективного пользования и распределенной обработке информации.

Децентрализация в последние годы стала одним из доминирующих направлений в развитии систем обработки данных, в том числе в тренажеростроении. Особенностью таких систем является не столько рассредоточенное расположение аппаратуры непосредственно в местах возникновения или использования данных, сколько разделение всей функции обработки и управления на ряд слабосвязанных функций и распределение этих функций между несколькими вычислителями [7].

Функционирование ИУС обеспечивается множеством информационно-связанных вычислительных процессов, предъявляющих различные требования к необходимым вычислительным мощностям. Это привело к необходимости создания специализированного децентрализованного многомашинного комплекса, состав вычислителей и структура связей между которыми обеспечивают наиболее эффективную реализацию алгоритма обработки информации тренажера.

Современные вычислительные средства и коммуникационное оборудование позволили существенно упростить апробированную в «Ермаке-27» архитектуру.

В связи с этим, в отличие от «Ермака-27», КТРС МКС разрабатывался и создавался на принципах сетевой архитектуры, при котором тренажер представляет собой совокупность (сеть) тренажерных средств, каждое из которых построено на

базе своей локальной вычислительной сети (ЛВС) и может функционировать автономно. Каждая из этих ЛВС организована как некоторая совокупность компьютеров (серверов, мэйнфреймов, рабочих станций, лэптопов, крейтов VME), объединенных стандартными сетевыми средствами (Ethernet, FDDI) с использованием общепринятых сетевых протоколов взаимодействия для локальных сетей, в основном это протокол TCP/IP.

Стремительное развитие базовых технологий компьютерной техники (вычислительных систем и процессоров, средств синтеза и отображения информации, аппаратуры интеграции, программного обеспечения и пр.) вносят коренные изменения в концептуальные подходы при построении средств подготовки космонавтов. Специализация на рынке вычислительной техники делает нерациональным решение всех задач тренажера на одной, даже очень мощной машине или однородном комплексе. Становится экономически оправданным использование отдельных вычислителей, аппаратно-программные платформы которых в наибольшей степени адаптированы к классу решаемых на них задач.

Таким образом, при определении основных составных частей ИУС предлагалось выделить отдельные вычислители, реализующие основные функции ИУС как обеспечивающей системы тренажерного комплекса МКС. Предполагалось (и это подтвердилось за последующие 20 лет эксплуатации ИУС), что представление ИУС в виде совокупности относительно независимых программно-аппаратных комплексов, связанных единым интерфейсом, позволит развивать каждое направление работ практически независимо от остальных. Данное обстоятельство предопределило разбиение ИУС на некоторое множество субкомплексов, обеспечивающих решение основных функциональных задач ИУС как в процессе функционирования тренажера, так и в процессе создания и модификации математического и программного обеспечения.

В основу структуры и принципов построения программных средств ИУС было положено строгое разделение на общее математическое обеспечение (ОМО) и специальное математическое обеспечение (СМО) тренажеров. Это обеспечило разделение системных и прикладных функций программного обеспечения, облегчило последовательное проведение принципа модульности в процессе его разработки, создало предпосылки к унификации и стандартизации базовых элементов программного обеспечения тренажеров.

Кроме того, при выборе конкретной программно-аппаратной платформы необходимо было учитывать квалификацию и опыт специалистов организации-разработчика ИУС.

Анализ, проведенный в 1994–1995 гг. специалистами Центра тренажеростроения (Г.В. Безруковым, В.В. Фоменко) и ЦПК (В.В. Куминовым, А.В. Арутюновым, А.А. Полеводовым, В.И. Брагиным, О.Е. Захаровым, К.С. Лункиным и др.) позволил из многообразия различных аппаратно-программных платформ выделить альтернативные варианты, сгруппированные для различных вычислительных комплексов, входящих в состав ИУС [1, 4].

Было рассмотрено два варианта построения функционально-моделирующего вычислительного комплекса (ФМВК), обеспечивающего решение задач моделирования динамики полета, внешней визуальной обстановки и работы бортовых систем МКС.

Первый вариант. ФМВК предлагалось строить на базе мощных универсальных электронных вычислительных машин (ЭВМ), оснащенных открытой UNIX-подобной операционной системой, обеспечивающей наряду с решением задач

моделирования в реальном времени широкие возможности по применению современных информационных технологий при разработке программного обеспечения тренажеров.

Следует отметить, что предложенный вариант аппаратно-программной платформы обладал высокой стоимостью.

Второй вариант. Анализ вариантов построения ВК существующих тренажеров показывал, что наиболее целесообразным вариантом в условиях жестких финансовых ограничений является построение ВС ИУС на базе IBM-совместимых компьютеров. При относительной дешевизне они имеют достаточно высокую производительность и, что не менее важно, развитое программное обеспечение. Однако платформа, базирующаяся на Intel-процессорах и операционных системах MS DOS и OS/2, не отвечала на тот момент (1994–1995 гг.) в полной мере требованиям (многозадачность, защита памяти, наличие технологий разработки программного обеспечения), предъявляемым к ВС КТРС МКС.

Еще одним фактором, который оказался определяющим при выборе аппаратно-программной платформы ВС КТРС МКС, явилось то, что согласно существующим договоренностям Российское космическое агентство (РКА) и НАСА разрабатывали друг для друга моделирующие системы своего сегмента на принципах взаимодействия. В связи с этим было принято решение о выборе в качестве базовой для создания тренажеров по программе МКС платформы SGI с операционной системой Irix.

Вышесказанное предопределило выбор для ВС КТРС платформы фирмы Silicon Graphics и UNIX-подобной операционной системы IRIX (т.е. был выбран первый дорогой вариант). И это несмотря на то, что имеющиеся на тот момент времени в распоряжении основных разработчиков космических тренажеров технологические средства базировались, в основном, на Intel-процессорах и операционных системах MS DOS и OS/2.

В качестве аппаратно-программной платформы для ВК системы управления тренировкой (СУТ) КТРС МКС предлагалось использовать X-терминалы с выделением отдельной рабочей станции под задачи СУТ.

Для автономных тренажеров транспортных кораблей допускалось совмещение функций ФМБК и ВК СУТ в одном вычислителе. В качестве более дешевого варианта рассматривалось использование IBM PC, объединенных локальной сетью с ФМБК.

Аппаратно-программную платформу ВК устройства сопряжения с объектом (УСО) предлагалось реализовать на базе открытых, магистральномодульных систем с логической шиной VMEbus, представляющей собой стандартную, наращиваемую, аппаратно- и программно-независимую многопроцессорную архитектуру сопряжения различных устройств (процессоры, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, сетевые контроллеры и т.п.) [3].

На смену оптико-механическим и оптико-телевизионным имитаторам пришли системы компьютерного синтеза визуальных сюжетов.

В период построения средств подготовки космонавтов для обеспечения программы МКС появились относительно дешевые компьютерные генераторы изображений, и возникла необходимость дальнейшего развития систем имитации визуальной обстановки (СИВО) в КТРС МКС [2].

Принятые принципы структурного построения комплекса допускали одновременное использование в СИВО элементов старой и новой структуры, в связи с чем переход на новые более современные средства осуществлялся постепенно.

Детальный анализ развития ИУС тренажеров ПКА проведем на примере ВС КТРС МКС.

Анализ опыта эксплуатации, проведенных доработок и модернизации ВС КТРС МКС показал, что заложенные в основу ИУС КТРС МКС принципы в основном себя оправдали.

Первые тренировки на тренажере служебного модуля (СМ) с использованием ВС КТРС МКС начались в декабре 1999 года.

Необходимо сразу отметить, что за 17 лет эксплуатации ВС КТРС (1997–2014 гг.) практически все составляющие ВС комплексы были доработаны и модернизированы. Самая масштабная модернизация была проведена в период с 2003 года по 2008 год в результате перевода ВС КТРС с платформы Silicon Graphics на платформу PC и замены морально устаревших средств ВС. Условно эту модернизацию можно выделить в первый этап (смотри таблицу).

Таблица

Замена технических и программных средств ВС КТРС на 1 этапе

	№ п/п	Назначение	Средство ВС КТРС	Год замены	На что заменили	Причина замены
Ф М В К	1	Сервер ФМВК	Сервер «Challenge» фирмы Silicon Graphics	2003	IBM-совместимая ПЭВМ AMD Athlon XP	Замены, вызванные сменой аппаратно-программной платформы ВС КТРС
	2	Сервер ФМВК резервный	Сервер «Challenge» фирмы Silicon Graphics	2003	IBM-совместимая ПЭВМ AMD Athlon XP	
	3	Операционная система ФМВК	Операционная система «IRIX»	2003	Операционная система «Linux»	
Т В К С У Т	4	Раб. станция администратора ВС	Раб. станция «Indigo 2» фирмы SGI	2003	Pentium-II – 300/440	Морально устарели
	5	Раб. станции инструкторов тр-ра СМ	Pentium-II – 300 (3 шт.)	2003	ПЭВМ AMD Athlon XP 2500 (3 шт.)	
	6	Раб. станции инструкторов тр-ра ФГБ	Pentium-P5 (2 шт.)	2008	ПЭВМ AMD Athlon XP 3000 (3 шт.)	
Т Х В К	7	Раб. станции разработчиков	Pentium-166 (2 шт.)	2005	IBM-совместимая ПЭВМ Cel 1700E	Морально устарели
	8	Раб. станции разработчиков	Компьютер SGI Indy (2 шт.)	2006	СПИСАНЫ	В связи с заменой SGI на PC
	9	Сеть ЛВ ОН	Ethernet	2003	FAST- Ethernet	Морально устарела

Построение ВС на принципах сетевой архитектуры, модульности, наращиваемости, максимального использования стандартных аппаратно-программных средств, переносимости и платформонезависимости программного обеспечения

позволяло проводить доработки и работы по модернизации без нарушения работоспособности ВС.

