

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю.В. Лончаков

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

В.А. Сиволап –
заместитель
главного редактора,

А.В. Кальмин –
ответственный секретарь,

Ю.М. Батуриц,

М.Н. Бурдаев,

Л.К. Васильева,

С.П. Власенков,

Н.В. Волкова,

О.С. Гордиенко,

П.П. Долгов,

В.М. Жуков,

С.А. Жуков,

С.В. Игнатьев,

Р.Р. Каспранский,

О.Д. Кононенко,

Б.И. Крючков,

А.А. Курицын,

Г.Д. Орешкин,

В.И. Почуев,

В.Н. Саев,

Ю.Б. Сосюрка,

И.Г. Сохин,

М.Л. Титова,

М.В. Тюрин,

В.М. Усов,

М.М. Харламов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....	4
Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-42/43 при выполнении программы космического полета. <i>А.Н. Шкапиров</i>	4
Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-42/43 (экспресс-анализ). <i>В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова</i>	17
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС	28
Межличностные аспекты полимодальности при построении коммуникационных систем. <i>О.О. Басов, Д.А. Щербаков, А.И. Савельев, А.Л. Ронжин</i>	28
Статистический анализ массогабаритных характеристик научной аппаратуры, устанавливаемой космонавтами при внекорабельной деятельности. <i>Е.Ю. Иродов, П.П. Долгов, В.С. Коренной</i>	48
Голосовые команды для дистанционного управления антропоморфными роботами на основе метода «обучение показом движения» <i>Б.И. Крючков, М.В. Михайлюк, В.М. Усов</i>	56
Возможные области применения антропоморфных роботов-помощников экипажей в отсеках перспективных космических комплексов. <i>В.Г. Сорокин, И.Г. Сохин</i>	71
Метод управления экзоскелетным устройством на основе системы распознавания движений руки по биосигналам со скелетных мышц рук человека-оператора. <i>И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, А.А. Крюкова, А.Н. Суханов, Б.И. Крючков, В.М. Усов</i>	80

Угловой промах и его использование при анализе процессов сближения пилотируемых космических аппаратов. <i>М.Н. Бурдаев</i>	94
Космический эксперимент «Матрешка-Р» – развитие, перспективы и анализ подготовки космонавтов. <i>Е.В. Попова, С.С. Бондаренко</i>	102
Опыт решения задач профессионально ориентированного обучения космонавтов иностранному (английскому) языку с применением электронного учебно-методического комплекса. <i>Н.А. Дворяджина</i>	112
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ	123
Центрифуга ЦФ-7 – 40 лет эксплуатации в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. <i>В.Н. Киришинов, А.Г. Юфкин</i>	123
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	130
XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос»	130
Восьмой Международный аэрокосмический конгресс IAC'15	131
Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника»	132
Первое заседание объединенного диссертационного совета	134
Информация для авторов и читателей	135

С 1 декабря 2015 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК) (Письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 1.12.2015 г. № 13-6518).

CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS	4
Main Results of Training and Activity of the ISS-42/43 Expedition in the Course of Implementing the Mission Plan. <i>A.N. Shkaplerov</i>	4
Medical Support of the ISS-42/43 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i>	17
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS	28
Interpersonal Aspects of Polymodality When Creating Communications Systems. <i>O.O. Basov, D.A. Shcherbakov, A.I. Saveliev, A.L. Ronzhin</i>	28
Statistical Analysis of Mass and Dimensions Parameters of Scientific Equipment Installed by Cosmonauts during Extravehicular Activity. <i>E.Yu. Irodov, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy</i>	48
Voice Commands for Remote Controlling Anthropomorphic Robots Using the "Teaching by Showing" Method. <i>B.I. Kryuchkov, M.V. Mikhailyuk, V.M. Usov</i>	56
Feasible Application of Anthropomorphic Robotic Assistants to Support a Crew Inside the Modules of Future Space Complexes. <i>V.G. Sorokin, I.G. Sokhin</i>	71
Method of Controlling an Exoskeleton Device Using the System of Recognition of Arm Movements on basis of Biosignals Coming from the Skeletal Muscles of the Human Hands. <i>I.L. Ermolov, M.M. Knyaz'kov, A.A. Kryukova, A.N. Sukhanov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i>	80
Angular Misalignment and Its Application When Analyzing Rendezvous Operations of Manned Space Vehicles. <i>M.N. Burdaev</i>	94
Space Experiment "Matryoshka-R" – Development, Prospects and Analysis of Cosmonaut Training. <i>E.V. Popova, S.S. Bondarenko</i>	102
Experience of Tackling Tasks of Professionally Oriented Foreign (English) Language Training for Cosmonauts Using Computer-Assisted Teaching Materials. <i>N.A. Dvoryadkina</i>	112
HISTORY. EVENTS. PEOPLE	123
Centrifuge TsF-7 – 40 years of operation at Yu.A. Gagarin Cosmonaut Training Center. <i>V.N. Kirshanov, A.G. Yufkin</i>	123
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION	130
XI International Scientific and Practical Conference "Manned Space Missions"	130
The 8 th International Aerospace Congress IAC'15	131
International Scientific & Technical Conference "Extreme Robotics"	132
The First Meeting of the Joint Dissertation Committee	134
Information for Authors and Readers	135

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-42/43 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА А.Н. Шкаплеров

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ А.Н. Шкаплеров
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-42/43 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-15М» 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 Training and Activity of the ISS-42/43 Expedition in the Course of Implementing the Mission Plan. A.N. Shkaplerov

The paper considers results of the ISS-42/43 expedition activity aboard the transport spacecraft "Soyuz-TMA-15M" and ISS. Also, it presents the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the general ISS flight program. Particular attention is paid to the implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Comments and recommendations on upgrading the ISS Russian Segment and improving cosmonaut training 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-42/43 в составе:

Шкаплеров Антон Николаевич	командир ТПК «Союз ТМА-15М» бортинженер МКС-42/43 (Роскосмос, Россия)
Кристофоретти Саманта	бортинженер ТПК «Союз ТМА-15М» бортинженер МКС-42/43 (астронавт ЕКА, Италия)
Вёрте Терри	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-15М» бортинженер МКС-42 командир экспедиции МКС-43 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 199 суток с 24 ноября 2014 года по 11 июня 2015 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-15М» – «Астрей».



Экипаж экспедиций МКС-42/43

Опыт полетов членов экипажа

Шкаплеров Антон Николаевич в отряде космонавтов с июня 2003 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет длительностью 165 суток с 14 ноября 2011 года по 27 апреля 2012 года в составе 29/30-й экспедиции на МКС в качестве командира ТПК «Союз ТМА-22» и бортинженера МКС. В ходе полета выполнил выход в открытый космос длительностью 6 часов 15 минут. В 2012 году присвоено звание Героя Российской Федерации. Космонавт-испытатель 3-го класса, 521-й космонавт мира, 111-й космонавт Российской Федерации.

Кристофоретти Саманта – астронавт ЕКА (Италия) с мая 2009 года. С июля 2012 года проходила подготовку в составе дублирующего экипажа МКС-40/41. С мая 2014 года готовилась к полету в составе основного экипажа МКС-42/43 в качестве бортинженера ТПК «Союз-ТМА» и бортинженера МКС. Опыта космических полетов не имела.

Вёртс Терри – астронавт НАСА. В отряде астронавтов НАСА с 2000 года. 1-й космический полет выполнил в качестве пилота шаттла «Индевор». С мая 2014 года готовился к космическому полету в качестве бортинженера-2 ТПК «Союз-ТМА» и бортинженера МКС.

Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-15М» был произведен 24 ноября 2014 года с космодрома Байконур (Казахстан).

Параметры орбиты выведения: период $T = 88,64$ мин, наклонение $i = 51,64$ град., высота $h \times H = 192,72$ км \times 242,62 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-42/43 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 24 ноября 2014 года ТПК «Союз ТМА-15М» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ($T_{М.з.} = 05:48:26$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;

– сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-5 «Dragon» с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и уста-

новка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС осуществлены 12 января 2015 года ($T_{М.З.} = 17:00$ ДМВ);

– расстыковка американского корабля SpaceX-5 «Dragon» 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);

– научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИиЭ;

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



Экипаж МКС-42/43 готов к старту



Техническое обслуживание станции

- 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;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-14М» от стыковочного узла модуля МИМ2 и посадка выполнены 12 марта 2015 года. Время посадки СА – 05:07 ДМВ;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-16М» к стыковочному узлу модуля МИМ2 осуществлена 28 марта 2015 года ($T_{М.з.} = 04:33:41$ ДМВ);
- сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-6 «Dragon» с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС, затяжка болтов выполнены 17 апреля 2015 года ($T_{Оконч.затяжки} = 17:40$ ДМВ);
- расстыковка ТГК «Прогресс М-25М» от стыковочного узла СО1 проведена 25 апреля 2015 года ($T_{расстыковки} = 09:41$ ДМВ);
- стыковка ТГК «Прогресс М-27М» к СО1, планируемая на 28 апреля 2015 года, не выполнена в связи с нерасчетными параметрами орбиты выведения корабля. В связи с этим запланированная посадка экипажа 14 мая 2015 года перенесена на 11 июня 2015 года;
- расстыковка американского корабля SpaceX-6 «Dragon» от надирного порта модуля Node2 АС МКС осуществлена 21 мая 2015 года. Время отделения от манипулятора станции – 14:04 ДМВ;
- возвращение экипажа МКС-42/43 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-15М» выполнены 11 июня 2015 года. Время расстыковки – 13:20:08 ДМВ, время посадки СА – 16:43 ДМВ.



Посадка экипажа МКС-42/43

Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-42/43 в составе командира ТПК «Союз ТМА-15М» Шкаплера Антона Николаевича, бортинженера Кристофретти Саманты и бортинженера-2 Вёрста Терри Уэйна проводилась с 18 марта 2013 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-15М» и МКС являлись:

– подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-15М»;

– 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-15М» 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-41/42 и МКС-43/44;

– 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-15М»

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-15М» был произведен 24 ноября 2014 года с космодрома Байконур.



Старт корабля «Союз ТМА-15М»

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно, $T_{\text{КП}} = 00:01:14$ ДМВ; $T_{\text{КО}} = 00:10:02$ ДМВ. В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено.

24 ноября на 3-м и 4-м витках выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ($T_{\text{М.З.}} = 05:48:26$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме сближения.

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-15М».

11 июня 2015 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж экспедиции МКС-42/43 приступил к подготовке к возвращению на Землю. На 11-суточном витке выполнена расконсервация корабля. Переход на автономное питание выполнен в 10:10:50 ДМВ по КРЛ на 12-суточном витке. После разрешения ЦУПа в 10:07:00 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, в 11:44:40 ДМВ выполнили контроль запуска динамического режима. Проверка прошла без замечаний.

Расстыковка выполнена 11 июня 2015 года на 14-суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС с последующим двухимпульсным отводом. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 13:18:30 ДМВ, время фактической расстыковки – 13:20:08 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-суточном витке в 14:52:30 ДМВ, посадка – на 1-суточном витке. По указанию ЦУПа в 15:37:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 15:51:37 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 16:18:22 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +5 секунд. Максимальная перегрузка 4,1 единиц. Посадка осуществлена 11 июня 2015 года в 16:43 ДМВ в расчетной точке с координатами 47° 19' с.ш., 69° 33' в.д. ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе.



Парашют спускаемого аппарата с экипажем МКС-42/43

Работа по эвакуации началась непосредственно после приземления. Аппарат находился вертикально, купол погашен.

Полет на борту МКС

Экипаж МКС-42/43 работал на борту МКС 199 суток с 24 ноября 2014 года по 11 июня 2015 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов, выполнил ремонтно-восстановительные работы, провел большое число телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

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

- мониторинг технического состояния и дозаправка контуров КОХ1 и КОХ2 СОТР СМ;
- профилактика механизмов герметизации крышки люка АСП (МИМ1) и крышки люка ТПК «Союз ТМА-15М»;
- регламентное обслуживание клапанов системы «Родник»;
- мониторинг технического состояния контуров КОБ1 и КОБ2;



А.Н. Шкаплеров выполняет программу полета МКС-42/43

- дозаправка СКВ2 СОТР СМ хладоном из баллонов КВО;
 - забор проб воздуха пробозаборником АК-1М в грузовом корабле ATV-5;
 - мониторинг состояния поверхности элементов конструкции корпусов РС с использованием прибора МВП-2К;
 - диагностика силового распределительного блока 11М156М СУБК ФГБ, БСШ-2 и БФ-2 СЭС ФГБ;
 - измерение скоростей потока воздуха анемометром на блоках СЭП СМ и в МИМ1;
 - замена кабелей и переходников комплекса средств поддержки экипажа (КСПЭ);
 - установка накладных листов на панелях ФГБ;
 - замена блока сменного (Н1) в гидравлическом контуре (ГК) модуля МИМ1;
 - ресурсная замена блока управления преобразователем тока (БУПТ-1М) модуля АБ-№ 7;
 - замена комплекта сменных магистралей откачки конденсата (СМОК) СОТР СМ;
 - замена модуля аккумуляторной батареи АБ № 5 СЭП СМ;
 - замена комплекта шлангов в системе регенерации воды из конденсата атмосферной влаги СРВ-К2М;
 - замена светильников СД1-7 в модуле СО1;
 - замена приборов РТ-50-1М №№ 5, 7, 9, 10 СЭП СМ;
 - монтаж прокладок для устранения затруднения при открытии замков панелей интерьера СМ и ФГБ.
- Выполнены основные работы по дооснащению РС МКС доставленным оборудованием:
- установка новой версии ПО (4.0) на ноутбуки RSS1, RSS2;

- установка новых версий ПО резервного канала контролера приводов двухосной платформы системы наведения и ТВМ-1Н замена вентиляторов В1, В2 В3 в СО1 на малошумные;
- установка новой версии ПО (03.04.010) в ТВУ1, ТВУ2 модуля МИМ2;
- установка Remote RS (удаленное рабочее место) на АС и проведение теста.

В процессе работ по связям с общественностью проводись ТВ-приветствия участникам 42-х Международных научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина; ТВ-приветствия студентам МАИ с 85-летием вуза; видеосъемка приветствия, посвященного 70-летию Победы; фотосъемка со Знаменем Победы; ТВ-приветствие, посвященное 60-летию космодрома Байконур.

Выполнены 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 были нормальными. Бортовые 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. Аммиака в составе атмосферы АС не обнаружено. Причиной возникновения аварийной ситуации явилась некорректная работа программного обеспечения MDM2 в NODE2.

27 апреля 2015 года в процессе проведения тренировки в комплекте «Чибис-М» отмечено появление дыма из блока управления.

28 апреля 2015 года состоялся старт грузового корабля «Прогресс М-27М». В соответствии с программой полета планировалась стыковка с МКС к модулю СО1 по 4-витковой схеме. В момент ожидаемого контакта отделения от третьей ступени ракеты-носителя «Союз 2.1А» зафиксирована частичная потеря телеметрии. Параметры орбиты корабля не соответствовали расчетным. Не получено подтверждение о раскрытии некоторых элементов конструкции. Зафиксирована закрутка ТГК «Прогресс М-27М» с угловой скоростью 90 град/сек. Зафиксирована негерметичность топливной магистрали комбинированной двигательной установки ТГК «Прогресс М-27М». В течение суток предпринимались попытки погасить угловую скорость вращения и построения ориентации использования топлива системы дозаправки (СД). Попытки успехом не увенчались в связи с негерметичностью топливных магистралей. Топливо СД израсходовано полностью. Стыковка грузового корабля с МКС не выполнена.

В связи с несостоявшейся 28 апреля стыковкой ТГК «Прогресс М-27М» с МКС программа полета была изменена: запланированная посадка экипажа 14 мая 2015 года перенесена на 11 июня 2015 года.

В ходе полета выполнялись следующие динамические режимы:

- стыковка американского грузового корабля SpaceX «Dragon»;
- расстыковка американского грузового корабля SpaceX-5 «Dragon»;
- расстыковка европейского грузового корабля ATV-5 «Жорж Леметр»;
- стыковка ТГК «Прогресс М-26М»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-14М»;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-16М»;
- стыковка американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon»;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-25М»;
- расстыковка американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-15М».

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-41/42, МКС-43/44.

С 26 ноября 2014 года по 12 марта 2014 года – совместный полет с экипажем МКС-41/42 в составе:

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

С 28 марта 2015 года по 11 июня 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-43/44 в составе:

- Падалка Геннадий Иванович (бортинженер экспедиции МКС-43, командир экспедиции МКС-44, Роскосмос, Россия);
- Корниенко Михаил Борисович (бортинженер МКС-43/44, Роскосмос, Россия);
- Келли Скотт Джозеф (бортинженер МКС-43/44, НАСА, США).

Внекорабельная деятельность

Во время полета экспедиции МКС-42/43 было выполнено три выхода в открытый космос по программе АС МКС:

- 21 февраля операторами Б. Уилмором и Т. Вёртсом проведена ВКД-29 из шлюзового отсека АС (Airlock). Продолжительность ВКД-29 составила 06 часов 33 минуты;
- 25 февраля операторами Б. Уилмором и Т. Вёртсом проведена ВКД-30 из шлюзового отсека АС (Airlock). Продолжительность ВКД-30 составила 06 часов 44 минуты;
- 1 марта операторами Б. Уилмором и Т. Вёртсом проведена ВКД-31 из шлюзового отсека АС (Airlock). Продолжительность ВКД-31 составила 04 часа 41 минуту.

А.Н. Шкаплеров оказывал помощь экипажу ВКД на этапе подготовки к выходу и после выполнения выхода. Общее затраченное время на помощь составило 4 часа 40 минут.

Выполнение программы научно-прикладных исследований

В процессе полета экипажа МКС-42/43 на борту российского сегмента МКС выполнялись исследования и эксперименты на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-41 и МКС-42» и «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пилотируемых экспедиций МКС-43 и МКС-44» (по направлениям):

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

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

Исследование Земли и Космоса:

- ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат);
- ГФИ-1 «Релаксация»;
- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ-11 «Обстановка»;
- ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;
- ДЗЗ-17 «Напор–мини РСА»;
- КПТ-22 «Экон-М».

Человек в космосе:

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-19 «Виртуал»;
- МБИ-25 «Пародонт-2»;
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-29 «Иммуно»;
- МБИ-30 «Морзе»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-39 «ДАН» (фото);
- МБИ-40 «Перемещение жидкости» (конфигурация связи);
- БИО-14 «Биосигнал»;
- РБО-3 «Матрешка-Р».

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БИО-19 «Феникс»;
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БТХ-26 «Каскад» (фото, работы с ТБУ);
- БТХ-42 «Структура» (фото);
- БТХ-45 «Биопленка».

Технология освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (пассивное экспонирование);
- ТЕХ-14 «Вектор-Г» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);

- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-62 «Альбеда» (автомат);
- КПП-2 «Бар».

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».

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

- АСР-5 «Микробиологический мониторинг».

Работы с дозиметром «Пилле-МКС»:

Экипаж принимал участие в выполнении 38 экспериментов, еще 8 экспериментов проводились без участия экипажа.

Новыми экспериментами являются:

- БИО-19 «Феникс»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- ОБР-8 «Химия–Образование»;
- МБИ-33 «Биокард»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-39 «ДАН» (фото);
- МБИ-40 «Перемещение жидкости».

Часть российской научной программы не была выполнена из-за нештатного выведения на орбиту ТГК «Прогресс М-27М», на котором должно было быть доставлено оборудование для следующих КЭ:

- «Полиген» (укладка «Дрозофила-2»);
- «Биоэмульсия» (биореактор «Рекомб-К»);
- «Продуцент» (пенал «Биоэкология-2»);
- «Конъюгация» (биореактор «Рекомб-К»);
- «Матрешка-Р» (комплект СПД с шестью сборками и НА «Тритель»);
- «Тест» во время ВКД-41 (укладка «Тест» с тремя гермоблоками «Тест»),

а также целевое оборудование «Главбокс-С» для замены оборудования, выработавшего ресурс.

По мнению А.Н. Шкаплерова, в программу научных экспериментов и исследований нужно включать больше новых экспериментов, в том числе связанных с различными живыми организмами (растениями и т.д.).

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

По результатам полета были сформулированы замечания и предложения по совершенствованию РС МКС и подготовке экипажей.

Структура российской научной программы МКС-42/43

№ п/п	Направления исследований	Всего	С участием экипажа
1	Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	1	1
2	Исследование Земли и космоса	7	6
3	Человек в космосе	13	13
4	Космическая биология и биотехнология	7	6
5	Технологии освоения космического пространства	11	6
6	Образование и популяризация космических исследований	5	4
7	Контрактные эксперименты	1	1
8	Эксперименты по протоколу НАСА–Роскосмос от 18 июля 2013 года	1	1
ИТОГО:		46	38

Заключение

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-42/43, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-42/43 по транспортному кораблю «Союз ТМА-15М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.
2. Полет экипажа МКС-42/43 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами.
3. Часть научной программы не выполнена из-за нештатного выведения на орбиту ТГК «Прогресс М-27М».
4. 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.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сураев М.В. Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-40/41 при выполнении программы космического полета // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(15). – 2015. – С. 5–17.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-42/43
(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-42/43. 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-42/43 Crew Members (Express Analysis).**V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-42/43 expedition and gives a brief description of functioning of the medical support systems 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

24 ноября 2014 года в 00:01:13 ДМВ с 6-й пусковой установки 31-й площадки космодрома Байконур стартовые расчеты предприятий ракетно-космической промышленности России осуществили пуск ракеты-носителя «Союз-ФГ» с пилотируемым космическим кораблем «Союз ТМА-15М».

В составе экипажа: командир корабля и бортинженер-4 экспедиций МКС-42/43 космонавт-испытатель 3-го класса Роскосмоса Антон Николаевич Шкаплеров; бортинженер-1 корабля и бортинженер-5 МКС-42/43 астронавт ЕКА, капитан ВВС Италии Саманта Кристофоретти; бортинженер-2 корабля и бортинженер-6 МКС-42 и командир МКС-43 астронавт НАСА, полковник ВВС США Терри Вёртс. Позывной экипажа – «Астреи».

После выполнения маневров сближения 24.11.14 г. в 05:48 ДМВ была проведена стыковка ТПК № 715 с МКС штатно, в автоматическом режиме.

Сутки стыковки ТПК с МКС для экипажа были напряженными в связи с выполнением сложной и ответственной динамической операции по стыковке, которая проходила по короткой (4-витковой) схеме. Общее время работы с момента старта в этот день с учетом времени работ в ТПК и на станции составило у КК около 10 часов, период бодрствования экипажа составил 21,5 часа.

После перехода на станцию функции БИ-4 в составе совместного экипажа МКС были возложены на космонавта А. Шкаплерова, БИ-5 – на С. Кристофоретти и БИ-6 – на Т. Вёрста.



Экипаж МКС-42/43

В первые часы пребывания на станции после стыковки ТПК № 715 всем космонавтам был проведен инструктаж по безопасности, сушка СК, перенос срочных грузов из ТПК № 715 и другие работы.

По завершении работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха (сна) с 09:30 GMT (24.11.14 г.) до 06:00 GMT (25.11.14 г.) продолжительностью 20,5 часа. В последующие дни прибывший экипаж работал в режиме, принятом для МКС: сон с 21:30 до 06:00 GMT. По информации врача экипажа сон у БИ-4 в первый день пребывания на станции составил 9 часов.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» космонавтам, прибывшим на станцию, с 25.11.14 г. стали ежедневно планировать время по 1 часу на адаптацию и ознакомление со станцией за счет сокращения рабочей зоны. Сокращение рабочей зоны на 1 час продолжалось вплоть до 08.12.14 г., а начиная с 08.12.14 г. рабочая нагрузка у БИ-4 была увеличена до нормативных величин – 6 часов 30 минут.

В последующий период полета (3-я и 5-я недели) космонавты продолжили работы на станции в штатном режиме сна-бодрствования. Космонавты занимались разгрузкой ТГК № 424, монтажными и демонтажными работами, установкой накладных листов на панели интерьера ФГБ, научными экспериментами. Рабочая нагрузка планировалась в пределах допустимых величин, эпизодически космонавты выполняли и дополнительные работы, в частности, эксперименты по программе Task List. К существенным переработкам это не приводило в силу небольших временных затрат на эти работы.

Структура недельных циклов состояла из 5 рабочих и 2 дней отдыха.

В последующие недели полета (5–8-я недели) отклонений РТО не отмечалось. Космонавты в основном занимались разгрузкой ТГК № 424, инвентаризацией оборудования, выполнением текущих работ на станции и другими работами. На 6-й, 7-й и 8-й неделях полета экипажу планировались по 4 рабочих и по 3 дня отдыха: 25.12.14 г. в связи с празднованием Рождества в США, 01.01.15 г. – в связи с празднованием Нового года и 07.01.15 г. – в связи с празднованием Рождества в России. Предоставленные выходные дни, в основном, были использованы по назначению, с выполнением небольшого объема работ по программе Task List.

9-я неделя характеризовалась очень напряженной в связи с возникновением на станции нештатных ситуаций и деятельностью 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 нештатной ситуации это было ложное срабатывание сигнализации. Все плановые работы экипажа были отменены, физическими упражнениями 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 около 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 рекомендовали прикрыть люк в ATV-5. Вечером 17.01.15 г. (в день отдыха) с борта поступило сообщение об отказе АСУ в РС МКС. Экипаж выполнил ряд работ по уборке консерванта. На следующий день 18.01.15 г. (день отдыха) космонавты по рекомендации с Земли выполнили ремонтно-восстановительные работы АСУ, система включена в рабочий режим.

На 13-й неделе полета (14.02.15 г.) была проведена расстыковка ATV-5 от МКС. При подготовке и проведении расстыковки ATV-5 принимал участие от российской стороны только БИ-1 (А. Самокутяев).

На 14-й неделе экипажу запланировали 4 рабочих и 3 дня отдыха в связи с празднованием в России Дня защитника Отечества. БИ-4 оказывал помощь американскому экипажу при подготовке к проведению ВКД АС. В этот период БИ-4 также активно занимался работами по разгрузке ТГК № 425, в том числе и в выходные дни. Причиной тому было стремление и желание в более короткие сроки подготовить базу и необходимое оборудование к приходу на станцию следующего экипажа ТПК № 716. Замечаний или жалоб на занятость работами в выходные дни от БИ-4 не поступало, эти дополнительные работы по разгрузке ТГК № 425 БИ-4 выполнял по своей инициативе.

Стыковка ТПК № 716 проведена 28.03.15 г. в 04:33 ДМВ в автоматическом режиме по короткой 4-витковой схеме. По приходе на станцию функции БИ-1 были возложены на космонавта Г. Падалку, БИ-2 – на космонавта М. Корниенко и БИ-3 – на астронавта НАСА С. Келли. После завершения работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 08:30 GMT 28.03.15 г. до 06:00 утра 29.03.15 г. продолжительностью 21,5 часа. Кроме того, экипажу были запланированы 29.03.15 г. полный день отдыха и 30.03.15 г. – отдых полдня, которые частично были использованы БИ-4 для выполнения работ на станции. По оценке специалистов ГМО РТО у БИ-4 в день стыковки был достаточно напряженным в связи с проведением стыковки в ночное время, рабочая нагрузка у БИ-4 составила 12 часов 50 минут.

В последующие дни после стыковки с 29.03.15 г. экипаж, в основном, занимался заменой блоков и оборудования на станции, укладкой удаляемого оборудования в ТГК № 424, техобслуживанием систем СОЖ и другими работами. Дополнительно к плановым работам БИ-4 выполнял еще и работы (эксперименты) по программе Task List, на которые он тратил по 30–60 минут в день.