Построение ВС КТРС на базе современных технических средств позволило на несколько порядков повысить ее надежность и эксплуатационные характеристики по сравнению с предшествующими ВК ТСПК.

Однако опыт эксплуатации и модернизации ВС КТРС МКС позволил выделить ряд недостатков и просчетов в созданной системе. Большинство из них предопределил первоначальный выбор в качестве базовой аппаратно-программной платформы фирмы SGI. Это повлекло за собой высокую стоимость технических средств и эксплуатации ВС на первом этапе, относительно низкую ремонтпригодность технических средств указанной платформы, обусловленную их сложностью и необходимостью обслуживания специализированными организациями.

Необходимо отметить, что и разработчики ВС, и специалисты ЦПК предвидели перечисленные слабые места, но платформа, базирующаяся на Intel-процессорах и операционных системах MS DOS и OS/2, не отвечала на тот момент в полной мере требованиям, предъявляемым к ВС перспективных тренажеров.

Рассмотрим более детально этапы доработок и модернизации.

1-й этап доработок и модернизации.

Рост производительности и объемов памяти IBM-совместимых компьютеров, размывание границ между персональными ЭВМ и рабочими станциями позволили в 2003 году перевести ВС КТРС на новую аппаратно-программную платформу, базирующуюся на IBM-совместимых компьютерах и UNIX-подобной операционной системе Linux (смотри таблицу).

Это позволило значительно повысить надежность функционирования и снизить расходы на эксплуатацию технических и программных средств ВС КТРС.

Средства коммуникаций, применяемые в ВС КТРС до начала модернизации, обеспечивали разделение информационных потоков. Локальная вычислительная сеть реального времени (ЛВС РВ) на базе оптоволоконной сети FDDI была предназначена для передачи данных и команд, критичных ко времени доставки. Локальная вычислительная сеть общего назначения (ЛВС ОН) на базе сети Ethernet предназначалась для передачи сообщений, некритичных ко времени доставки.

Дальнейшее развитие технических характеристик стандартного сетевого оборудования ЛВС позволило фактически отказаться от разделения информационных потоков, циркулирующих в ВС КТРС с учетом требований, предъявляемых к временным характеристикам доставки сообщений.

Замена в ЛВС ОН морально устаревшей сети Ethernet на сеть FAST-Ethernet в 2003 году фактически ликвидировала понятие разделения потоков информации. Практически все потоки пошли через ЛВС ОН. Стандарт FDDI остался только между ВС и МБВС. Схема ВС КТРС МКС к августу 2010 года имела вид (рис. 1).

2-й этап доработок и модернизации.

Эксплуатация ВС КТРС после проведенной в 2003 году замены аппаратно-программной платформы в основном подтвердила правильность ее выбора, но при этом выявила проблемы, вызванные переходом на ОС Linux. Основной проблемой оказалась предсказываемая нехватка высококвалифицированных специалистов по ОС Linux, что поставило вопрос о возможной замене ОС Linux на другую операционную систему.

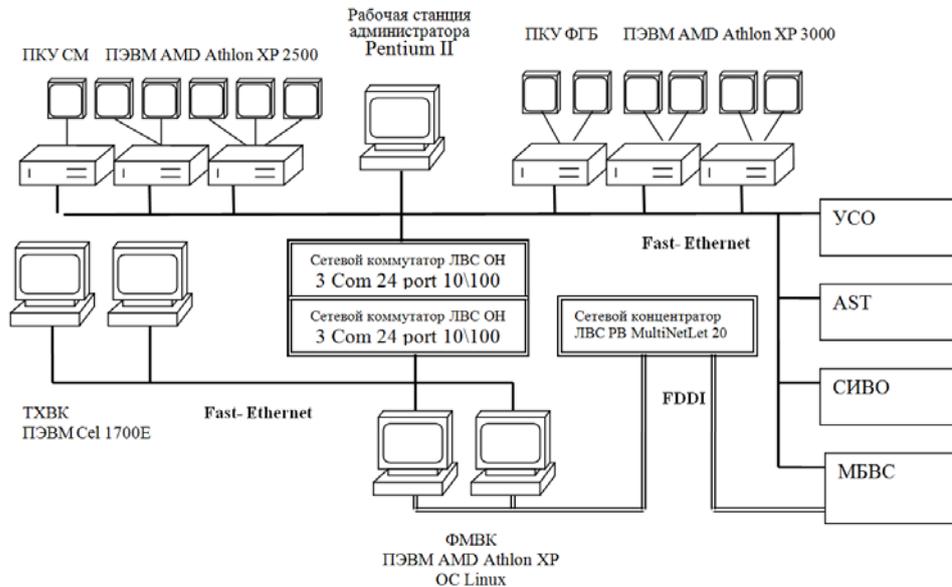


Рис. 1. Схема ВК КТРС МКС (август 2010 года)

К 2010 году в ОС Windows были реализованы все необходимые для организации надежного функционирования ВК КТРС программные компоненты, в связи с чем появилась возможность использования Windows в качестве операционной системы ОМО ФМВК ВК КТРС.

Кроме того, к 2010 году, с момента замены основных технических средств ВК КТРС в 2003 году, прошло от пяти до семи лет, в связи с чем возникла необходимость проведения очередного этапа модернизации ВК.

В связи с этим в 2010–2012 гг. была проведена замена всех компьютеров ВК КТРС МКС (как морально устаревших) на современные модели компьютеров с процессорами архитектуры X86 – X86-64 корпорации AMD и фирмы Intel.

В качестве операционной системы ОМО ФМВК ВК КТРС стала использоваться ОС Windows XP. В связи с переходом на ОС Windows XP появилась возможность реализовать функции рабочей станции администратора на ЭВМ ФМВК. Была ликвидирована ЭВМ рабочей станции администратора.

Было окончательно ликвидировано разделение информационных потоков, циркулирующих в ВК КТРС, ликвидирована сеть стандарта FDDI. Осталась сеть стандарта FAST-Ethernet. Был демонтирован сетевой концентратор ВК КТРС MultiNet Let 20 и сеть оптоволоконных кабелей FDDI. Планируется на базе КТРС МКС создать тренажер многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) РС МКС.

Создание тренажера МЛМ в составе КТРС потребовало:

- подключения третьего сервера ФМВК;
- подключения рабочих станций инструкторов тренажера МЛМ.

Учитывая необходимость унификации всех трех серверов ФМВК, этап подключения сервера тренажера МЛМ был использован для замены морально устаревших серверов AMD Athlon XP.

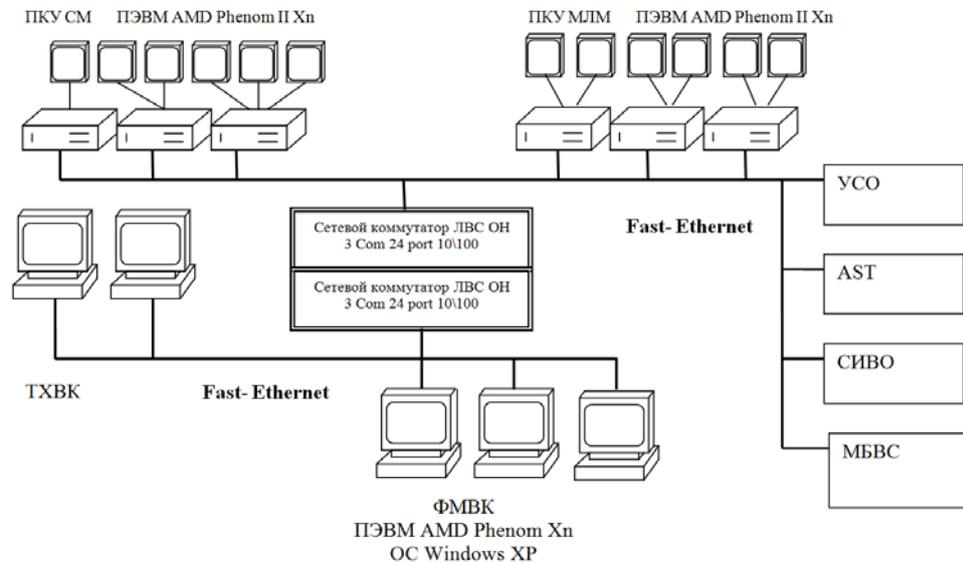


Рис. 2. Схема ВС КТРС МКС после 2-го этапа модернизации

Подключение третьего сервера ФМВК и рабочих станций инструкторов осуществляется средствами коммуникаций, применяемыми в ВС КТРС по локальной вычислительной сети на базе сети Fast-Ethernet.

Опыт эксплуатации КТРС МКС показал отсутствие необходимости отдельного ПКУ ФГБ, в результате чего было принято решение о доработке ПКУ ФГБ под ПКУ МЛМ.

Схема ВС КТРС после 2-го этапа модернизации показана на рис. 2.

В результате анализа опыта эксплуатации, проведенных доработок и модернизации ВС КТРС МКС, были определены возможные пути дальнейшей модернизации и развития:

- модернизация и развитие ВС КТРС, направленные на повышение эффективности и надежности ее функционирования;
- модернизация и развитие ВС КТРС в связи с поэтапным созданием технических средств подготовки космонавтов по российскому сегменту;
- модернизация и развитие ВС КТРС в части интеграции с тренажерами международных партнеров, расположенных в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» для обеспечения проведения многосегментных тренировок;
- развитие ВС КТРС в части решения задач удаленного взаимодействия с системами подготовки космонавтов/операторов ЦУПа, расположенных вне ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» для проведения совместных многосегментных тренировок.