В дни отдыха на выполнение экспериментов по Task List БИ-4 тратил порядка 2 часов.

21.04.15 г. (22-я неделя) в конце рабочего дня БИ-4 доложил о завершении укладки грузов в ТГК № 424 и готовности к проведению расстыковки «грузовика», которая намечена на 25.04.15 г.

27.04.15 г. (23-я неделя) во время проведения ОДНТ-тренировки БИ-4 заметил появление дыма и запаха гари от блока микронагревателя ПВК «Чибис». Эки-

паж обесточил оборудование и произвел замер воздуха. ОДНТ-тренировка была отменена, а БИ-4 было рекомендовано выполнять физтренировку на тренажере БД-2.

На 24-й неделе полета экипажу были запланированы 3 дня отдыха в связи с празднованием в России Дня весны и труда. Рабочая нагрузка планировалась в пределах нормативных величин, БИ-4 в основном занимался укладкой возвращаемого оборудования в ТПК № 715. Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 30.04.15 г. рабочая зона у БИ-4 была сокращена на 1 час с целью выделения ему времени по 1 часу на подготовку к возвращению.

Согласно номинальному плану полета расстыковка и посадка экипажа ТПК № 715 планировалась на 13.14.05 г. В связи с тем, что стыковка ТПК № 426 с МКС по техническим причинам не состоялась, руководством Роскосмоса и руководством полета было принято решение о продлении полета. Поэтому программа полета подверглась определенной корректировке, дата посадки ТПК № 715 перенесена на 11.06.15 г.

На 28-й неделе БИ-4 много времени посвятил работам по монтажу прокладок в замки панелей интерьера СМ и ФГБ как в рабочие, так и в выходные дни. Эти работы он проводил как в плановом порядке, так и по своей инициативе в личное время. В связи с завершением полета и в соответствии с требованиями «Основных правил и ограничений» с 03.06.15 г. рабочая нагрузка у БИ-4 была сокращена на 1 час для подготовки к возвращению на Землю. Начиная с этого времени, БИ-4 вплотную приступил к работам по подготовке и укладке возвращаемых грузов в ТПК № 715, а также подготовке к посадке.

8.06.15 г. (29-я неделя) провел тренировку по спуску на ТПК № 715, которая проведена штатно, без замечаний. 10.06.15 г. была проведена церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на космонавта Г. Падалка, кроме того, БИ-4 и БИ-1 (КЭ) был подписан Акт о передаче смены по РС.

Перед расстыковкой ТПК-715 сон в ночь на 10.06.15 г. был запланирован с 21:30 до 06:00 GMT, т.е. в штатное время. Днем 10.06.15 г. БИ-4 занимался укладкой возвращаемых грузов в ТПК № 715. Затем всему экипажу был предоставлен дневной отдых с 15:30 до 23:30 GMT, продолжительностью 8 часов. После окончания укладки грузов в 07:05 GMT/10:05 ДМВ было проведено закрытие переходных люков. Расстыковка ТПК № 715 от МКС осуществлена штатно 11.06.15 г. в 13:19 ДМВ, посадка СА в 16:44 ДМВ. Таким образом, 200-суточный полет был завершен.

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

Общее полетное время экипажа составило 200 суток, из которых планировались 135 рабочих и 65 дней отдыха.

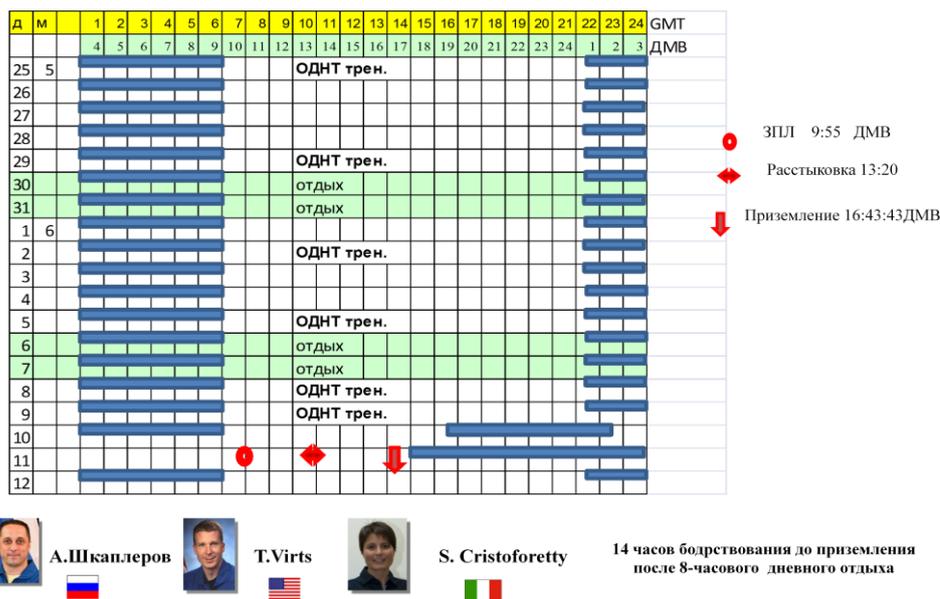
Фактически, по данным специалистов ГОГУ, у БИ-4 было 29 полных дней отдыха, когда время работы не превышало 2-х часов, 28 неполных дней отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от 2 до 4 часов. 8 дней из запланированных выходных были рабочими днями.

Фактически в дни отдыха БИ-4 на выполнение рабочих операций затратил 79 часов 40 минут, что на 38 % больше запланированного. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-4 планировалось 90 часов 20 минут, фактически на эти работы БИ-4 затратил 79 часов 20 минут.

БИ-4 РТО оценил как нормальный, штатный, особых проблем не было. Эпизодически отмечались (1–2 дня) моменты некоторой напряженности при выполнении ночных работ (стыковка ТПК № 716), устранение НшС (отказ АСУ) и другие. Они были кратковременны и не сильно влияли на экипаж.

По прибытии на станцию БИ-4 сразу включился в рабочий режим, сказался опыт первого полета.

Продолжительность сна, в среднем, во время полета составляла 6 часов и по словам БИ-4 была достаточной для нормального отдыха. Днем не спал – не было и возможности и особой необходимости. Перед посадкой планировался дневной (вечерний) отдых 8 часов. Реально спал 5 часов.



A. Шкаплеров



T. Virts



S. Cristoforetti



14 часов бодрствования до приземления после 8-часового дневного отдыха

Режим труда и отдыха на заключительном этапе полета экипажа МКС-42/43

При расстыковке Dragon РТО планировался раздельным для российского и американского экипажей. На российском экипаже это не отразилось, так как расстыковка проводилась в автоматическом режиме и не требовалось больших временных затрат со стороны астронавтов.

Выполнение большого объема экспериментов по Task List не мешало БИ-4, более того, это было интересным для него, тем более, что он выполнял их в свободное от работ время. Много дополнительного времени БИ-4 затратил на разгрузку и укладку грузов в ТГК № 425.

РТО экипажа по своей структуре и рабочей нагрузке, в основном, соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный и, по мнению космонавта, способствовал выполнению программы полета в полном объеме.

Несмотря на напряженный режим работы космонавта в отдельные периоды и дни полета, БИ-4 вполне успешно справился с полетным заданием. Успешному выполнению программы полета во многом способствовали большой опыт и профессионализм, оптимальная организация работ на станции, разумное взаимодей-

ствие и взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции, а также настрой на своевременное и в полном объеме выполнение программы полета.

Состояние здоровья и медицинское обеспечение членов экипажа в полете

Самочувствие экипажа на всех этапах полета было хорошим. В первые дни полета БИ-4 жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие было хорошим. Процесс адаптации к невесомости проходил без осложнений. Во время автономного полета и в последующие часы пребывания на МКС развитие симптомов болезни движения не отмечалось. Лекарственные средства из аптечки «БД» и профилактическое изделие «Браслет» не использовал. БИ-4 сообщил: «Такое впечатление, как будто не улетаю со станции, организм вспомнил невесомость, ничего не беспокоило, единственное – немного нос заложило, а так все прекрасно».

Сон был полноценный, в коррекции не нуждался, время сна составило 9 часов.

В середине полета жалоб на состояние здоровья также не предъявлял, самочувствие было хорошим. Сон полноценный, в коррекции не нуждался. В предоставленные выходные дни основное время использовал по своему усмотрению и частично был занят выполнением небольших по объему плановых работ.

10.03.15 г. во время беседы с врачом экипажа жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Медицинских проблем не было. Общее самочувствие прекрасное, настроение отличное, спокоен, много шутил. Внешне выглядел бодрим, улыбался. Сон не нарушен, спал примерно около 6–7 часов, с редкими пробуждениями. РТО оценивал как нормальный.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Еженедельно экипаж проводил плановую уборку станции. При отборах проб воздуха 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 SMS (проводимых группой СОЖ) – рСО не превышало ПДК (<5 ppm).

27.04.15 г. при включении ПВК «Чибис» экипаж зафиксировал незначительное появление дыма и запаха гари. Проведены замеры газоанализатором CSA-CP – показатели в норме. 28.04.15 г. проведено измерение вредных примесей с помощью SMS в СМ – все показания в пределах ПДК.

Питание и водопотребление

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

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа, на всем протяжении полета аппетит был хороший.

02.12.14 г. БИ-4 начал интересоваться наличием российских бонусных контейнеров с продуктами промышленного производства для него, и как они в дальнейшем будут ему доставляться.

24.02.15 г. доставленные грузовым кораблем свежие овощи и фрукты пришли в хорошем состоянии за исключением апельсинов. Половина апельсинов была испорчена. Также БИ-4 сообщил, что присланные продукты промышленного

производства не совпадают с теми пожеланиями, которые были высказаны космонавтами на этапе формирования состава контейнеров. Некоторые продукты вообще нельзя использовать в пищу – «...упаковками с йогуртами можно гвозди забивать, водой они не разбавляются...».

10.03.15 г. у БИ-4 аппетит был хороший, замечаний по пище и питьевой воде не было. БИ-4 отмечал желание использовать с пищей больше соусов, которых на станции мало. Врачом экипажа БИ-4 сделано напоминание об употреблении штатных поливитаминов из пищевых контейнеров. БИ-4 отметил, что на станции мало напитков с зеленым чаем с сахаром.

Результаты акустических измерений

Исследование акустической обстановки на РС МКС проводилось в модулях СМ, СО1 и ФГБ.

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

Места сна членов экипажа:

МКС 42: БИ-4 (А.Н. Шкаплеров) – левая каюта СМ;

МКС 43: БИ-1 (Г.И. Падалка) – правая каюта СМ;

БИ-2 (М.Б. Корниенко) – верхняя каюта Node 2.

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

В СМ на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 1,4–7,1 дБА, с максимальным значением в районе СКВ. В каютах имели место превышения уровня звука на 3,1–5,0 дБА с максимальным значением в правой каюте.

В СО1 на рабочих местах превышений допустимых значений по общему уровню шума не выявлено.

По сравнению с предыдущими замерами от 01.08.14 г. уровни шума на рабочих местах СО1 снизились на 7,9–9,8 дБА во всех измеренных точках, что связано с проведенной заменой вентиляторов в данном модуле на малошумные аналоги.

В ФГБ на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 2,1–7,2 дБА с максимальным значением в ПГО1 (район панели 219).

Экипажам МКС-42/43 давались рекомендации:

1. Использовать средства индивидуальной защиты от шума в период работы, особенно в местах расположения шумящего оборудования и в районе снятых панелей.

2. На период сна в каютах СМ необходимо закрывать двери, а также использовать средства индивидуальной защиты от шума (беруши и/или наушники с активным шумоподавлением).

Радиационная обстановка в РС МКС

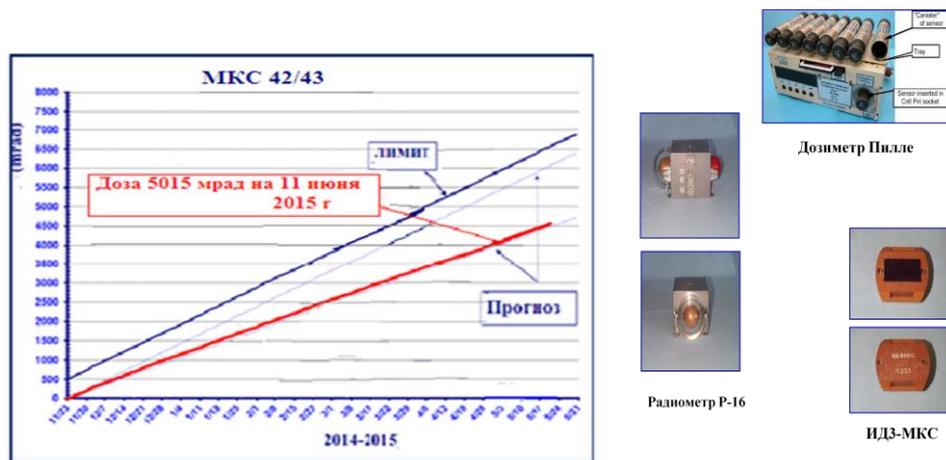
За время полета радиационная обстановка внутри станции оставалась спокойной.

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

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС». В работе использовался комплект дозиметрических датчиков в количестве 11 ед.

Наименьшая мощность поглощенной дозы зарегистрирована в каюте модуля NODE и в СМ в районе рабочего стола. Все датчики находились в работоспособном состоянии. Значения измеренной мощности поглощенной дозы остаются в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).

Во время выполнения ВКД проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «ПИЛЛЕ-МКС». Дополнительная поглощенная доза на членов экипажа за время ВКД не превысила значения мощности поглощенной дозы в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).



Результаты радиационного мониторинга МКС

Система профилактики в полете

БИ-4 25–28.11.14 г. планировалось ознакомление с оборудованием и процедурами выполнения ФУ на бортовых тренажерах.

С 29.11.14 г. физические тренировки планировались по российской программе два раза в день общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2 и ВБ-3М/ARED.

На Т2 проводились тренировки 19.11.14–05.12.14 г. в связи с неисправностью БД-2.

С 15.04.15 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов ИМБП планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке БД-2.

В связи с переносом даты посадки физические тренировки планировались штатно на БД-2 и ВБ-3М/ARED.

С 25.05.15 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов ИМБП планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке (БД-2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED и ОДНТ-тренировки.

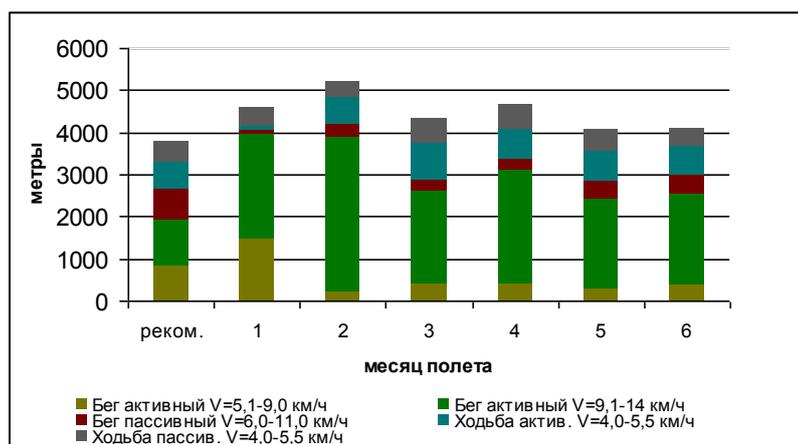


ОДНТ-тренировки

Профилактическое изделие «Браслет» не использовал.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-4, БИ-5, КЭ 04.05.15 г. проведена без замечаний. По ежедневным докладам ФТ выполнял в основном в полном объеме.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на протяжении всего полета физические тренировки выполнялись в соответствии с формой 24.



Относительное распределение режимов локомоций БИ-4 за одну тренировку МКС-42/43

Медико-биологические эксперименты

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



Медико-биологические эксперименты в период МКС-42/43

БИО-2 «Биориск», БИО-14 «Биосигнал», БИО-18 «Регенерация-1», РБО-3 «Матрешка-Р», МБИ-13 «Спланх», МБИ-19 «Виртуал», МБИ-25 «Пародонт-2», МБИ-26 «Мотокард», МБИ-29 «Иммуно», МБИ-30 МОРЗЭ, МБИ-31 «Кардиовектор», МБИ-33 «Биокард», МБИ-34 «Космокард».

Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-42/43 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-42/43 свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях и достаточных функциональных резервах организма как в ходе полета, так на завершающем его этапе, что позволило выполнить «Полевой тест» в раннем периоде после КП.

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

Психологический климат в экипаже на протяжении всего полета позитивный. Увеличение длительности полета экипаж воспринял адекватно.

В целом полет выполнен без медицинских проблем. Замечания и предложения экипажа (в том числе по СЛГ) приняты к реализации.

С 15 апреля экипажу МКС-42/43 проводились плановые мероприятия по подготовке к завершению полета, которые были прекращены 7 мая в связи с переносом сроков приземления и вновь возобновлены с 25 мая 2015 г. в полном объеме. БИ-4 выполнен полный цикл ОДНТ-тренировок.

Уровень предполетной подготовки экипажа был достаточным и адекватный задачам полета.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

NODE 2 – модуль станции

TVIS – американская беговая дорожка (тредмил виброизолирующая система)

АСУ – ассенизационно-санитарное устройство

ВБ-3М – велоэргометр бортовой

ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера

ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела

СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности

СОГС – средства обеспечения газовой среды

СТР – система теплорегуляции

ФГБ – функциональный грузовой блок

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 004.522

МЕЖЛИЧНОСТНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛИМОДАЛЬНОСТИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

О.О. Басов, Д.А. Щербаков, А.И. Савельев, А.Л. Ронжин

Канд. техн. наук О.О. Басов; Д.А. Щербаков (Академия ФСО России)
А.И. Савельев; докт. техн. наук, профессор А.Л. Ронжин (СПИИРАН)

Анализ существующих многомодальных интерфейсов, их основных характеристик и областей применения, а также результатов общих исследований в области многомодального взаимодействия позволяет сделать предположение о возможности приближения процесса взаимодействия абонентов через инфокоммуникационную систему к традиционной межличностной коммуникации, осуществляемой индивидами при непосредственном контакте на основе индивидуальных особенностей модальности восприятия информации.

В работе представлен инструментарий изучения информационных и межличностных аспектов полимодальности, которые необходимо принимать во внимание при использовании абонентских терминалов, реализующих многомодальные архитектуры. Данный подход может быть рекомендован для построения каналов коммуникации использованием с абонентских терминалов в ситуациях, требующих различного уровня сервисов, в зависимости от делегированных полномочий пользователя и степени доверительности общения коммуникантов. Такие ситуации, в частности, возникают в Центре управления полетом при медико-психологическом обеспечении космонавтов врачом экипажа и психологами группы поддержки.

Ключевые слова: межличностная коммуникация, канал коммуникации, инфокоммуникационная система, многомодальный интерфейс, абонентские терминалы, полимодальная система, индивидуальный стиль коммуникации.

Interpersonal Aspects of Polymodality When Creating Communications Systems. O.O. Basov, D.A. Shcherbakov, A.I. Saveliev, A.L. Ronzhin

Analysis of the existing multimodal interfaces, their main characteristics and fields of application, as well as the results of joint research in the field of multimodal interaction enable us to suppose that the interaction between subscribers via information and communication system can be approached to traditional interpersonal communications as it happens in face-to-face contacts on basis of individual features of information perceiving modality.

The paper presents scientific and methodological tools for examining the informational and interpersonal aspects of polymodality that need to be taken into account when using subscriber terminals implementing a multimodal architecture. This approach can be recommended for building communication channels with the use of subscriber terminals in the situations requiring different levels of services depending upon the delegated authority of the user and the degree of confidence of communicants. Such situations, in particular, arise in the Mission Control Center during medical-psychological support of cosmonauts by a crew surgeon and by the psychologists of the support group.

Keywords: interpersonal communication, channel of communication, information communication system, multimodal interface, user terminals, multimodal system, individual style of communication.

Введение

Известно, что при традиционной межличностной коммуникации люди почти всегда взаимодействуют, используя вербальные и невербальные каналы коммуникации, в то время, как многие современные системы связи и коммуникации существенно обезличивают взаимодействие людей. Это имеет объективно обусловленные причины (например, при обеспечении массовой коммуникации). В определенных ситуациях это обезличивание может иметь негативные последствия для достижения целей коммуникации, когда коммуникантам необходима максимально полная информация о состоянии собеседника, его эмоциональном реагировании на высказывания или, напротив, «умолчания» (например, при осуществлении психологической поддержки индивида в трудной жизненной ситуации, при дистанционном консультировании в телемедицине, при дистанционном обучении *online*, при оптимизации взаимодействия в составе малой группы – экипаже и пр.).

В процессе своего развития национальные информационные инфраструктуры развитых стран эволюционировали от узкоспециализированных сетей связи (телеграфных, телефонных и др.) сначала в телекоммуникационные сети, а затем в инфокоммуникационные системы (ИКС).

Методические предпосылки разработки принципов построения полимодальных систем с учетом «человеческого» и «личностного факторов»

В большинстве классических библиографических источников предметной области и руководящих документах отрасли «Связь и телекоммуникации» под результатом функционирования информационной инфраструктуры любого уровня понимается услуга связи и (или) информационная услуга. Однако в последние годы наблюдается тенденция обезличивания отдельных инфокоммуникационных услуг – абонент часто запрашивает один вид сервиса под названием «соединение с сетью». Эта услуга подразумевает возможность получения им доступного или наиболее удобного, по его (абонента) мнению, способа взаимодействия. Понятие «удобство» реализации услуги «соединение с сетью» определяется пользователем в соответствии со своими индивидуальными предпочтениями и физическими ограничениями, а также свойствами окружающей среды, в которой происходит коммуникация. Следовательно, актуальным является рассмотрение процесса взаимодействия абонентов через инфокоммуникационную систему с позиций максимизации удобства традиционной межличностной коммуникации, когда люди общаются друг с другом непосредственно.

Во время традиционной межличностной коммуникации люди почти всегда взаимодействуют «многомодально», используя вербальные и невербальные каналы. Анализ существующих многомодальных интерфейсов, их основных характеристик и областей применения, а также результатов общих исследований в области многомодального взаимодействия и дизайна интерфейсов позволил сформировать исходную посылку исследования о возможности и необходимости максимального приближения процесса взаимодействия абонентов через ИКС к традиционной межличностной коммуникации.

В настоящее время появились объективные предпосылки для отказа от принципов разделения передаваемой информации на услуги связи и реализации так называемых полимодальных инфокоммуникационных систем (ПИКС). Под последними понимается взаимоувязанная совокупность систем обработки (мно-

гомодалных абонентских терминалов) и хранения информации, телекоммуникационных сетей, их объединяющих, функционирующих под единым управлением с целью сбора, обработки, хранения, защиты, передачи и распределения, отображения и использования полимодальной информации, учитывающей не только смысл сообщаемых сообщений, но и отдельные характеристики личности абонентов (пользователей), а также настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояние конкретного индивида, вступившего в процесс информационного взаимодействия, то есть особенности полимодального восприятия информации [1].

Применительно к практике медицинского, психологического и программно-технического обеспечения пилотируемого космического полета возможное использование предлагаемого подхода в ЦУПе для обеспечения доверительного общения космонавта с врачом экипажа, психологом, членами семьи, а также в других ситуациях, когда получение информации, имеющей личную значимость повышает качество общения и удовлетворенность сеансами связи, особенно в связи с нарушениями психофизиологического состояния космонавта в полете. В работе [18] указывается, что «при анализе роли экипажа в различных конфигурациях контура управления полетом необходимо помнить, что возможности экипажа ограничиваются его физиологическими особенностями: утомляемостью, пониженной быстротой реакции на изменение контролируемых параметров, низкой способностью правильной оценки параметров при большом объеме и высокой частоте их поступления, тенденцией затягивания принятия решений, присущей человеку-оператору». Именно эти обстоятельства обуславливают необходимость принимать во внимание способности человека к восприятию данных различной модальности из внешнего мира в процессе коммуникации.

Полимодальность, мультимодальность (англ. *multimodality*) в психологических и лингвистических приложениях – это способность человека совмещать в процессе познания и коммуникации несколько способов (модусов) освоения мира и общения – вербальный, визуальный, кинетический (жестовый) и др.

Реализация идей расширения интерфейсов с учетом полимодальности восприятия пользователем информации требует дополнительного теоретического, методического и экспериментального (модельного) обоснования.

Целью данного исследования является методическое и инженерно-психологическое обоснование необходимости более широкого применения принципов построения полимодальных систем в тех случаях, когда реальна угроза ситуационного ухудшения состояния человека вследствие недостаточного учета его личностных характеристик и условий, в которых он находится в ходе диалога, а также в тех случаях, когда от хода коммуникации зависит надежность функционирования сложных эргатических систем. В последнем случае надо исходить из существующей в отечественной инженерной психологии традиции различать «личный фактор» и «человеческий фактор».

Исторически введенные в разное время в связи с изучением причин ошибочных действий человека, влекущих за собой аварии на производстве и транспорте, понятия «личный фактор» и «человеческие факторы» имеют разные смысловые оттенки и применяются в разных по методической постановке исследованиях. Понятие «личный фактор» имеет в большей мере личную проекцию, включает индивидуальные (благоприятные и неблагоприятные) характеристики человека, в том числе, безотносительно к характеристикам технических средств, с которыми он взаимодействует. «Человеческий фактор» – понятие, которое возникло в связи с изучением и проектированием человеко-машинных систем и которое имеет чер-

ты системного подхода к изучению проблем построения человеко-машинных интерфейсов. Такое разграничение имеет принципиальное значение при выборе методического подхода к профилактике аварийности [8].

Межличностные аспекты построения полимодальных ИКС

Межличностная коммуникация (общение) – система передачи и обмена информацией между представителями социума – представляет собой сложное, многогранное и многоэлементное явление. Люди могут обмениваться информацией на различных уровнях абстракции, при этом общение не ограничивается устными или письменными сообщениями. В коммуникативном процессе важную роль играют особенности личности собеседников, их настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояния, что необходимо учитывать в деловом общении [2–5]. Кроме того, у каждого индивида своеобразно сочетаются различные модальности восприятия информации. Наиболее характерным признаком сочетания модальностей в полимодальном восприятии является предпочтение (доминирование) одних и непродпочтение других, ресурсных модальностей [1].

По данным работы [6], информация, передаваемая словами, составляет далеко не доминирующую долю от общего объема информации, получаемой человеком – в среднем вербальный компонент речи составляет лишь 35 % смысловой нагрузки, а невербальный больше 65 %.

В свете этих данных актуально выполнение анализа структуры межличностной коммуникации, классификации ее каналов и средств передачи информации и их сопоставления с существующими и перспективными ИКС.

Типовая структура межличностной коммуникации традиционно рассматривается как взаимодействие коммуникантов (отправителей и получателей информации), обменивающихся (взаимосвязанными) сообщениями. В обычной коммуникативной ситуации отправитель передает с помощью того или иного канала коммуникации, а получатель (или несколько получателей) принимает некое сообщение. В результате произведенного эффекта получатель обдумывает информацию или выражает согласие (несогласие), непонимание, агрессию и т.п. В каждом случае все это выражается в обратной связи – ответной реакции или сообщении. При этом роли у субъектов коммуникации меняются.

Препятствуют эффективному общению помехи, которые искажают смысл сообщения, названные барьерами коммуникации. Они могут быть объективными (например, плохая телефонная связь, «низкоскоростной» Интернет) или субъективными (например, незнание собеседником терминологии). Кроме того, большое значение имеет контекст – окружающая обстановка, внешние условия, конкретная ситуация, в рамках которой происходит коммуникация между субъектами [6].