Следует отметить, что два последних направления требуют проведения специальных исследований возможностей как технических средств, так и программного обеспечения моделирующих комплексов взаимодействующих систем. В настоящее время работы по данным направлениям в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» не планируются и в данной работе не рассматриваются.

По данным исследований аналитиков из французской исследовательской группы Robert Frances Group, проведенных в 2005 году, каждые три года компьютерный парк следует обновлять, старые ПК слишком дорого обходятся в обслуживании [10].

В связи с этим в 2015–2017 гг. следует ожидать замены морально устаревающих компьютеров ВС КТРС МКС на современные модели компьютеров.

На сегодняшний день ОС Windows XP полностью соответствует требованиям, предъявляемым к операционной системе ОМО ФМВК ВС.

В середине ноября 2009 года Microsoft официально представила два новых продукта – клиентскую операционную систему Windows 7 и новую версию серверной операционной системы Windows Server 2008 R2.

Большинство пользователей по-прежнему работает с Windows XP, но после выхода Windows 7 многие стали взвешивать затраты и преимущества, связанные с переходом от XP к Windows 7. Характеристики XP широко известны – это стабильная, но устаревающая операционная система, выпущенная в 2001 году. У Windows 7 множество преимуществ перед XP как в удобстве использования, так и в безопасности и функциях управления.

Лучший способ перехода от XP к Windows 7 – приобрести новый компьютер с заранее установленной Windows 7. Мощность современных компьютеров с многоядерными процессорами существенно выше, чем настольных систем, выпущенных несколько лет назад. В долгосрочной перспективе одновременная замена оборудования и операционной системы ВС КТРС даст положительные результаты.

В настоящее время ИУС КТРС МКС представляет собой сложный аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий функционирование КТРС МКС и взаимодействие с тренажером американского сегмента (AST). Вычислительная система, являясь составной частью ИУС КТРС МКС, находится в состоянии непрерывного развития и совершенствования в соответствии с появлением новых тренажеров, взаимодействующих систем подготовки и новых информационных технологий.

Заключение

1. Анализ опыта эксплуатации, проведенных доработок и модернизации ВС КТРС МКС показал, что заложенные в основу ВС принципы в основном себя оправдали.

Построение ВС на принципах сетевой архитектуры, модульности, наращиваемости, максимального использования стандартных аппаратно-программных средств, переносимости и платформонезависимости программного обеспечения на несколько порядков повысило ее надежность и эксплуатационные характеристики и позволило проводить доработки и работы по модернизации ВС без нарушения ее работоспособности.

2. Опыт эксплуатации и модернизации ВС КТРС МКС позволил выделить ряд недостатков и просчетов в созданной системе. Большинство из них предопределило первоначальный выбор в качестве базовой аппаратно-программной платформы фирмы SGI. Это повлекло за собой высокую стоимость технических средств и эксплуатации ВС на первом этапе, относительно низкую ремонтпригодность технических средств указанной платформы, обусловленную их сложностью и необходимостью обслуживания специализированными организациями.

Необходимо отметить, что и разработчики ВС, и специалисты ЦПК предвидели перечисленные слабые места, но платформа, базирующаяся на Intel-процессорах и операционных системах MS DOS и OS/2, не отвечала на тот момент в полной мере требованиям, предъявляемым к ВС перспективных тренажеров.

3. Рост производительности и объемов памяти IBM-совместимых компьютеров, размывание границ между персональными ЭВМ и рабочими станциями позволили в 2003 году перевести ВС КТРС на новую аппаратно-программную платформу, базирующуюся на IBM-совместимых компьютерах и UNIX-подобной операционной системе Linux. Это позволило значительно повысить надежность функционирования и снизить расходы на эксплуатацию технических и программных средств ВС КТРС.

4. Эксплуатация ВС КТРС после проведенной в 2003 году замены аппаратно-программной платформы в основном подтвердила правильность ее выбора, но при этом выявила проблемы, вызванные переходом на ОС Linux. Основной проблемой оказалась предсказываемая нехватка высококвалифицированных специалистов по ОС Linux, что поставило вопрос о возможной замене ОС Linux на другую операционную систему. На сегодняшний день в ОС Windows реализованы все необходимые для организации надежного функционирования ВС КТРС программные компоненты, в связи с чем появилась возможность использования Windows в качестве операционной системы ОМО ФМВК ВС КТРС.

5. На 2-м этапе доработок и модернизации была проведена замена всех компьютеров ВС КТРС МКС (как морально устаревших) на современные модели компьютеров с процессорами архитектуры X86 – X86-64 корпорации AMD и фирмы Intel.

В качестве операционной системы ОМО ФМВК ВС КТРС стала использоваться ОС Windows XP. В связи с переходом на ОС Windows XP появилась возможность реализовать функции рабочей станции администратора на ЭВМ ФМВК. Была ликвидирована ЭВМ рабочей станции администратора.

6. В результате анализа опыта эксплуатации, проведенных доработок и модернизации, появления новых технологий и планируемого появления новых тренажеров в рамках КТРС обоснованы следующие пути и разработаны технические предложения дальнейшей модернизации и развития ВС КТРС МКС:

- модернизация и развитие ВС КТРС в части повышения эффективности и надежности ее функционирования;
- модернизация и развитие ВС КТРС в связи с поэтапным созданием технических средств подготовки космонавтов по российскому сегменту.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Безруков Г.В., Фоменко В.В. Программная оболочка ТРИО в тренажерах МКС // Материалы научно-технического семинара «Технические средства и технологии для построения тренажеров». – Вып. 3. – Звездный городок, 1998.
- [2] Опыт создания средств имитации внешней визуальной обстановки тренажеров по программе «Мир» / Дыкань В.П., Загайнов В.А., Пекарский А.В. // Материалы научно-технического семинара «Технические средства и технологии для построения тренажеров». – Вып. 4. – Звездный городок, 2002.
- [3] Кузнецов М.Н. Анализ опыта эксплуатации, современное состояние и перспективы развития УСО тренажерных комплексов // Материалы научно-технического семинара «Технические средства и технологии для построения тренажеров». – Вып. 4. – Звездный городок, 2002.

- [4] Аппаратно-программная платформа вычислительной системы комплекса тренажеров российского сегмента МКС / Куминов В.В., Полеводов А.А., Арутюнов А.В. // Материалы научно-технического семинара «Технические средства и технологии для построения тренажеров». – Вып. 3. – Звездный городок, 1998.
- [5] Лункин К.С. Опыт создания и эксплуатации вычислительной системы комплекса «Ермак-27» // Материалы научно-технического семинара «Технические средства и технологии для построения тренажеров». – Вып. 4. – Звездный городок, 2002.
- [6] Опыт создания и эксплуатации вычислительных систем космических тренажеров / Лункин К.С. Виноградов Ю.А., Саев В.Н. // Пилотируемые полеты в космос. –2015. – № 2(15). – С. 102–111.
- [7] Прангишвили И.В. Микропроцессоры и локальные сети микро-ЭВМ в распределенных системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 272 с.
- [8] Тренажерные системы / Шукшунов В.Е., Бакулов Ю.А., Григоренко В.Н. и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.
- [9] Тренажерные комплексы и тренажеры / Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [10] «Computerworld» № 9, 24/3/2010 г., Ю. Дюкова «Компьютер живет три года».

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.78.072.8

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

В.Н. Киршанов, А.П. Чудинов

В.Н. Киршанов; А.П. Чудинов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Представлена история создания и развития центрифуг в России и во всем мире. Рассмотрены конструктивные особенности центрифуг, задачи и целевое предназначение.

Ключевые слова: центрифуга, перегрузка, история.

History of the Construction and Operation of Centrifuges for Cosmonaut Training. V.N. Kirshanov, A.P. Chudinov

The paper presents the history of the designing and development of centrifuges in Russia and around the world and considers the design features, tasks that are tackled through the use of them and their mission.

Keywords: a centrifuge, g-loads, history.

1. Историческая справка

История применения центрифуг в различных областях науки насчитывает более двух столетий.

Эразм Дарвин (1724–1796 гг.), дед Чарльза Дарвина, был одним из первых исследователей, который первым применил центрифугу (ЦФ) в исследованиях с людьми для их лечения.

Доктор Хорн (1818 г.) из госпиталя Шарите в Берлине создал ЦФ короткого радиуса для лечения нервно- и душевнобольных людей.

В 70-х годах XIX века К.Э. Циолковский проводил опыты над животными и насекомыми, подвергая их вращению на центрифуге. Целью этих опытов было определение влияния на организм больших перегрузок, с которыми человек столкнется при исследовании околоземного и космического пространства.

В 1896 году русские ученые Бехтерев и Боришпольский проводили опыты над животными, изучая деятельность головного мозга и состояние кровообращения при длительном вращении их на ЦФ, а также влияние ускорений на центральную нервную систему.

В конце XIX века Ф. Венуш (1898 г.) в Вене использовал вращающийся стол для лечения больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями [1].

Появление и развитие авиации, увеличение скоростей полета самолетов, необходимость выполнения маневров в воздухе на больших скоростях настоятельно требовали решения проблемы сочетания выносливости человека с техническими возможностями самолета, исследования переносимости перегрузок, которые вызывают нарушение дыхания, появление зрительных расстройств, болевые ощущения в эпигастральной или загрудинной областях, а также массовые кровоизлияния в кожные покровы. Возникали задачи отбора и тренировки летчиков, особенно остро эти задачи возникли с появлением самолетов реактивной авиации, летающих на транс- и сверхзвуковых скоростях.