С помощью вербальной коммуникации передается смысл произносимых сообщений, тогда как невербальные каналы необходимы для того, чтобы регулировать течение коммуникативного процесса, создавать психологический контакт между собеседниками; обогащать информацию, передаваемую вербальными средствами, направлять истолкование словесного текста; выражать эмоции и отражать истолкование ситуации.

Невербальная коммуникация реализуется на основе каналов, соответствующих органам чувств человека: акустического (звукового), визуального (зрительного), символического, тактильного (осязательного) и др.

Социально-педагогические и психологические исследования показывают, что в ходе коммуникативного акта человек способен к произвольному контролю преимущественно вербального канала коммуникации, тогда как невербальный канал в большинстве случаев отражается в непроизвольных реакциях (во всяком случае, эти способности требуют специальных «актерских» тренировок). События могут контролировать свои слова и мысли, но вот искренние чувства, которые выражаются через мимику, жесты, взгляд – контролировать более сложно. Существует мнение [12], что правильная интерпретация невербальных сигналов является важнейшим условием эффективного общения.

Проекция межличностной коммуникации на существующие ИКС

Разработка средств эффективного взаимодействия людей посредством технических систем сегодня является одним из приоритетных направлений развития искусственного интеллекта и информатики в целом. Это связано с тем, что даже сейчас технические средства не используются в полной мере из-за отсутствия полноценного, привычного человеку интерфейса для взаимодействия абонента с аппаратно-программными средствами связи.

Сегодня большинство телекоммуникационных систем обеспечивает весьма ограниченный способ взаимодействия: голосовой ввод с помощью узконаправленного микрофона, фиксацию низкокачественного изображения с помощью видеокамеры, печать с помощью клавиатуры, рукописный ввод с использованием сенсорных экранов, управление виртуальными объектами курсором мыши, отображение визуальной информации в виде текста и изображений на экране монитора и моно- или стереофоническое воспроизведение аудиосигнала.

Например, при телефонном общении задействуются речевой и акустический каналы, однако передаваемая по ним информация не разделяется [19].

При видеоконференции используются вербальный (в том числе текстовый), акустический и визуальный каналы коммуникации, и при этом данные, передаваемые по текстовому коммуникационному каналу, не синхронизированы с речевой информацией. Такие способы общения заставляют абонентов адаптироваться к средствам связи и учиться виртуальному способу общения.

В процессе своего экстенсивного развития на пути реализации мультисервисности (передача речи, видео и текстовых данных) телекоммуникационные системы эволюционировали в так называемые *инфокоммуникационные*, обеспечив в некоторой степени интерактивную сторону общения (обмен действиями). Однако в последние годы наблюдается тенденция их обезличивания – абоненту часто необходим один вид сервиса под названием «соединение с сетью», подразумевающий возможность получения доступного или наиболее удобного способа взаимодействия, определяемого им в соответствии с физическими ограничениями и индивидуальными предпочтениями, а также исходя из контекста коммуникативного акта.

Для дальнейшего изложения важно подчеркнуть многомодальный характер межличностной коммуникации. Именно по этой причине для решения центральной проблемы коммуникативного взаимодействия людей посредством технических систем необходимо использовать дополнительные средства передачи информации, реализуя *многомодальное взаимодействие*. Здесь под модальностью следует понимать принадлежность отражаемого раздражителя к определенной части сенсорной системы человека, ответственной за восприятие определенных сигналов из окружающей или внутренней среды [14].

В рамках проблемы человеко-машинного взаимодействия разработаны *многомодальные интерфейсы* [15, 16, 25], отвечающие определенному набору требований к межличностному общению. Они позволяют обеспечить эффективное и естественное для человека взаимодействие с различными автоматизированными средствами управления и коммуникации.

В системах, реализованных на основе многомодальных интерфейсов, информация от вербальных и невербальных коммуникативных каналов непрерывно обрабатывается, создавая реальное или виртуальное окружение, позволяющее удовлетворить желания пользователя, и оперативно адаптироваться к контексту. Многомодальные системы обеспечивают более гибкое использование входных потоков информации. Это дает возможность выбирать наиболее удобный способ передачи различной входной информации. Некоторые комбинации модальностей для передачи информации хорошо подходят для отдельных ситуаций и прикладных задач, но хуже или даже совсем неприменимы для других. Возможность выбора модальности пользователем – особенность многомодальных интерфейсов.

С усложнением и увеличением функциональности систем одномодальный ввод становится узким местом в системе из-за того, что он не позволяет вести интерактивный диалог с пользователем с необходимой эффективностью и естественностью.

В современных многомодальных системах каждый из параллельно обрабатываемых потоков данных несет свою семантическую информацию [16, 24]. Возможность создания полимодальных систем коммуникации обусловлена тем, что когнитивная наука, изучающая человеческие механизмы восприятия и межчеловеческое взаимодействие, обеспечила фундаментальную информацию для моделирования поведения абонента, а также информацию о том, как должны быть организованы многомодальные архитектуры [7].

Информационные аспекты построения ПИКС

Функционирование любой ИКС существенным образом связано с получением и переработкой информации, поскольку без нее невозможно принять необходимое решение относительно реализации конкретной услуги, а, следовательно, осуществить требуемое действие (передача информации собеседнику), являющееся конечной целью функционирования такого рода систем. И если традиционные для телекоммуникационных систем задачи повышения эффективности использования каналов связи и увеличения скорости и качества передачи сообщений по ним решаются с использованием теории информации [20], то вновь появляющиеся задачи, связанные с полимодальным представлением и обработкой информации, становятся предметом рассмотрения *прикладной* теории информации [10]. В ее аппарате находит адекватное выражение (информационный аспект) эффективность ПИКС [2, 3].

Предпосылки для применения аппарата теории информации к синтезу (или проектированию) ПИКС обусловлены тем, что в ряде случаев ее работу можно представить в понятиях концепции выбора. Эта концепция отражает, в частности, работу системы проектирования. Действительно, совокупность значений множества параметров, описывающих состояние ПИКС, представляется совокупностью точек (Пр, Б, Ц), занимающей в многомерном пространстве параметров объем $V^{\text{ПИКС}}$ (рис. 1).

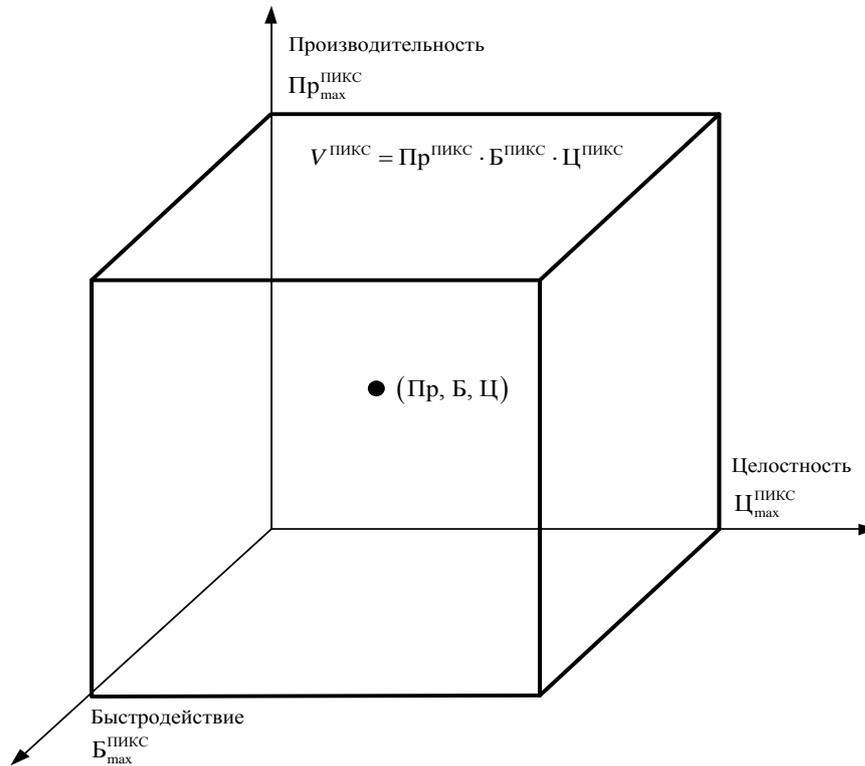


Рис. 1. Эффективность полимодальной ИКС

Изменение параметров системы (производительности, быстродействия, целостности) будет в этом случае выражаться перемещением отображающих точек внутри данного гипотетического объема. Задача системы проектирования сводится в конечном счете к ограничению многообразия возможных значений параметров до пределов, отображаемых некоторым частным объемом $V_*^{\text{ПКС}}$, лежащим внутри объема $V^{\text{ПКС}}$.

Минимально необходимое количество информации I_0 , которое должно быть получено и переработано системой для выбора частного объема $V_*^{\text{ПКС}}$ из всего априорного объема $V^{\text{ПКС}}$, равно энтропии снятия соответствующей неопределенности (при равновероятном распределении частных объемов):

$$I_0 = \log_2 \left(V^{\text{ПКС}} / V_*^{\text{ПКС}} \right).$$

Для выполнения возложенных на систему задач необходимо, чтобы количе-

ство информации было переработано за время, не превышающее некоторую величину T . Минимально необходимая пропускная способность системы (скорость получения и переработки информации) должна составлять:

$$C_0 = \frac{I_0}{T} = \frac{1}{T} \log_2(V^{\text{ПИКС}}/V_*^{\text{ПИКС}}).$$

Работоспособная система должна иметь избыточность:

$$\delta = \frac{(C - C_0)}{C_0} = \frac{CT}{\log_2(V^{\text{ПИКС}}/V_*^{\text{ПИКС}})} - 1 = \frac{I_{\max}}{I_0} - 1, \quad (1)$$

где I_{\max} – максимально возможное количество информации, которое система асимптотически может переработать за время T .

Выражение (1) включает в себя такие фундаментальные для работы систем показатели, как *сложность* решаемой задачи (в известной мере выражаемая величиной априорного объема $V^{\text{ПИКС}}$), *качество функционирования ПИКС* (объем $V_*^{\text{ПИКС}}$) и *быстродействие* (время T). Таким образом, избыточность является *информационным выражением эффективности ПИКС* и позволяет исследовать такие системы, опираясь на их информационный аспект.

Возможности повышения информационной эффективности ПИКС

В полимодальных ИКС функции по получению и переработке информации возложены на абонентские терминалы, поэтому возможны два пути повышения информационного критерия эффективности:

- а) использование взаимосвязей подсистем абонентского терминала полимодальной ИКС – так называемое комплексирование;
- б) рациональное построение абонентского терминала.

В основе первого направления лежит то, что подсистемы комплекса, взаимодействуя между собой и с данной системой (абонентским терминалом), получают и могут выдавать информацию, являющуюся для последней априорной, т.е. уменьшающую энтропию задачи, которая должна быть ею решена. Так последовательное уменьшение априорной неопределенности наблюдается (рис. 2) в многомодальных абонентских терминалах [15]:

– при переходе от множества естественных сигналов $NS = \{ns_a\}$ к множеству искусственных $AS = \{as_q\}$, связанном с процедурами ввода (ограничение динамического и частотного диапазона сигналов, их дискретизация и квантование) и предварительной обработки сигналов (локализация, фильтрация, шумоподавление);

– при разделении искусственных сигналов $AS = \{as_q\}$ на заданное множество входных модальностей (сигналов модальностей):

$$IM = \{IM_1, IM_2, \dots, IM_{N_{IM}}\};$$

– при выделении из входных модальностей IM их параметров

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_{N_p}\};$$

– при реализации полимодальных услуг на основе объединения заданных (для каждой конкретной услуги) параметров модальностей.

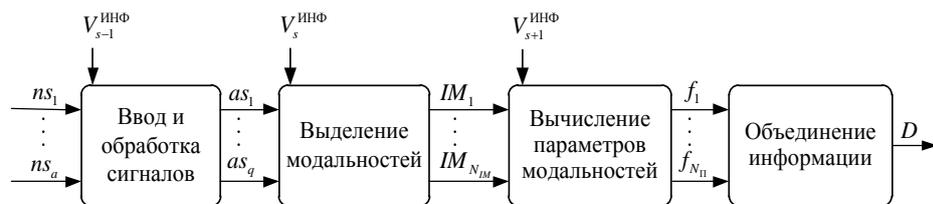


Рис. 2. Использование комплексирования при построении абонентских терминалов полимодальных ИКС

На каждом этапе уменьшается неопределенность выбора объема $V_s^{ИНФ}$ благодаря приблизительному указанию части объема $V_{s-1}^{ИНФ}$, в пределах которого ожидаются значения параметров подсистемы. Получающееся при этом уменьшение величины C_0 до значения $C_{0\Delta} < C_0$ дает дополнительную избыточность C_Δ . Дальнейшее уменьшение необходимой пропускной способности C_0 абонентского терминала возможно при их многоканальном построении.

С точки зрения переработки информации в отдельных каналах коммуникации многомодальных интерфейсов такое рациональное построение обеспечивается разделением сигналов $AS = \{as_q\}$ на модальности (рис. 3), а последних – на отдельные параметры F .

Действительно, если для нормальной работы системы необходимо получение информации об $N_{п}$ ее параметрах, то общее количество информации, подлежащее переработке во всех $N_{п}$ информативных каналах, должно быть не меньше совместной энтропии всех этих параметров. Поскольку эти параметры относятся к одному и тому же физическому объекту (модальности), сигналы, несущие информацию о параметрах, в большей или меньшей степени коррелированы между собой. Поэтому совместная энтропия H_0 сигналов, несущих информацию о совокупности параметров, меньше суммы энтропий этих сигналов H_Σ .

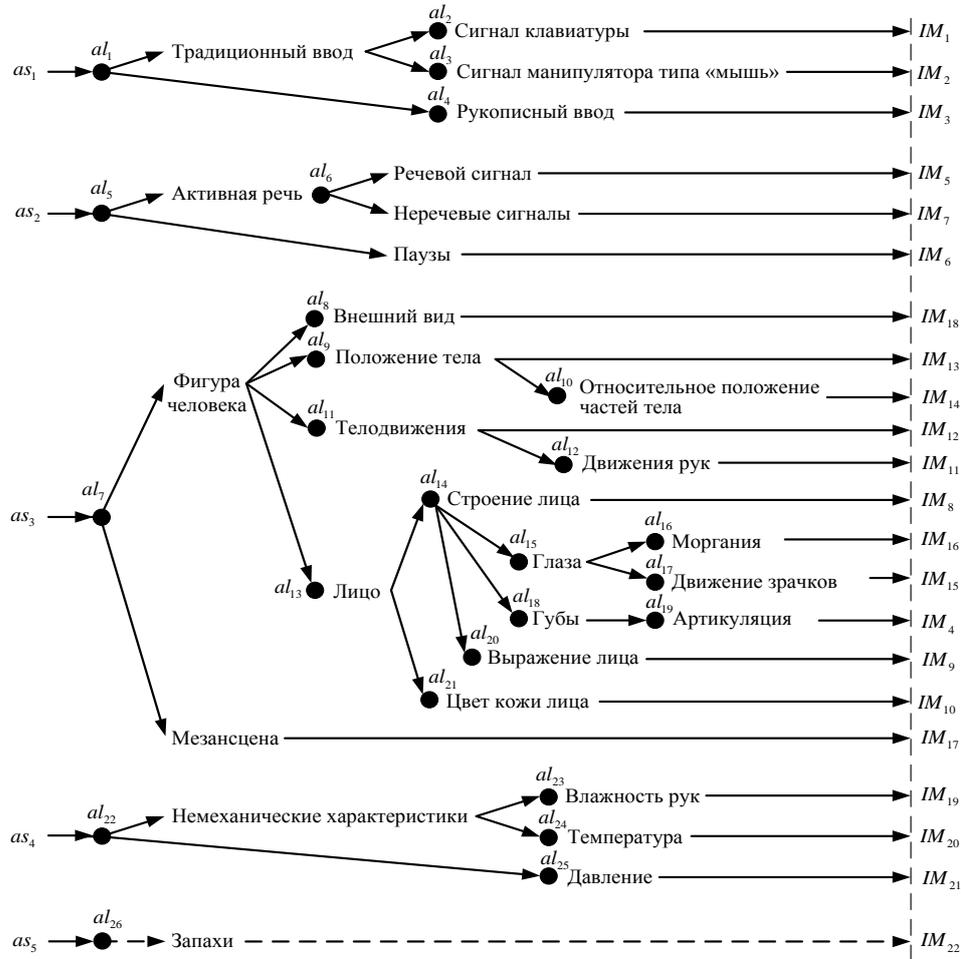


Рис. 3. Графы модальностей различных каналов коммуникации, где $\{al_1, \dots, al_{26}\}$ – подмножество алгоритмов выделения модальностей

Отсюда и минимально необходимая пропускная способность системы

$$C_0 = I_0 / T = H_0 / T$$

будет меньше, чем

$$C_\Sigma = I_\Sigma / T .$$

Разница между H_0 и H_Σ обусловлена взаимно корреляционными связями между различными параметрами, определяющими работу многомодального абонентского терминала. Минимально необходимая величина пропускной способности N_{Π} -канальной системы [11]:

$$C_{0N_{\Pi}} = C_{\Sigma} + C_{\Delta},$$

где

$$C_{\Delta} = \frac{1}{2T} \log_2 |r_c| \quad (C_{\Delta} < 0) \quad (2)$$

– величина, на которую уменьшается необходимая пропускная способность абонентского терминала при его рациональном построении, учитывающем статистику ансамбля сигналов, по сравнению с многоканальной системой, построенной без учета этой статистики.

Уменьшение необходимой пропускной способности C_{0m} , т.е. увеличение C_{Δ} , определяется значением корреляционного определителя сигналов $|r_c|$. Следовательно, анализ корреляционной структуры многомодальных интерфейсов сводится к анализу этого определителя и к определению условий, при которых его величина будет наименьшей. Элементами определителей корреляционных матриц являются взаимно корреляционные моменты между всеми источниками (сигналами AS , модальностями IM или их параметрами F), совокупность которых заложена в основу решения задачи (задач) полимодальной ИКС.

Рассмотрим два независимых дискретных источника с заданными ансамблями сообщений в виде случайных величин A_1 и A_2 , каждая из которых принимает значения из ансамблей $\{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1i}, \dots, A_{1N}\}$ и $\{A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2i}, \dots, A_{2N}\}$ с вероятностями $p(A_1)$ и $p(A_2)$ соответственно (N – число возможных сообщений на выходе источников). Будем считать, что случайные величины A_1 и A_2 оцениваются на конечных интервалах, поэтому определим для них некоторый k -й интервал $(k + N_{\text{ИНТ}} - 1)$, на котором индексы i, j принимают $N_{\text{ИНТ}}$ значений: $k, k + 1, \dots, k + N_{\text{ИНТ}} - 1$.

По аналогии с [17] под выборочным корреляционным моментом независимых дискретных случайных величин A_1 и A_2 на интервале $(k, k + N_{\text{ИНТ}} - 1)$ или k -м интервальным коэффициентом корреляции будем понимать значение:

$$r_{C_{kA_1A_2}} = \frac{(\vec{m}_{kA_1}^* - \vec{m}_{A_1})(\vec{m}_{kA_2}^* - \vec{m}_{A_2})}{\sigma_{kA_1}^* \sigma_{kA_2}^*}, \quad (3)$$

где $\vec{m}_{A_1}, \vec{m}_{A_2}$ – математическое ожидание величин A_1 и A_2 соответственно; $\vec{m}_{kA_1}^*, \vec{m}_{kA_2}^*$ и $\sigma_{kA_1}^*, \sigma_{kA_2}^*$ – выборочные средние и выборочные средние квадратические отклонения случайных величин A_1 и A_2 на интервале $(k, k + N_{\text{ИНТ}} - 1)$ соответственно.

Анализ выражения (3) показывает, что если для каждой случайной величины ее выборочное среднее значение на заданном интервале не совпадает с ее математическим ожиданием, то коэффициент корреляции этих случайных величин на данном интервале отличен от нуля. Следовательно, на относительно небольших множествах значений, которые могут принимать случайные независимые величины A_1 и A_2 , между ними могут возникать корреляционные зависимости. Аналогично, на ограниченном множестве сообщений, генерируемых независимыми источниками, между ними могут возникать корреляционные зависимости.

В работе [17] экспериментальным путем (при допущении, что появление каждого сообщения источника равновероятно с последующим усреднением результатов) были получены графические зависимости усредненного выборочного коэффициента корреляции для двух независимых источников видео- и речевой информации от параметра $N_{\text{ИНТ}}$ (рис. 3).

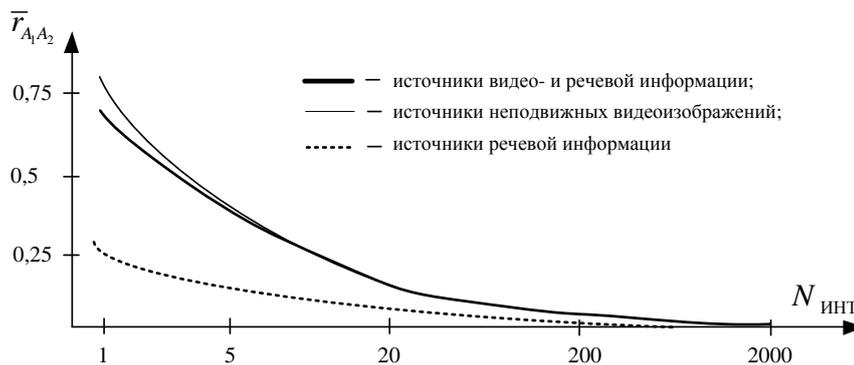


Рис. 3. Зависимости усредненного выборочного корреляционного момента для двух независимых источников от параметра $N_{\text{ИНТ}}$

При этом в качестве объектов корреляционного анализа использовались источники речевых сообщений as_2 ($\vec{m}_{A_1} = \vec{m}_{A_2} = \vec{0}$) и неподвижные типовые изображения as_3 ($\vec{m}_{A_1} = \vec{m}_{A_2} = 128 \cdot \vec{1}$) в формате *RGB*.

Анализ представленных зависимостей (рис. 3) показывает, что с увеличением $N_{\text{ИНТ}}$ корреляционный момент источников уменьшается экспоненциально, и при $N_{\text{ИНТ}} = N$ взаимная корреляция между сообщениями источников практически отсутствует (величина $\bar{r}_{kA_1 A_2}$ практически равна нулю).

При этом максимальная скорость спада кривых соответствует источникам с максимальной избыточностью, в рассматриваемом случае – источникам видеозображений.

При переходе от искусственных сигналов *AS* к их модальностям *IM* наблюдается дальнейшее уменьшение корреляционных моментов источников, а, следовательно, и необходимой пропускной способности C_0 абонентского терминала.

Таким образом, полимодальное представление и обработка входной информации позволяет повысить информационный критерий эффективности полимодальной ИКС. Реализуемая при этом декорреляция входных сигналов неизбежно приводит к уменьшению выигрыша относительно суммарной скорости передачи при совместном кодировании источников, между которыми имеются корреляционные взаимосвязи [20]. Следовательно, в многомодальных абонентских терминалах целесообразно использовать раздельное кодирование параметров отдельных модальностей и/или результатов реализации полимодальных услуг.

Характеристика «ценности полимодальной информации» при сравнении существующих и полимодальных ИКС

Необходимой предпосылкой получения данных результатов является переработка некоторого минимально необходимого количества информации, получаемой от абонента. В качестве одной из простейших может рассматриваться та модель (рис. 4), в которой цель X (реализация услуги X) можно достигнуть различными путями $x_j (1 \leq j \leq n)$, общее количество n которых известно; при этом вероятности достижения цели по различным путям $\varphi(x_j)$ априори неизвестны.

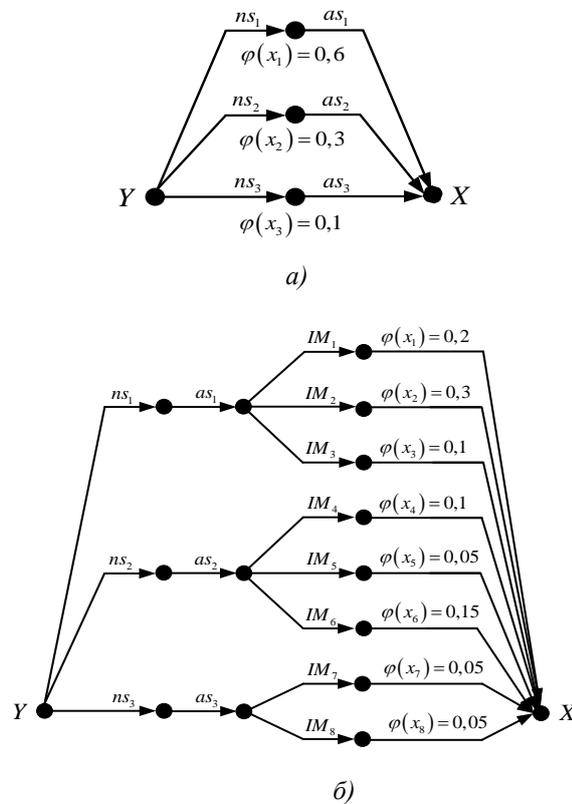


Рис. 4. Пути достижения цели функционирования в (а) существующих и (б) полимодальных ИКС

Для того, чтобы задачу решить наиболее целесообразным способом, получаемая информация должна позволить определить значения $\varphi(x_j)$ на путях X_j и выбрать тот путь (пути), на котором величина $\varphi(x_j)$ наибольшая. При этом ценность информации I_i от источника Y тем выше, чем больше вероятность достижения цели при ее использовании. Следует иметь в виду, что и без получения информации вероятность достижения цели $\Phi(X)$ не равна нулю, ибо и при случайном (произвольном) выборе пути X_j цель X может быть достигнута.

Исходя из сказанного, в качестве *меры ценности информации* принимается величина разности Z_i между вероятностями достижения цели при отсутствии информации $\Phi(X)$ и при получении i -го сообщения:

$$Z_i = \Phi_i(X) - \Phi(X). \quad (4)$$

Величина Z_i в принципе может быть отрицательной, что отражает получение ложной информации (дезинформации), в дальнейшем будем полагать, что получаемая информация истинна, и тогда всегда $Z_i > 0$.

Вероятность достижения цели при случайном выборе одного из путей X_j :

$$\Phi(X) = \sum_{j=1}^n P_j \varphi(x_j),$$

где P_j – вероятность выбора j -го пути X_j .

До получения информации эта величина имеет некоторое априорное распределение. Естественно допустить, что при полном отсутствии априорной информации выбор различных путей равновероятен, тогда:

$$P_j = \frac{1}{n} = const; \quad \Phi(X) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varphi(x_j),$$

т.е. вероятность достижения цели при отсутствии информации равна среднему значению $\varphi(x_j)$ по всем n путям.

Получение информации I_{ij} от i -го сообщения о j -м пути меняет распределение вероятностей P_j . Это апостериорное распределение в значительной мере определяется субъективными факторами, появляющимися в решении, принимаемом человеком, или закладываемым им в поведение технической системы. Поэтому полная формализация поведения системы при получении информации затруд-

нительна. Тем не менее, в ряде типичных случаев можно констатировать некоторые общие тенденции изменения распределения P_j .

Рассмотрим некоторые варианты при разных исходных данных.

I. Сообщение I_{ij} дает информацию о значении $\varphi(x_j)$ только на одном j -м пути и не содержит никакой информации об остальных $(n-1)$ путях; следовательно, выбор любого из этих $(n-1)$ путей равновероятен.