Практическое применение англичанами и французами авиации в военных целях весной 1917 года выдвинуло перед медициной необходимость ответить на ряд вопросов, связанных с воздействием перегрузок на летчика во время воздушного боя. В 1918 году во Франции на собаках, а в 1926 году уже на людях доктором Гарзо были проведены эксперименты по воздействию перегрузок на организм. Для этих опытов использовалась центрифуга диаметром 18 м, приводимая во вращение мотором мощностью 80 л.с., на ней создавалась перегрузка до 2,5 единиц.

Проблема освоения космического пространства выдвинула задачи по исследованию факторов космического полета, влияющих в первую очередь на организм человека. Полет человека в космическом корабле синтезирует в себе комплекс необычных, экстремальных факторов воздействия, одним из которых является перегрузка, возникающая и действующая на человека при старте, входе в плотные слои атмосферы при спуске, при маневре на орбите, при посадке на Землю или другие планеты, при аварии во время вывода на орбиту и спуска с нее.

В XX веке в связи с возникновением новой отрасли науки – авиакосмической медицины – интерес к использованию центрифуги для решения научно-прикладных задач существенно возрос.

В результате подготовки к осуществлению первых космических полетов до 1961 году в СССР и за рубежом была проведена серия исследований на животных по влиянию факторов и условий космического полета на живой организм, позволивших обосновать возможность полета человека в космическое пространство.

С тех пор использование центрифуг в области биологии и медицины развивалось по трем направлениям:

1. Фундаментальные исследования роли гравитации в формировании и жизнедеятельности растительных и животных организмов.
2. Определение переносимости повышенной гравитации (перегрузок) применительно к практике авиации и космонавтики.
3. Использование центрифуг для лечебных целей в медицинской практике.

В 1959 году в СССР была поставлена задача – отбор и подготовка человека к первому полету в космическое пространство.

При подготовке космонавтов важное значение приобретает вопрос их тренировки для повышения адаптивных возможностей к перегрузкам, тренировки по управлению кораблем во время входа аппарата в плотные слои атмосферы при возвращении его из длительного космического полета, и особенно в случае аварийных ситуаций, вопрос создания и применения противоперегрузочных средств и устройств, а также вопросы применения центрифуг как средства проверки при отборе кандидатов в космонавты.

Центрифуга является динамической машиной, которая позволяет проводить исследования по определению воздействия ускорений на организм человека, вскрывать механизм реакции организма и исследовать вопросы оценки и повышения операторских возможностей человека в системе «человек–машина».

2. Отечественные центрифуги

Отечественные космонавты проходили отбор и подготовку на центрифугах 7 Авиационного госпиталя (АГ), «НПП «Звезда», ЛИИ имени М.М. Громова, Института авиационно-космической медицины (ИАКМ), Института медико-биологических проблем (ИМБП).

Центрифуга 7 АГ представляла собой 2-балочную конструкцию, на длинном плече которой в вилке подвешивалось кресло с привязной системой. На рис. 1 представлена фотография Ю.А. Гагарина, запечатленного в ее кресле. Центрифуга была произведена в 30-х годах в Германии и вывезена в СССР после окончания Великой отечественной войны как трофей. Центрифуга была демонтирована в начале 90-х годов.



Рис. 1. Ю.А. Гагарин в момент вращения на центрифуге 7 АГ

Центрифуга С-3 «НПП «Звезда» изготовлена фирмой «МГ» ФРГ и введена в эксплуатацию 08.03.1961 г. Назначение центрифуги: физиологические исследования, исследования работоспособности и испытания различного оборудования.

Центрифуга Ц-30 (ИАКМ) изготовлена и смонтирована шведской фирмой ASEA в 1962 году. Плечо центрифуги ферменной конструкции рассчитано на максимальную радиальную перегрузку в 30 единиц и максимальный градиент 6 ед./сек . Центрифуга имеет длину основного плеча $7,25 \text{ м}$ (малое плечо $6,5 \text{ м}$). Одноместная кабина имела два режима работы: управляемый посредством электропривода и тягово-цепной передачи и режим свободной подвески, при котором электропривод отключался. В настоящее время режим свободной подвески кабины является основным рабочим режимом.

В 1968 году на базе этой центрифуги был введен в строй динамический тренажер «Волчок» для тренировки космонавтов по ручному управлению спускаемым аппаратом. Моделирование динамики участков полета изделия осуществлялось ЭВМ «Днепр».

В 1964 году в институте была смонтирована двухплечевая физиологическая центрифуга Ц-40. Центрифуга отечественного производства, изготовлена ЦЭЗ ВВС. Центрифуга предназначена для исследований физиологии животных.

Центрифуга ЛИИ имени М.М. Громова была введена в эксплуатацию в 1965 году. Технические характеристики центрифуги: длина основного плеча – 8 м . Максимальная перегрузка 100 ед. , градиент изменения перегрузки $0,1\text{--}26 \text{ ед./с}$, полезная нагрузка до 300 кг . Вращение плеча происходит через редуктор, который имеет 2 выходных вала, со степенью редукции $i_1 = 11$ и $i_2 = 27$. Асинхронный двигатель $N = 750 \text{ кВт}$ вращает генератор постоянного тока $N = 400 \text{ кВт}$, от которого запитывается электродвигатель привода $N = 350 \text{ кВт}$ с регулируемым числом оборотов. Центрифуга имеет две степени свободы (подвижные плечо и кабина). С 1995 года эта центрифуга находится на консервации.

Центрифуга ИМБП (ГНЦ РФ–ИМБП РАН) построена шведской фирмой ASEA и введена в эксплуатацию в 1968 году. Основное плечо длиной 7,25 м выполнено в виде шестигранной трубы, состоящей из основной и конечной частей, в конечной части находится вал вилки. В конической части вилки расположена электроприводная кабина с размещенным в ней подвижным креслом. Таким образом, рабочее место испытателя имеет 4 степени свободы (подвижные плечо, вилка, кабина, кресло). Максимальная перегрузка 30 единиц. Градиент перегрузки до 7 *ед./с*. Центрифуга имеет малое плечо длиной 6,25 м, на котором устанавливается подвижный контейнер, используемый при проведении испытаний и исследований с различным оборудованием.

В Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) для отбора и подготовки космонавтов с 1 марта 1973 года используется центрифуга ЦФ-7 (рис. 2) отечественного производства с длиной основного плеча 7 м, со свободно подвешенной кабиной (центрифуга имеет две степени свободы: подвижные плечо и кабина). На центрифуге можно создавать перегрузку до 20 *ед.*, с градиентом до 8 *ед./сек*. Длительное время на базе центрифуги действовал динамический тренажер «Пилот-732». Тренажер обеспечивал подготовку космонавтов к ручному управляемому спуску при посадке ТК «Союз-ТМ» в случае отказа автоматики. Сегодня на базе центрифуги работает новый тренажер ручного управляемого спуска (РУС) ТПК «Союз ТМА-М».



Рис. 2. Центрифуга ЦФ-7 (ЦПК имени Ю.А. Гагарина)

В 1970 году начаты переговоры, а в 1981 году в ЦПК полностью смонтирована и принята на эксплуатацию центрифуга ЦФ-18 (рис. 3). Техническое задание на проектирование и создание центрифуги было разработано инженерами ЦПК имени Ю.А. Гагарина. Изготовлена центрифуга шведской фирмой ASEA. В процессе ее разработки и монтажа активное и непосредственное участие принимали специалисты ЦПК. Центрифуга является воплощением передовой инженерной мысли и самых современных технологий 80-х годов XX века. Она и на сегодняшний день, после проведения ряда модернизаций отдельных систем и оборудования, остается одной из самых современных центрифуг мира по характеристикам и потенциальным техническим возможностям. На базе центрифуги создан и с 2002 года используется для подготовки космонавтов динамический тренажер ручного управляемого спуска ТПК «Союз ТМА» ТС-18. Центрифуга имеет четыре степени свободы (подвижные плечо, вилка, кольцо и кабина), рассчитана на

перегрузку в 30 *ед.* и максимальный градиент 5 *ед./с.* Длина основного плеча 18 м. Центрифуга имеет две взаимозаменяемые кабины на одного и двух космонавтов. Система вакуумирования и создания гигиенических параметров позволяет создавать в кабине разрежение до 40 *мм рт. ст.* и повышать давление до 800 *мм рт. ст.*



Рис. 3. Центрифуга ЦФ-18 (ЦПК имени Ю.А. Гагарина)



Рис. 4. Центрифуга ЛИИ им. М.М. Громова

В ЛИИ имени М.М. Громова в 2000 году планировалось запустить в эксплуатацию центрифугу производства австрийской фирмы AMST (рис. 4). Однако из-за проблем, связанных с работоспособностью основного подшипника вертикального электродвигателя, приемо-сдаточные испытания были остановлены, а центрифуга и все вспомогательное оборудование демонтированы.

На базе фундамента и инфраструктуры, находящейся в здании, оставшемся от демонтированной центрифуги, в 2007 году была установлена новая, более современная центрифуга (рис. 5), испытания которой завершены в марте 2008 года. Центрифуга построена австрийской фирмой AMST. Центрифуга – одна из немно-

гих, являющаяся серийной. На сегодняшний день аналогичные центрифуги используются для различных целей, в том числе для подготовки тайконавтов (космонавтов) в Китае, а также Индии, Польше, Сингапуре, Германии. Центрифуга рассчитана на создание перегрузки до 15 единиц при градиенте 10 ед./с . ЦФ имеет карданный подвес с двумя степенями свободы (кабина и кольцо). Отличительной особенностью данной центрифуги от других, имеющихся в РФ, являются привода кабины и кольца, представляющие собой малогабаритные, но мощные с большим крутящим моментом электродвигатели в безредукторном исполнении. Кабина и кольцо изготовлены по современным технологиям с применением углепластика. Центрифуга также снабжена обгонной муфтой, предназначенной для снижения градиентов перегрузки при аварийном торможении.