Тогда:

$$\Phi_i^1(X) = P_j \varphi(x_j) + \frac{1-P_j}{n-1} \left[\sum_{k=1}^{j-1} \varphi(x_k) + \sum_{k=j+1}^n \varphi(x_k) \right].$$

Естественно считать, что в этом случае выбор пути x_j тем более вероятен, чем больше вероятность $\varphi(x_j)$, с которой можно ожидать достижения цели X , судя по информации, полученной от источника y_i .

Зависимость P_j от $\varphi(x_j)$ представляет собой неубывающую функцию, лежащую в пределах $[0,1]$. Если для ее аппроксимации принять удобную для расчетов функцию:

$$P_j = [\varphi(x_j)]^r \quad (r > 0), \quad (5)$$

то характеристика ценности i -го сообщения о j -м пути получается в виде:

$$Z_{ij}^1 = [\varphi(x_j)]^{r+1} + \frac{1-[\varphi(x_j)]^r}{n-1} \left[\sum_{k=1}^{j-1} \varphi(x_k) + \sum_{k=j+1}^n \varphi(x_k) \right] - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (6)$$

Если даже на j -м пути $\varphi(x_j) = 0$, то и в этом случае $Z_i > 0$, поскольку вероятность выбора этого пути $P_j = 0$, и, следовательно, этот заведомо бесперспективный путь из дальнейшего поведения системы исключается.

Случай (рис. 5, а) характерен для существующих «одномодальных» ИКС, в которых при реализации услуги обрабатываются и передаются сообщения одного вида (аудио, видео или данные)¹.

¹ Вероятности достижения цели по различным путям заданы на графе (см. рис. 4)

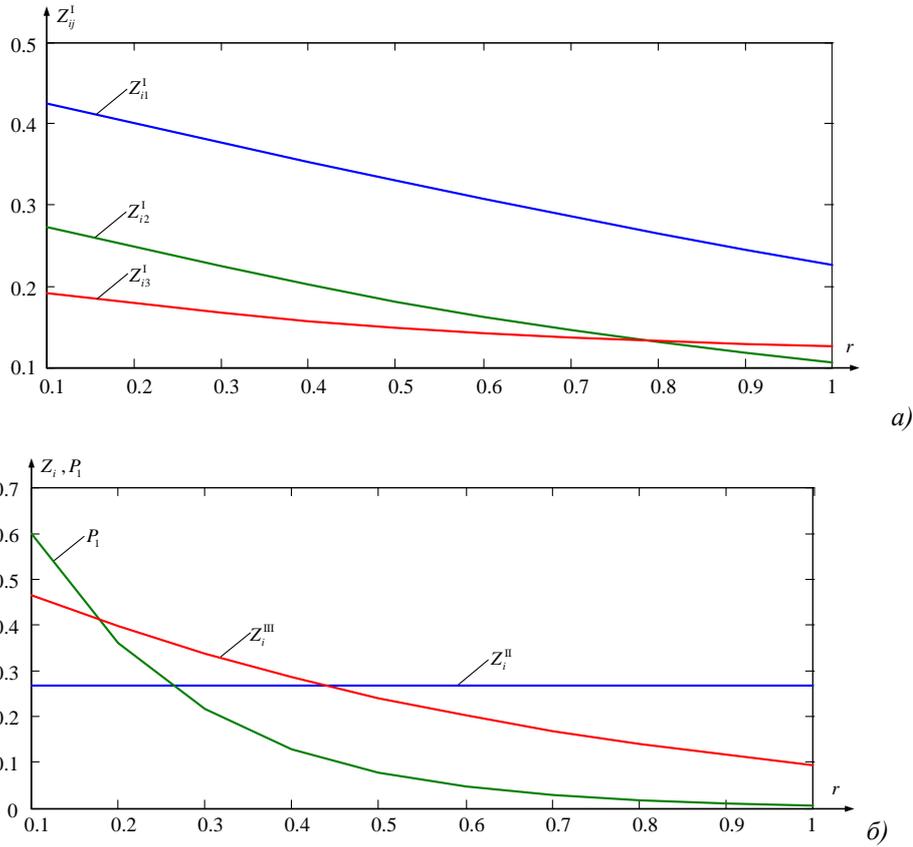


Рис. 5. Ценность информации при ее обработке (а) одномодальными и (б) многомодальными абонентскими терминалами

II. Сообщение I_i дает информацию о значениях $\varphi(x_j)$ на всех n путях. В этом случае необходимо выбрать тот путь, для которого величина $\varphi(x_j)$ максимальна, тогда $\Phi_i^{\text{II}}(X) = \varphi_{\max}(x_j)$.

Характеристика ценности информации при этом будет:

$$Z_i^{\text{II}}(X) = \varphi_{\max}(x_j) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \tag{7}$$

Случай (рис. 5, б) характерен для мультисервисных ИКС, в которых осуществляется обработка и передача гетерогенного потока данных, однако отсутствуют механизмы, позволяющие однозначно определить значения $\varphi(x_j)$, даже при небольшом числе путей.

III. Сообщение I_i дает информацию о значениях $\varphi(x_j)$ на M ($M < n$) из n путях и не содержит информации об остальных $(n - M)$ путях; выбор любого из этих $(n - M)$ путей равновероятен.

Тогда:

$$\Phi_i^{\text{III}}(X) = \sum_{j=1}^M P_j \varphi(x_j) + \frac{1}{n-M} \sum_{k=M+1}^n P_k \varphi(x_k).$$

С учетом (5) характеристика ценности i -го сообщения о j -м пути получается в виде:

$$Z_i^{\text{III}} = \sum_{j=1}^M [\varphi(x_j)]^{r+1} + \frac{1}{n-M} \sum_{k=M+1}^n [\varphi(x_k)]^{r+1} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (8)$$

Данный случай (рис. 5, б) характерен для полимодальных ИКС, в которых осуществляется обработка и передача сигналов отдельных модальностей (их параметров). При этом, учитывая наличие разработанных алгоритмов $\{al_1, \dots, al_{26}\}$ выделения отдельных модальностей, существуют возможность и отдельные результаты, позволяющие однозначно определить значения $\varphi(x_j)$.

Анализ зависимости вероятности достижения цели X от числа «используемых» абонентом модальностей N_{IM} (рис. 6) позволяет сделать вывод о том, что при заданной вероятности выбора P_j ($r = 0,1$) канала коммуникации (j -го пути (путей)) вероятность $\Phi_i(X)$ достижения цели функционирования полимодальных ИКС возрастает с увеличением N_{IM} . При этом систему надо строить так, чтобы источники и пути обработки информации приносили сообщения о тех путях X_j , которые обеспечивают максимизацию $\Phi_i(X)$. Таким образом, выражение (8) однозначно связывает ценность информации с эффективностью полимодальных ИКС – вероятностью достижения цели X (реализацией услуги) – и позволяет определить минимально необходимое число объектов учета $M = \min N_{IM}$, используемое для оценки целостности полимодальной информации:

$$\text{Ц}^{INF} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{OY}} D_m, \quad (9)$$

где D_m – достоверность оценки состояния m -го объекта учета, m -й показатель полноты информации определяется как:

$$x_m^{\text{OY}} = \begin{cases} 1, & \text{если содержится объект учета;} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

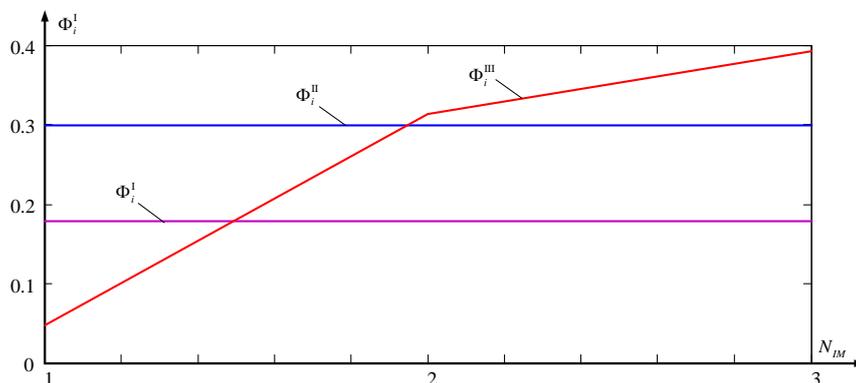


Рис. 6. Вероятность достижения цели от числа модальностей

Если в традиционных инфокоммуникациях объектами учета на уровне сети передачи данных являются блоки данных, соответствующие услугам связи, то для полимодальных ИКС под объектами учета целесообразно понимать блоки данных, несущие сведения о различных аспектах коммуникативного акта (сторонах общения). Это соответствует принятому в данном исследовании отказу от традиционных принципов предоставления пользователю услуг связи в пользу обеспечения полимодальности коммуникации через технические средства связи.

Заключение

Анализ современных достижений науки и техники в области создания многомодальных абонентских терминалов показал, что снижению или устранению технических барьеров межличностной коммуникации будет способствовать переход от предоставления традиционных услуг связи к передаче и приему сигналов различных модальностей. Интеграция на уровне принятия решения семантически различной информации, передаваемой по разным коммуникационным каналам, может обеспечить возможность получения индивидом услуг связи и коммуникации более высокого уровня, что отражает общую тенденцию пользователей мобильных устройств к постоянной эмоциональной включенности в ситуацию при построении дистанционного общения с широким кругом пользователей социальных сетей.

Данный подход является новым в предметной области построения многомодальных интерфейсов и требует проведения большой серии исследований для разработки принципиально новых элементов теории полимодальной передачи информации.

В рамках настоящей работы показано повышение информационной эффективности ПИКС, строящихся на основе многомодальных абонентских интерфейсов, по отношению к традиционным инфокоммуникациям. На основе введенного понятия ценности информации показана целесообразность перехода к таким системам. Созданы предпосылки для установления общих принципов построения ПИКС, в частности, к выбору функциональных структур и сигналов (параметров), имеющих наиболее благоприятные информационные характеристики.

Применительно к практике медицинского, психологического и программно-технического обеспечения пилотируемого космического полета возможное при-

менение предлагаемого подхода связано с проблемой доверительного общения космонавта с врачом экипажа, психологом, членами семьи и в других ситуациях, когда получение информации, имеющей личную значимость, повышает качество общения и удовлетворенность сеансами связи. Основные направления внедрения данных методических разработок в практику пилотируемых полетов связаны с решением следующих актуальных задач:

1) Проектирование коммуникативной деятельности членов экипажа со специалистами групп поддержки ЦУПа, наделенных разными полномочиями в отношении планирования работ и владеющих разной степенью доверительности общения с конкретным членом экипажа.

2) Проектирование естественной для человека коммуникативной среды, допускающей задание предписаний и получение значимой информации от специалистов групп поддержки ЦУПа в привычной и удобной для человеческого восприятия форме с учетом разной модальности.

В общем контексте задач оптимизации взаимодействия космонавтов в составе экипажа предполагает максимальный учет индивидуальных стилей общения личности в трудных условиях жизнедеятельности [13, 22, 23], что является большой самостоятельной проблемой в аспектах адаптации данного методического подхода к той организации работы, которая сегодня принята при обеспечении полета в группах поддержки ЦУПа [9, 18, 21, 23]. В этом мы видим перспективу дальнейшего развития данной информационной технологии.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 13-08-0741-а, № 15-07-06774-а).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бандурка Т.Н. Полиmodalность восприятия в обучении. Как раздвинуть границы познания: монография. – Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2005. – 204 с.
- [2] Басов О.О., Сайтов И.А. Методы передачи полиmodalной информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Том 15. – № 2. – С. 293–299.
- [3] Басов О.О., Сайтов И.А. Качество функционирования и эффективность полиmodalных инфокоммуникационных систем // Труды СПИИРАН. – 2014. – № 1 (32). – С. 152–170.
- [4] Басов О.О., Сайтов И.А. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 7(30). – С. 122–140.
- [5] Басов О.О. Предпосылки создания полиmodalных инфокоммуникационных систем // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ». Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 3–8 декабря 2012 г. // Секция «Решение сложных задач в области современных информационных и компьютерных технологий». – С. 5–6.
- [6] Бутовская М.Л. Язык тела: природа и культура (эволюционные и кросс-культурные основы невербальной коммуникации человека). – М.: Научный мир, 2004. – 440 с.
- [7] Величковский Б.М. Когнитивная наука: основы психологии познания: в 2-х тт. – М.: Смысл. Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
- [8] Теория и практика психологического обеспечения летного труда // А.А. Ворона, Д.В. Гандер, В.А. Пономаренко; под общ. ред. В.А. Пономаренко. – М.: Воен. изд-во, 2003. – 277 с.