Технические характеристики центрифуг России представлены в таблице 1.



Рис. 5. Центрифуга ЦФ АМСТ
(Медицинский исследовательский центр ЛИИ имени М.М. Громова)

3. Зарубежные центрифуги

В США первая центрифуга для испытания людей была построена Армстронгом и Геймом и введена в эксплуатацию в 1935 году. Конструктивно она представляла собой ферму из алюминиевого сплава длиной 6 м, на одном конце которой устанавливалось кресло, обеспечивающее создание положительной, отрицательной и боковой перегрузки. При скорости вращения от 20 до 80 *об/мин* создавались перегрузки величиной до 20 единиц.

В то же время в Германии в научно-исследовательском институте (НИИ) авиационной медицины ВВС была смонтирована центрифуга с плечом 11,5 м, которая позволяла создавать перегрузку до 20 единиц с градиентом 2 ед./с .

В 1937–39 годах была построена вторая такая же центрифуга, но из-за воздушных налетов на аэродром Темпельгоф она была демонтирована.

В 1938 году в Японии, в армейском медицинском колледже, была построена тихоходная центрифуга радиусом вращения 7 м, которая позволяла за 1 мин выходить на перегрузку 5 *ед*.

Таблица 1

Технические характеристики центрифуг России

№ п/п	Основные характеристики	Единица измерения	ЦАКМ (НИИЦ (АКМ и ВЭ) ЦНИИ ВВС МО РФ)		ЦПК имени Ю.А. Гагарина		ОАО «НПП «ЗВЕЗДА»	ИМБП РАН	ЛПШ имени М.М. Громова
			АЭА (Швеция)	ЦЭЗ ВВС (Россия)	ЦЭЗ ВВС (Россия)	ЦЭЗ ВВС (Россия)			
1	Поставщик	Фирма (страна)	АЭА (Швеция)	ЦЭЗ ВВС (Россия)	ЦЭЗ ВВС (Россия)	АЭА (Швеция)	- (ФРГ)	АЭА (Швеция)	АМСТ (Австрия)
2	Название ЦФ		Ц-30	Ц-40	ЦФ-7	ЦФ-18	С-3	ЦФ-АСЕА	ЦФ-АМСТ
3	Год ввода в эксплуатацию		1962	1964	1973	1981	1962	1968	2007
4	Радиус вращения	м	7,25 (6,5)	4,2	7	18	8	8	8
5	Максимальная перегрузка	ед.	30	40 (45)	20	30	25	30	15
6	Угловая скорость	об./мин	61	92,5	50,7	38,61	-	-	-
7	Градиент перегрузки	ед./с	0...6	0...5	0...7	0...5	0...4	0...5	0...10
8	Кол-во степ. свободы	шт.	2	2	2	4	2	3+1	3
9	Кол-во посад. мест	шт.	2	2	1	2 (1)	1	1	1
10	Система упр. (режим):								
	- ручной		есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
	- автоматический		есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
	- программный		нет	есть	есть	есть	есть	есть	есть
11	Привод:								
	- мощность двигателя	КВт	400	70	820	27000	-	-	-
	- тип преобразователя		электромаш.	электромаш.	тиристор	тиристор	электромаш.	тиристор	тиристор
	- наличие редуктора		есть	есть	нет	нет	есть	нет	нет
12	Тип стрелы (плеча)		2 плеча, ферма	2 плеча, ферма	1 плечо, ферма	2 плеча, труба	1 плечо, балка	2 плеча, труба	1 плечо, короб

В начале Второй мировой войны в Канаде, США, Японии и Австралии было построено 7 центрифуг для испытаний человека.

В 1942–45 годах в США было построено 4 центрифуги с радиусом вращения до 6 м, максимальной перегрузкой до 20 ед. и градиентами перегрузок от 2 до 6 ед./с. Все центрифуги, кроме центрифуги ВВС (Райт Филд), имели маховики для разгона центрифуги.

В 1942 году в Японии была построена центрифуга для отбора курсантов авиационных училищ. Центрифуга имела радиус вращения 3 м, создавала перегрузку 15 ед. и позволяла достигать градиент перегрузок до 2 ед./с. Она была снабжена необходимой электрофизиологической, рентгеновской и киноаппаратурой для наблюдения за испытуемым, сбора, регистрации и хранения физиологических параметров.

В 1942 году в Австралии (университет г. Сиднея) была построена центрифуга ВВС, на которой испытуемый с аппаратурой мог перемещаться по радиусу во время вращения. При радиусе вращения 2,7 м максимальная перегрузка достигала величины 9,5 ед. Кресло испытателя могло перемещаться как по радиусу, так и изменять наклон посредством электроприводов. Центрифуга имела автоматическую систему динамической балансировки плеча.

За десять лет – с 1950 по 1960 гг. – в мире было построено порядка 14 физиологических центрифуг для испытаний с участием человека.

В 1950 году в Джонсвилле (США) запущена в эксплуатацию центрифуга, которая впоследствии использовалась для подготовки астронавтов (в кабине на 3 человека устанавливались органы управления, индикации и сигнализации космических кораблей «Меркурий», «Джемини», и «Аполлон», моделировалась динамика полета этих кораблей). На центрифуге впоследствии была установлена кабина в виде макета корабля Джемини, а затем корабля Аполлон. Двойной карданный подвес кабины обеспечивал имитацию вращения и колебаний кабины в трех плоскостях, что позволяло имитировать динамику полета космического аппарата практически на всех этапах траектории. В кабине создавались высотность до 18 км и температурные условия от минусовых до +93 °С.

В 1954 году в Англии в Фарнборо была введена в строй центрифуга с радиусом вращения 30 футов (около 9 м) с создаваемыми перегрузками до 30 единиц, градиентом перегрузки 7 ед./с. Подвеска кабины свободная. Привод ЦФ осуществляется электродвигателем мощностью 1350 л.с.

По сообщениям английской печати (RAF Quarterly, лето 1962 г.) в Институте авиационной медицины в Англии смонтирована ЦФ радиусом вращения 19 м, создаваемые перегрузки до 30 ед., градиент перегрузок до 8 ед./с. Разгон центрифуги осуществляется с помощью 12-тонного маховика электродвигателем мощностью 2800 л.с. На двух плечах центрифуги могут подвешиваться 2 кабины. Во время вращения центрифуги кабина может быть установлена в нужное положение с возможностью вращения вокруг своей оси. Полезная нагрузка кабины 500 кг.

В 50-х годах XX века немецким инженером Шредгером была сконструирована центрифуга для исследования человека. Такие ЦФ ныне действуют в ФРГ, Италии, Российской Федерации, Японии. Центрифуга обеспечивает достижение перегрузок в 40 ед. с градиентом от 1 до 20 ед./с. Плечо центрифуги за счет сменных ферм, устанавливаемых на двух выходных валах редуктора, может быть 7 и 8 м. Привод осуществляется двумя электродвигателями с фазным ротором, мощность привода 360 кВт. Для разгона центрифуги используется маховик. В кабине может обеспечиваться высотность до 20 км.

Во Франции фирмой Латэкуэр в 1951 году была начата разработка и в 1955 году введена в строй в летно-испытательном центре в Бретани ЦФ Latecoere 260 с радиусом вращения 6 м, создаваемые перегрузки 15 ед. (для испытаний человека, градиент перегрузки 5 ед./с), 40 ед. (для испытаний оборудования, градиент порядка 13...14 ед./с). Привод осуществляется электродвигателем мощностью 75 кВт.

Фирма Латэкуэр (Latecoere) разработала несколько типов ЦФ для технических целей и для испытаний человека (табл. 1). К ним относятся центрифуги: Latecoere 311, Latecoere 320, Latecoere 265, все типы французских центрифуг двухплечевые. На длинном плече, как правило, подвешивается кабина, а на коротком – балансировочные противовесы.

В 1957 году шведская фирма ASEA смонтировала в Каролинском институте в Стокгольме (в Шведском комитете авиационных и морских медицинских исследований) двухплечевую центрифугу диаметром 23,5 фута (7,25 м), которая обеспечивала создание перегрузок в 30 ед. с градиентом 5 ед./с.

Развитие космонавтики, необходимость решать вопросы исследований и тренировок космонавтов по управлению космическим кораблем в условиях воздействия перегрузок потребовали создания центрифуг с имитацией профилей полета кораблей по вращениям и колебаниям, что обеспечивается посредством приводов кардановых подвесов.

В марте 1965 года в Центре пилотируемых комических полетов им. Джонсона (США, г. Хьюстон) была введена в строй центрифуга с радиусом вращения 15 м. ЦФ снабжена двумя кардановыми подвесами с возможностью создания перегрузок до 30 ед. Каждый кардан может вращаться в любом направлении со скоростью до 30 об./мин, внешний кардан может обеспечить создание углового ускорения 0,4 g, а внутренний – 1,9 g. Диаметр кабины 12 футов (3,6 м). Центрифуга может разгоняться с градиентом перегрузки до 3 ед./с. Кабина рассчитана на 3 человека. В кабине могут создаваться высотность до 38 км, температура от +10 °С до +90 °С, относительная влажность воздуха 40–60 %.

В 1962 году в Научно-исследовательском центре Эймса (НАСА, США) был введен в строй имитатор управляемого полета с пятью степенями свободы для изучения проблем управления летательным аппаратом в условиях воздействия перегрузок, а также изучения проблем посадки самолетов. Этот имитатор – центрифуга – имеет радиус вращения 9,14 м, карданный подвес кабины с тремя степенями вращения, подъемник на конце стрелы, обеспечивающий перемещение кабины с карданным подвесом в вертикальной плоскости. Кабины – сменные. Максимально создаваемые перегрузки 5 ед., градиент перегрузок до 2 ед./с, угловая скорость 24 об./мин.

На рис. 6 представлена современная центрифуга Института авиационной медицины ВВС США в Центре Райт Паттерсон.

Технические характеристики центрифуг США представлены в таблице 2.

На большинстве центрифуг второй половины 60-х годов XX века широко внедрялись и применялись аналоговые и цифровые электронно-вычислительные устройства для программного управления, моделирования динамики полета самолетов и космических ЛА, автоматической обработки информации как в реальном масштабе времени, так и после эксперимента. На многих центрифугах устанавливались телевизионная, рентгеновская, кинофотоаппаратура для более объективного и всестороннего контроля за испытуемым или тренирующимся.

На рис. 7 представлена центрифуга последнего поколения производства фирмы AMST (Австрия). Технические характеристики: шесть степеней свободы, макс. перегрузка 3,5 ед., два плеча по 3,5 метра.

Таблица 2

Технические характеристики центрифуг США

№ п/п	Основные характеристики	Единица измерений	База ВВС г. Райт-Филд	База ВВС г. Пенсакола	Универ. ш. Юдж. Каролина	Клиника г. Майо	НИИ ВМФ г. Джонсвилл	НИИ г. Эймса	ЦУП г. Хьюстон	База ВВС г. Джонсвилл	Фирма Nort American Rockwell	
1	Год ввода в эксплуатацию		1943	1945	1944	1942	1950	1961	1965	1967	1965	
2	Радиус вращения	м	6	6	6	6	15,25	6	15,25	15	46	
3	Макс. перегрузка	ед.	20	20	20	20	40	6	30	-	0,5	
4	Градиент перегрузки	ед./с	0...6	0...6	0...6	0...6	0...10	0...2	-	0...5	-	
5	Кол-во степ. свободы	шт.	2	-	-	-	3	5	3	3	2	
6	Кол-во посад. мест	шт.	1	-	-	-	-	-	3	1	6...8	
7	Система упр. (режим): - ручной - автоматический - программный		есть есть нет	есть есть -	есть есть -	есть есть -	есть есть есть	есть есть есть	есть есть есть	есть есть есть	есть есть -	
8	Привод: - мощность двигателя - тип преобразователя - наличие редуктора	КВт	- - -	МАХОВИК - -	МАХОВИК - -	МАХОВИК - -	МАХОВИК - -	4000 - эл. маш.	2400 - нет	- - -	- - -	- - -
9	Тип стрелы	шт.					2 плеча	1 плечо	1 плечо	1 плечо	1 плечо	



Рис. 6. Центрифуга Института авиационной медицины ВВС США (Центр Райт Паттерсон)



Рис. 7. Шестистепенная центрифуга «Дездемона» (AMST, 2013 г.)

На ЦФ моделируется полет вертолета типа «Апач», полет самолета-истребителя, может устанавливаться автомобильный тренажер.

Таким образом, современная центрифуга становится не только экспертным средством для отбора, медицинской экспертизы летного состава и прогнозирования возможностей оператора по выполнению полетного задания, но также является комплексным тренажером по выработке и совершенствованию профессиональных навыков космонавтов по управлению кораблем и его системами в условиях воздействия факторов космического и околоземного полета, является научной лабораторией для решения большого круга вопросов медико-биологического характера, профессиональной подготовки летчиков и космонавтов и проведения разнообразных исследований и испытаний по авиационной, космической и другим тематикам.

УДК 629.78.007

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ

А.А. Алтунин, Н.А. Бачмановский, Д.И. Верба, В.С. Коренной,
М.А. Зайцев

А.А. Алтунин; Н.А. Бачмановский; Д.И. Верба; канд. техн. наук В.С. Коренной;
М.А. Зайцев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Работа человека в открытом космосе получила свое определение как особый вид профессиональной деятельности и называется внекорабельной деятельностью. Термином «внекорабельная деятельность» обозначается все более расширяющаяся сфера деятельности человека в открытом космическом пространстве: работы, выполняемые космонавтами на наружной поверхности космических объектов, в негерметичных отсеках, а в будущем – на поверхности иных планет и их спутников. История внекорабельной деятельности началась 18 марта 1965 года, когда летчик-космонавт СССР А.А. Леонов впервые в мире вышел в открытое космическое пространство.

Ключевые слова: внекорабельная деятельность, космический корабль, шлюзовая камера, открытый космос, космический скафандр.

Main Development Stages of Domestic Extravehicular Activity of Cosmonauts. A.A. Altunin, N.A. Bachmanovsky, D.I. Verba, V.S. Korennoy, M.A. Zaitsev

Human activity in open space is treated as a special kind of professional activity and is called an extravehicular activity. The term “extravehicular activity” covers an increasingly expanding scope of human activity in open space including operations performed by cosmonauts on the outer surface of a space object, inside unpressurized modules as well as future operations on the surface of other planets and their satellites. History of extravehicular activity began on March 18, 1965 when the USSR’s pilot-cosmonaut A.A. Leonov made the first in the world walk in open space.

Keywords: extravehicular activity, spaceship, lock chamber, open space, spacesuit.

Внекорабельная деятельность (ВКД) – это работы, выполняемые космонавтами, снаряженными в скафандры, в негерметичных отсеках орбитальной пилотируемой станции, открытом космосе (ОК) или на поверхности планет.

Анализ работ, выполненных в ОК космонавтами при реализации различных программ космических полетов – от «Восход-2» до Международной космической станции (МКС), позволяет выделить в истории развития ВКД четыре этапа:

1. Первый опыт выходов в ОК.
2. Качественный скачок в развитии техники ВКД, работы на долговременных орбитальных станциях (ДОС) типа «Салют».
3. Формирование отечественной концепции ВКД, работы на орбитальном комплексе «Мир».
4. Строительство МКС. Взаимодействие с иностранными партнерами.

К *первому этапу* – началу развития ВКД – относятся два первых выхода в ОК.

18 марта 1965 года на втором витке полета космического корабля (КК) «Восход-2» летчик-космонавт СССР А.А. Леонов впервые в мире вышел в открытый космос в выходном скафандре легкого типа с автономной ранцевой системой жизнеобеспечения (СЖО). Результаты работы, выполненной космонавтом в ОК в

течение 12 минут 09 секунд, подтвердили возможность проведения инспекционного контроля КК и ведения репортажа из ОК.

Работы в ОК были продолжены в 1969 году космонавтами Е.В. Хруновым и А.С. Елисеевым, которые осуществили переход по поручням через ОК из одного КК в другой, выполнив при этом осмотр КК и оценку нового скафандра.

Подготовка космонавтов А.А. Леонова, Е.В. Хрунова и А.С. Елисеева к выходам в ОК проводилась в условиях кратковременной невесомости на самолете-лаборатории (СЛ), при этом циклограмма ВКД отрабатывалась отдельными частями без ее полного воспроизведения. В связи с этим были предприняты усилия по внедрению в подготовку космонавтов к ВКД и других технических средств, в том числе тренировки в гидросреде.

Ко *второму этапу*, охарактеризованному качественным скачком в развитии конструкции скафандра, работой с крупногабаритными конструкциями и расширением спектра задач и техники ВКД в целом, относится опыт работ на ДОС типа «Салют».

Первые тренировки в условиях гидросреды были реализованы в 1977 году при подготовке к выходу в ОК экипажа в составе космонавтов Ю.В. Романенко и Г.М. Гречко, которые произвели инспекцию стыковочного узла станции «Салют-6». При тренировках в гидроневесомости были выбраны необходимые технические средства для инспекции стыковочного узла, отработана полная циклограмма выхода, в результате чего задание было выполнено полностью.

На ДОС «Салют-6» космонавты В.В. Коваленок и А.С. Иванченков выполнили в ОК работу с большим количеством экспериментального оборудования, провели телерепортажи и съемки. Результаты выполненной работы показали, что навыки, приобретенные космонавтами при тренировках в наземных условиях, сохраняются длительное время. Появилась возможность предварительной отработки на Земле действий экипажа на случай ликвидации некоторых нештатных ситуаций (НшС) на борту. Экипаж в составе В.А. Ляхова и В.В. Рюмина вышел в ОК для ликвидации аварийной ситуации, вызванной зацепом антенны радиотелескопа КРТ-10 за элементы конструкции орбитальной станции (ОС). Успешная ликвидация аварии была гарантирована достаточно полной наземной отработкой типовых операций по шлюзованию и перемещению по всей поверхности ОС.

Космонавты А.Н. Березовой и В.В. Лебедев выполнили монтажные операции с использованием специального инструмента и различных резьбовых соединений и провели большой объем работ на внешней поверхности ОС, чем также доказали устойчивость приобретенных навыков при тренировках в наземных условиях.

Монтаж дополнительных солнечных батарей (ДСБ) в ОК был выполнен экипажем В.А. Ляхова и А.П. Александрова. Впервые они осуществили два последовательных выхода, при этом в ОС были заложены конструктивные элементы, способствующие выполнению этих работ. В условиях моделирования факторов космического полета были отработаны циклограммы предстоящих работ, проведены тренировки, в том числе по возможным аварийным ситуациям, были выданы рекомендации по совершенствованию бортового оборудования и ДСБ.

Космонавты Л.Д. Кизим и В.А. Соловьев осуществили шесть выходов в ОК для ремонта объединенной двигательной установки, монтажа двух ДСБ и демонтажа фрагмента солнечной батареи (СБ) с целью доставки на Землю. Экипажем было выполнено большое количество контрольных и технологических операций. Отслеживание циклограммы (ЦГ) ВКД на борту осуществлял третий член экипажа О.Ю. Атьков. При выполнении ремонтно-восстановительных работ (РВР) объединен-

ной двигательной установки (ОДУ) был использован накопленный опыт ВКД предыдущих полетов, методического обеспечения подготовки космонавтов-операторов и проведения большого объема испытаний космической техники (КТ) ВКД.

Последующие работы, выполненные в ОК космонавтами В.А. Джанибековым и С.Е. Савицкой, первой женщиной-космонавтом, вышедшей в ОК, были направлены на испытания универсального ручного инструмента, предназначенного для резки, сварки, пайки и напыления покрытий в ОК. Операции ВКД экипажем отрабатывались в условиях кратковременной невесомости при полетах на самолете-лаборатории, в гидролаборатории (ГЛ), в термобарокамере (ТБК), на стендах и тренажерах.

Работы в ОК по наращиванию дополнительных солнечных батарей, установке фрагмента экспериментальной солнечной батареи после эргономических испытаний и тренировок были успешно выполнены космонавтами В.А. Джанибековым и В.П. Савиных. Разработке методов сборки в космосе крупногабаритной конструкции, дальнейшим исследованиям поведения различных материалов в ОК и некоторым другим операциям ВКД были посвящены два выхода в ОК космонавтов Л.Д. Кизима и В.А. Соловьева.

На основе опыта, полученного на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7», была сформирована отечественная концепция внекорабельной деятельности.

Работы, выполненные в процессе внекорабельной деятельности на ОК «Мир», стали *третьим этапом* в развитии отечественной теории и практики внекорабельной деятельности.

Космонавты Ю.В. Романенко и А.И. Лавейкин совершили незапланированный выход в ОК с целью ликвидации аварийной ситуации, возникшей при стягивании после стыковки модуля «Квант» со станцией «Мир». Аварийная ситуация была ликвидирована. Рекомендации по ее устранению отрабатывались в условиях гидросреды.

В процессе выхода Ю.В. Романенко осуществил перемещение одиннадцатитонного «Кванта» в пределах возможности стыковочного узла. Этим же экипажем за два выхода в ОК были выполнены работы по монтажу первого и второго ярусов СБ, предварительные операции были отработаны в условиях гидроневесомости (ГН).

Трижды работали в ОК космонавты В.Г. Титов и М.Х. Макаров, которые в первом выходе произвели снятие и установку СБ. Во втором выходе задание по замене блока детектора телескопа не выполнили в связи с поломкой инструмента, не прошедшего эргономические испытания в наземных условиях ГН.

Во время третьего выхода после всесторонней отработки операций и проверки инструмента замена блока детектора произошла успешно.

Пять выходов в ОК выполнили космонавты А.С. Викторенко и А.А. Серебров во время их полета на ОС «Мир».

В первых трех выходах были произведены монтаж двух звездных датчиков астроориентации, научной аппаратуры (НА) «Альфа» и другого экспериментального оборудования, выполнена перестановка конусной крышки стыковочного агрегата СтА-III на СтА-I в ПХО, установлены выходное устройство для средства перемещения космонавта (СПК), выносной якорь и телевизионная камера, НА «Данко», «Феррит» и «Пленка».

В четвертом и пятом выходах произведены испытания СПК на различных режимах и удалениях, выполнено измерение радиационного излучения в пространстве прибором «Спин-6000».

Задачами первого выхода в ОК космонавтов А.Я. Соловьева и А.Н. Баландина являлись инспекция пиропатронов отстрела экранно-вакуумной тепловой изоляции (ЭВТИ), расстыковка, фиксация и частичный ремонт ЭВТИ. При открытии выходного люка шлюзового специального отсека (ШСО) произошла деформация кронштейна крышки выходного люка, что привело к проблемам при его закрытии. Полностью закрепить панели ЭВТИ не удалось из-за усадки панелей. Обратное шлюзование было выполнено в резервном шлюзовом отсеке.

Во втором выходе после оценки состояния выходного люка космонавты осуществили попытку ремонта выходного люка, фиксацию трапов. Шлюзование проводилось также в резервном шлюзовом отсеке.

Космонавты Г.М. Манаков и Г.М. Стрекалов продолжили инспектирование и ремонт выходного люка, произвели снятие термобокса телекамеры, его транспортировку к выходному люку, снятие НА «Пленки», вывели в ОК ферму для установки СБ. Затруднения с закрытием выходного люка не позволили выполнить программу ВКД в полном объеме.

Серией из четырех выходов в ОК совершили космонавты В.М. Афанасьев и М.Х. Манаров, которые закончили ремонтные работы выходного люка, сняли образцы «Пленки-3», осуществили фиксацию и установку фермы для СБ на «Квант-1», установили грузовую стрелу на базовом блоке, провели работы с научной аппаратурой, инспекцию антенны системы сближения «Курс», снятие образцов.

Экипажем отмечены сложность и трудоемкость ремонтных работ выходного люка, нецелесообразность выполнения работ и переходов в тени, особенно по сложным маршрутам (в частности, в первом выходе в ОК), нежелательность выполнения ВКД на значительных удалениях вне зоны прямой видимости каждого члена экипажа.

Для экипажа в составе А.П. Арцебарского и С.К. Крикалёва основной задачей при ВКД явилась работа по сборке крупногабаритной конструкции (КГК) «Софора». Экипаж осуществил шесть выходов в ОК. В процессе ВКД была выполнена замена антенны системы «Курс» модуля «Квант», установлена и отъюстирована телевизионная камера (ТВК-2) на балке солнечной батареи базового блока, установлено оборудование по эксперименту «Трек-Д» (США) на модуле «Квант-2», смонтирована монтажная площадка для «Софоры» на модуле «Квант» и произведена сборка и монтаж четырнадцатиметровой фермы «Софора». Сборка фермы осуществлялась путем нагрева обжимных муфт, изготовленных из материала с памятью формы. В процессе ВКД выполнен большой объем сложных работ по сборке и монтажу КГК на модуле «Квант», преодолены многие нештатные ситуации. При выполнении ВКД для работы также использовалось время нахождения комплекса в тени, что приводило к опережению графика работ. В последующем были испытаны две фермы «Рапана» и «Ферма-3», которые также монтировались на монтажной площадке.

Подготовку к стыковке выносной двигательной установки (ВДУ), ее монтаж на ферме «Софора» осуществили космонавты А.Я. Соловьев и С.В. Авдеев в четырех выходах в ОК, они также выполнили расчеховку антенны АКР-ВКА и демонтаж НА. В процессе монтажа ферма «Софора» «ломалась» с помощью специального шарнирного звена и подходила к ВДУ, находящемуся на негерметичном отсеке грузового корабля, пристыкованного к модулю «Квант». После этого выполнялась стыковка ВДУ и фермы. Возврат фермы в рабочее положение выполнялся с помощью специальных приводов, монтируемых на шарнирном звене. Монтаж ВДУ на ферме «Софора» позволил значительно улучшить возможности по управлению ОК «Мир».

Космонавты Ю.П. Гидзенко и С.В. Авдеев произвели в ОК перестыковку конусной крышки с IV на II плоскость ПхО базового блока (ББ) для приема модуля «Природа». Работа в ОК продолжалась 26 минут.

Экипажи трех выходов в ОК в составе С.В. Авдеев–Т. Райтер, Ю.П. Гидзенко–С.В. Авдеев, Ю.П. Гидзенко–Т. Райтер произвели установку четырех блоков в аппаратуру европейского научно-экспериментального оборудования, замену кассет в блоках научной аппаратуры, перестыковку конусной крышки с IV на II плоскость ПхО ББ для приема модуля «Природа», внесли из ОК в ШСО опытный элемент грузовой стрелы (ГСт), зафиксировали СПК на выходном устройстве «Кванта-2».

Четвертый этап развития отечественной ВКД связан со строительством МКС и, как следствие – тесным взаимодействием с иностранными партнерами. Для координации работ между двумя школами ВКД в 1994 году была создана международная рабочая группа по ВКД, которая работает уже более двадцати лет.

Совместная работа российских и американских специалистов стала встречей двух школ ВКД, каждая из которых сформировалась независимо друг от друга.

Разные скафандры, средства страховки космонавтов и оборудования, подходы к организации тренировок и испытаний, – все это являлось почвой для многочисленных дискуссий и согласований.

При строительстве и эксплуатации МКС необходимость проведения выходов в открытый космос на российском (РС) и американском (АС) сегментах МКС в скафандрах различной конструкции приобрела особую актуальность. В связи с этим в начале строительства МКС было принято решение об интегрировании американских скафандров «EMU» для внекорабельной деятельности в гидролаборатории ЦПК имени Ю.А. Гагарина и российских скафандров «Орлан» в NBL Космического центра имени Джонсона для парирования штатных и нештатных ситуаций, требующих проведения ВКД на РС МКС в скафандрах «EMU» или на АС МКС в скафандрах «Орлан». Такая работа была успешно выполнена, и на протяжении почти десяти лет космонавты и астронавты, инженеры и инструкторы имели возможность изучать скафандры и средства ВКД обеих стран. Одним из самых важных результатов использования скафандров «EMU» в ЦПК несомненно является опыт, приобретенный космонавтами, специалистами по ВКД и инженерно-техническим персоналом в результате международного сотрудничества.

В 2005–2007 годах по инициативе российских специалистов параллельно с поддерживаемыми испытаниями в гидролаборатории были проведены исследования по сравнению эргономических характеристик скафандров «EMU» и «Орлан», что в свою очередь сыграло большую роль в планировании и организации ВКД на РС и АС МКС. Проведению данных испытаний предшествовал выход Г.И. Падалки и М. Финка в 2004 году по выполнению ремонта гироскопа № 2 на американском сегменте МКС. Данный выход проводился в скафандрах «Орлан» вместо скафандров «EMU» в связи с неисправностью системы охлаждения одного из американских скафандров. Подготовка циклограммы выхода была осложнена тем, что конкретные ремонтные операции в российских скафандрах не отработывались и отсутствовали рекомендации по переводу времени, отведенного на выполнение каждой операции в циклограмме предстоящего выхода.

Сегодня мы можем констатировать, что в результате многолетнего сотрудничества специалистов США и России по вопросам ВКД достигнуто достаточное взаимопонимание, партнеры активно изучают, осваивают и используют опыт друг друга. Примером сотрудничества может служить решение задачи по созданию

«гибридного» устройства закрепления ног космонавта, разработанного на базе российской конструкции «Якорь», одинаково пригодного для ботинок российского скафандра «Орлан-М» и американского скафандра «EMU». Применение американского навесного оборудования для скафандра «EMU» в составе скафандра «Орлан» значительно облегчило фиксацию и страховку инструмента и оборудования для ВКД. Использование возможностей по фото- и видеорегистрации в процессе ВКД, имеющихся у наших партнеров, значительно повысило безопасность проведения выходов и облегчило проведение послеполетных разборов.

В результате сотрудничества специалистов России и США формируется система взаимодействия с сильным кооперативным эффектом, что является хорошим фундаментом для долговременного сотрудничества как по программе МКС, так и по иным перспективным проектам.

Работы на внешней поверхности РС МКС начались как раз с международного выхода Ю.И. Маленченко и Э. Лу в скафандрах «EMU» 11 сентября 2000 года при полете Шаттла STS-106. В процессе ВКД был установлен блок магнитометра «Феррозонд» на рабочий отсек служебного модуля (СМ) и проложены межмодульные связи между СМ и ФГБ. И только в июне 2001 года экипажем МКС-2 Ю.В. Усачевым и Д. Воссом был выполнен первый выход в скафандрах «Орлан» по переносу конусной крышки Ста в ПХО, с которого начинается нумерация российских ВКД на МКС. Данный выход на сегодняшний день является самым коротким, его продолжительность составила 19 минут. За почти пятнадцатилетнюю историю выходов на РС МКС было выполнено 47 выходов в скафандрах «Орлан», в процессе проведения которых проводилось дооснащение РС МКС, выполнялись научные эксперименты и проводились ремонтные работы. Самым продолжительным выходом на РС МКС является выход С.Н. Рязанского и О.В. Котова, выполненного 27 декабря 2013 года. Его продолжительность составила 8 часов 7 минут. В процессе выхода выполнялся вынос олимпийского факела в открытый космос, демонтаж якоря с переходного отсека СМ «Звезда», установка съемного поворотного поручня на выносном рабочем месте, демонтаж арретира с двухосной платформы наведения и отключение радиометрического комплекса РК-21-8 на СМ «Звезда».

История ВКД продолжается и сейчас. Мировым рекордсменом по количеству выходов в открытый космос является Соловьев Анатолий Яковлевич. За период с 1990 по 1998 год он выполнил 16 выходов в открытый космос. Десять выходов выполнили космонавты С.В. Авдеев и А.А. Серебров, девять выходов выполнили космонавты В.Н. Дежуров и Г.И. Падалка. Всего в открытый космос выходили 65 отечественных космонавтов, которые совершили в совокупности 263 выхода.

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

**МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ»**

24–26 июня 2015 года, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»,
Звездный городок, Московская область

Youth Conference

“New Materials and Technologies in Rocket-and-Space and Aviation Industry”
June 24–26, 2015, State Organization “Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center”,
Star City, Moscow Region

В целях дальнейшего развития и поддержки научно-технической деятельности молодых специалистов организаций ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности России в период с 24 по 26 июня 2015 года состоялась ежегодная Молодежная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической и авиационной технике» (далее – конференция).

Мероприятие проводилось при поддержке Федерального космического агентства.

Организаторами конференции 2015 года являются:

- Комитет по развитию авиационно-космического комплекса Торгово-промышленной палаты Российской Федерации;
- федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»;
- Государственный университет управления.

Молодежная конференция традиционно проходила в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Основными задачами конференции являлись выявление талантов и поддержка научно-технического творчества российской молодежи в сфере новых материалов и технологий для ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности, обмен опытом между специалистами смежных отраслей, расширение научно-технического кругозора молодых конструкторов, технологов и управленцев.

В программу конференции были включены доклады по следующим секциям.

Секция 1. Новые материалы и технологии для ракетно-космической и авиационной техники.

Секция 2. Системы и устройства для ракетно-космической и авиационной техники.

Секция 3. Автоматизированные системы управления и проектирования.

Секция 4. Технологии двойного назначения (применение ракетно-космических и авиационных технологий в других отраслях промышленности, народном хозяйстве, медицине, бытовой технике и др.).

Секция 5. Менеджмент и экономика инноваций.

В конференции приняло участие 80 специалистов от 27 организаций ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности. Было представлено 37 научно-технических докладов.

В течение двух дней в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проходили заслушивания докладов участников. Экспертный совет из специалистов ведущих предприятий отрасли подвел итоги конкурса докладов и определил 8 победителей в соответствующих секциях.

Победители получили грамоты от ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и соответствующие денежные премии, а все участники – именные сертификаты.

Участникам и гостям конференции была предложена обширная программа дополнительных мероприятий в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»:

- посещение молодежного образовательного Космоцентра;
- экскурсии по технической базе с посещением тренажеров транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА», орбитального комплекса «Мир» и российского сегмента Международной космической станции;
- показ видеофильмов о пилотируемой космонавтике, работе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и полете МКС.

Также участники конференции совершили экскурсию в Центральный музей Военно-воздушных сил в Монино.

Все поступившие доклады будут опубликованы в сборнике материалов Молодежной конференции.

**XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ»
22–25 июня 2015 года, г. Самара**

**XVII International Conference
“Problems of Control and Simulation in Complex Systems”
June 22–25, 2015, Samara**

Ежегодно в Самаре проводится международная конференция, которая привлекает внимание специалистов многих учреждений и предприятий аэрокосмической отрасли как в нашей стране, так и за рубежом. Этому способствует не только высокий научный авторитет учредителей и организаторов конференции (РАН, Институт проблем управления сложными системами, Международная ассоциация по математическому и компьютерному моделированию – IMACS, Самарский научный центр), но и ее ярко выраженный междисциплинарный характер, что позволяет охватить многие актуальные вопросы не только теории, но и практики космической деятельности.

В этом году конференция проводилась в период с 22 по 25 июня 2015 года. В числе ее участников были представители ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Отличительной чертой конференции является возможность для специалистов разного профиля обменяться мнениями о перспективах внедрения высоких информационных технологий в разные отрасли науки и техники с акцентом на те вопросы, которые актуальны для аэрокосмических предприятий.

Традиционно в работе данной конференции наибольшее внимание было уделено методологии, методам и информационным технологиям для анализа, планирования и оперативного управления в сложных организационно-технических системах. В этой связи значительное число докладов, в т.ч. и доклад РКК «Энергия», было посвящено вопросам оптимизации управленческих структур и информационной поддержки ведения крупных высокочатратных долгосрочных проектов. Высказывалось мнение, что в тех отраслях, в которых доминируют исторически сложившиеся стереотипы планирования и учета результатов деятельности многочисленных структурных подразделений и выстроена иерархия управленческих звеньев без учёта сетевых связей исполнителей, распределения ресурсов на локальном уровне, а также не обеспечена готовность персонала к инициативным решениям в пределах делегирования полномочий и так далее, – существуют системные риски снижения эффективности и конкурентоспособности.

Значительное количество докладов, посвященных различным аспектам моделирования и численного анализа, было представлено на секции «Управление в сложных технических системах».

Для специалистов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» наибольший интерес вызвало участие в работе секции «Управление космическими полетами».

В числе вынесенных на обсуждение вопросов на этой секции следует особо выделить следующие:

- ЦУП Роскосмоса как высокотехнологичный инструмент управления сложными системами космического назначения;
- совершенствование методов информационного обеспечения экипажей пилотируемого космического аппарата в случае возникновения аварийной ситуации на борту с использованием современных информационных технологий;

- контроль работы бортовых технических систем на основе телеметрии. Средства информационной поддержки;
- средства информационной поддержки при парировании аномальных ситуаций в ходе полета пилотируемого космического аппарата (доклад только анонсировался);
- подход к адаптивному планированию полетных операций российского сегмента Международной космической станции на основе новых информационных технологий.

На заседании секции «Эргатические системы и техногенные среды» был представлен доклад специалистов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», посвященный проблеме построения человеко-машинных интерфейсов применительно к дистанционному управлению антропоморфным роботом и, в частности, с использованием речевого канала коммуникации.

В целом, широта охвата научных проблем и высокий современный уровень выступлений позволяет говорить о целесообразности планирования участия в работе этой конференции и в последующие годы.

Ссылка на сайт конференции: <http://www.ipu.ru/node/31702>.

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. Редколлегия вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

To the Attention of Readers

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

Наши координаты для контактов

(по вопросам публикации, рекламы, и деловых предложений)

Кальмин Андрей Валентинович (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**ПИЛОТИРУЕМЫЕ
ПОЛЕТЫ В КОСМОС**
(научный журнал)

Научный редактор *Л.К. Васильева*
Редактор *С.Г. Токарева*
Технический редактор *Н.В. Волкова*
Корректор *Т.И. Лысенко*
Перевод *С.Б. Беляковская*

Подписано в печать 08.09.15.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 476-15.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»