- [9] Инструментальная методика тестирования интерактивного бесконтактного человеко-машинного взаимодействия при использовании шлема виртуальной реальности / Карпов А.А., Ронжин А.Л., Усов В.М. // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(16). – 2015. – С. 43–53.
- [10] Коган И.М. Прикладная теория информации. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.
- [11] Коган И.М. Прикладная теория информации: Итоги науки и техники // Радиотехника. – 1972. – Т. 4. – 115 с.
- [12] Лунева О.В. Общение // Знание. Понимание. Умение. – № 4. – 2005. – С. 157–159.
- [13] Предварительные результаты психологического анализа коммуникаций экипажей Международной космической станции / В.И. Мясников, В.И. Гушин, А.К. Юсупова // Вестник Томского Государственного педагогического университета. Серия: Психология. – 1 (45). – 2005. – С. 112–118.
- [14] Островский М.А., Шевелев И.А. Физиология человека. Учебник (В двух томах. Т. II) / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2003. – 656 с.
- [15] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Проектирование интерактивных приложений с многомодальным интерфейсом // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1(21). – Ч. 1. – С. 124–127.
- [16] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Многомодальные интерфейсы: основные принципы и когнитивные аспекты // Тр. СПИИРАН. – 2006. – Вып. 3, т. 1. – С. 300–319.
- [17] Устинов А.А. Стохастическое кодирование видео- и речевой информации: моногр. в 2 ч. / Под ред. проф. В.Ф. Комаровича. – СПб.: ВАС, 2005.
- [18] Соловьев В.А. Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (окончание) / В.А. Соловьев, В.Е. Любинский, Е.И. Жук // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(5). – 2012. – С. 27.
- [19] Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь. – 1986. – 264 с.
- [20] Чисар И., Кернер Я. Теория информации: теоремы кодирования для дискретных систем без памяти / Пер. с англ. С.И. Гельфанда. – М.: Мир, 1985. – 400 с.
- [21] 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. – № 3(8). – 2013. – С. 23–34.
- [22] Общение в контуре борт – Земля: социально-психологические аспекты / Юсупова А.К., Юсупова А.К., Гушин В.И., Попова И.И. // Авиакосмическая биология и экологическая медицина. – 2006. – Т. 40. – № 3. – С. 16–19.
- [23] Юсупова А.К. Индивидуальные стили общения личности в условиях долговременной изоляции. – М.: МГУ, 2008. – 22 с. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата психологических наук. Специальность: 19.00.01 – Общая психология, психология личности, история психологии. (На правах рукописи).
- [24] Basov O.O., Struev D.A., Ronzhin A.L. Synthesis of Multi-service Infocommunication Systems with Multimodal Interfaces. Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Springer, LNCS, Vol. 9247, NEW2AN 2015/ruSMART 2015, St. Petersburg, Russia, P. 128–139.
- [25] Oviatt, S.L. Multimodal Interactive Maps: Designing for Human Performance // Human Computer Interaction. Special Issue on Multimodal Interfaces. Vol. 12, 1997. P. 93–129.

УДК 629.78.007

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАССОГАБАРИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ,
УСТАНОВЛИВАЕМОЙ КОСМОНАВТАМИ
ПРИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

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

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

Проведен анализ работ, выполненных космонавтами по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС с использованием ВКД. Определены массогабаритные характеристики научной аппаратуры, выводимой космонавтами. Выполнен расчет частотного распределения массы, габаритов, условного объема, условной площади научной аппаратуры. Проведен анализ ограничений, накладываемых конструкциями шлюзовых камер, по массе и габаритам полезной нагрузки.

Ключевые слова: робототехническая система, внекорабельная деятельность, космонавт, массогабаритные характеристики, научная аппаратура.

**Statistical Analysis of Mass and Dimensions Parameters of Scientific
Equipment Installed by Cosmonauts during Extravehicular Activity.****E.Yu. Irodov, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy**

The paper contains an analysis of works performed by cosmonauts under the programs of scientific-applied research and experiments on the ISS RS using EVA. This analysis has allowed determining mass and dimensions parameters of scientific equipment installed by cosmonauts and calculating the distribution of mass, dimensions, reference volume and area of scientific equipment. Also, the paper contains an analysis of limitations imposed by the design of lock chambers on weight and size of payload.

Keywords: robotic system, extravehicular activity, cosmonauts, mass and dimensions parameters.

При выполнении операций внекорабельной деятельности (ВКД) практически всегда необходимо решать задачи вывода оборудования и инструмента из шлюзового отсека и их транспортировки в рабочую зону на внешней поверхности орбитальной станции. Оборудование и инструмент, доставляемые к месту выполнения работ, размещают и фиксируют на специальных транспортировочных платформах, рамах, а также внутри жестких и мягких контейнеров, оснащенных поручнями и фалами с карабинами. Комплекты оборудования, инструмента вместе со средствами их транспортировки в бортовой документации, как правило, именуется термином «укладка». В качестве примера на рис. 1 приведены образцы некоторых укладок [1]:

- а) кабельная укладка на универсальной платформе;
- б) укладка катушка Ethernet МЛМ-АС, платы фиксирующие и мягкие поручни;
- в) укладка моноблок «БТЛС-Н»;
- г) укладка кабельных держателей и держателей-направляющих;
- д) укладка гермоблок «Тест».

Исходя из анализа, проведенного авторами в [2, 3], на робототехническую систему (РТС) предполагается возложить задачу транспортировки оборудования к месту его последующего монтажа. Наиболее вероятно, что таким оборудованием

будет научная аппаратура (НА) для проведения космических экспериментов на внешней поверхности МКС. Для обоснованного предъявления требований к РТС, конструкции отдельного оборудования МКС, необходимо знание обобщенных характеристик НА, являющихся критичными при выполнении вышеизложенных задач.

По результатам анализа работ, выполненных космонавтами за последние 10 лет по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС в процессе ВКД [4, 5], были определены массогабаритные характеристики научной аппаратуры, выводимой космонавтами, и расстояния ее транспортировки по поручням на внешней поверхности модулей, представленные в таблице 1.

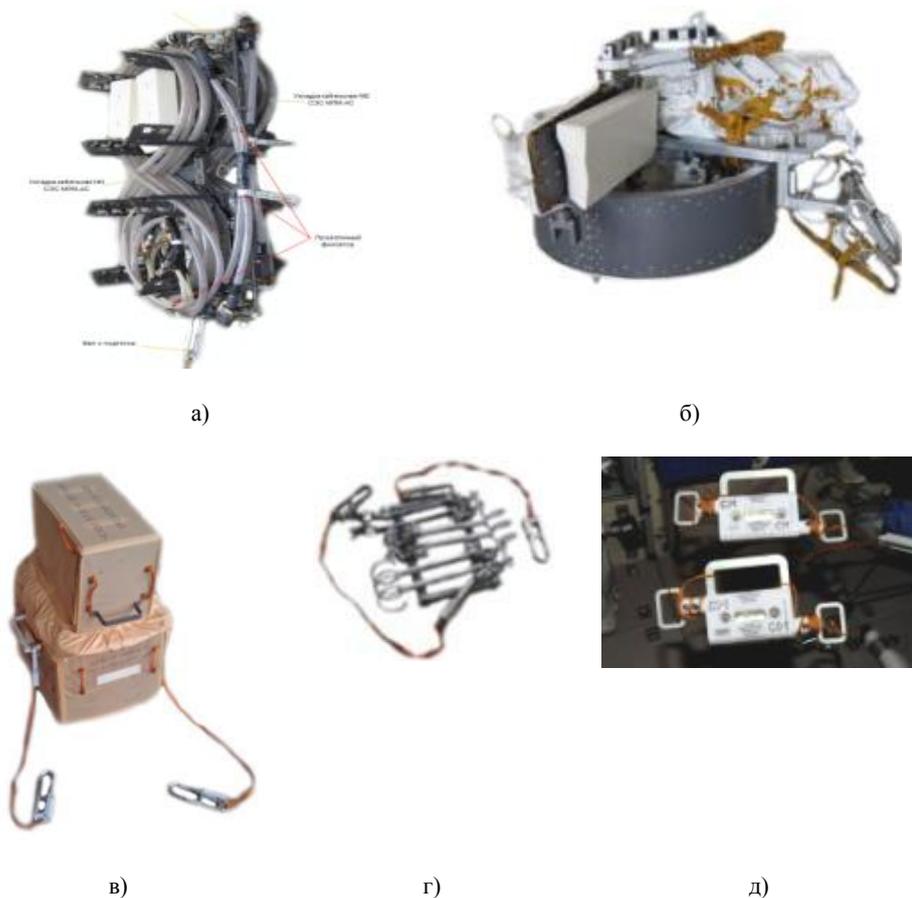


Рис. 1. Образцы укладок, применяемые при ВКД

Представленные материалы показывают, что в процессе ВКД космонавты работают с большой номенклатурой укладок, существенно отличающихся как по составу входящего в них оборудования (см. рис. 1), так и по размерам и массе транспортируемого оборудования (см. табл. 1).

Проведен статистический анализ численных значений массогабаритных характеристик научной аппаратуры, производных обобщенных параметров, таких как условный объем и условная площадь, а также расстояний, на которые перемещается

Таблица 1

Научная аппаратура, выведенная на внешнюю поверхность РС МКС

Аппаратура	Космический эксперимент	Масса, кг	Габариты, мм	Расстояние перемещения (прибл.), м
Планшет «Тест»	«Тест»	1,0	250x140x50	3
Наноспутник «Часки-1»	«РадиоСкаф»	2,4	200x180x180	3
Моноблок «Expose-R»	«Expose-R»	44	553x420x243	10
Моноблок камеры высокого разрешения	«Напор-миниРСА»	85	1490x625x706	10
Моноблок камеры среднего разрешения	«Напор-миниРСА»	50	1073x430x395	10
Выносное рабочее место	«Напор-миниРСА»	24,5	918x1070x610	10
Двухосная платформа наведения	«Напор-миниРСА»	47	890x640x670	10
Съемная кассета	«Эпсилон-НЭП»	1,8	220x275x80	9
Моноблок НА	«Сейсмопрогноз»	12,5	600x290x425	13
Штанга БВП (НА «Индикатор-МКС»)	«Контроль»	15,5	650x1200x460	7
Панель с образцами	«Выносливость»	5,5	400x300x20	6
ПВК-1 (МАД1 с блоком КВД1)	«Обстановка»	35,10	670x450x500	10
Штанга с комплектом датчиков ШКД-1	«Обстановка»	18,96	1300x350x300	10
ПВК-2 (МАД1 с блоком КВД1)	«Обстановка»	36,70	670x550x530	8
Штанга с комплектом датчиков ШКД-2	«Обстановка»	22,0	1400x350x300	8
Спутник «Сфера» (калибровочная сфера + устройство пусковое)	«Вектор-Т»	11,53	Сфера Ø 530	2
Микроспутник «Кедр»	«РадиоСкаф»	26	500x500x300	2
Моноблок БТЛС-Н	«СЛС»	102	650x695x985	10
Комплект «Биориск-МСН»	«Биориск»	9,2	213,5x350x475	5
Моноблок БВД (НА «Фотон-Гамма»)	«Молния-Гамма»	35	670x512x460	10
Адаптер РК-21-8	«СВЧ-радиометрия»	15,7	880x390x390	10
Моноблок РК-21-8	«СВЧ-радиометрия»	90	1400x490x690	10
НА «ИПИ-СМ»	«Импульс»	36,5	543x545x390	10
Моноблок «Всплеск»	«Всплеск»	24,4	595x580x465	12
Моноблок «БТН»	«БТН-Нейтрон»	9,5	283x230x310	10
Платформа с замками	«БТН-Нейтрон»	3,54	594x462x220	10
Спутник «РадиоСкаф» (в СК «Орлан-М»)	«РадиоСкаф»	112	1970x845x595	1
Наноспутник (ТНС-0 № 1)	«Наноспутник»	5	Ø170x550	1
Планшет	«Кромка»	1,4	235x140x20	20
Антропоморфный фантом «Рэндо»	«Матрешка-MTR»	60	Ø600x1100	14

НА на внешней поверхности МКС. Указанные характеристики являются наиболее критичными при выполнении работ на внешней поверхности МКС космонавтом или робототехнической системой.

Анализ массы. Выполнен расчет частотного распределения массы НА, результаты которого представлены в виде гистограммы на рис. 2. Анализ представленных данных показывает, что НА массой более 100 кг составляет от ее общего количества примерно 7 %, а массой более 80 кг – 13 %. При этом большая часть НА – 73 %, имеет массу не более 40 кг.

Величина массы НА, перемещаемой космонавтами, находится в диапазоне значений от 1 до 112 кг, при этом среднее значение массы НА составляет 31,5 кг.

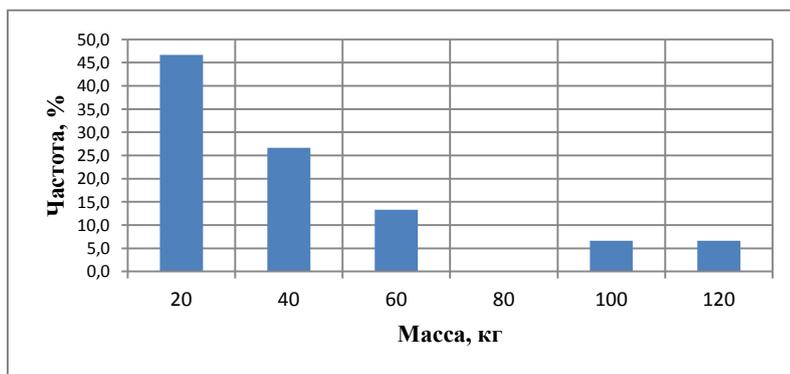


Рис. 2. Частота распределения массы НА

Анализ габаритов. При оценке габаритных размеров НА за длину принимался максимальный размер НА, за ширину – средний, за высоту – минимальный размер. Выполнены расчеты частотного распределения габаритных размеров НА, результаты которых представлены в виде гистограмм на рисунках 3, 4 и 5, соответственно для длины, ширины и высоты.

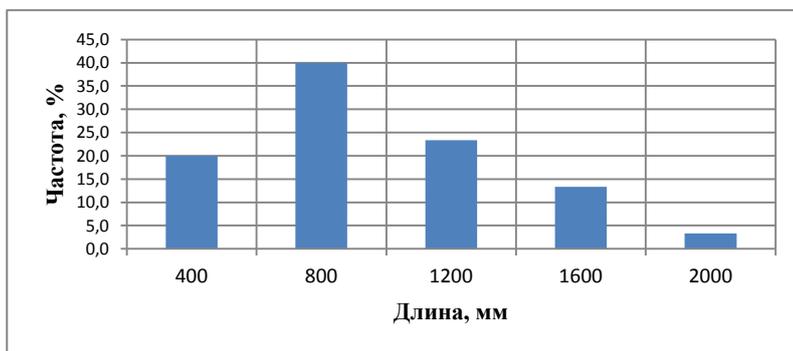


Рис. 3. Частота распределения длины НА

Анализ представленных данных показывает, что укладки НА длиной более 1600 мм составляют от их общего количества всего 3 %, а длиной более 1200 мм – 17 %. При этом большая часть НА – 60 % – имеет длину не более 800 мм.

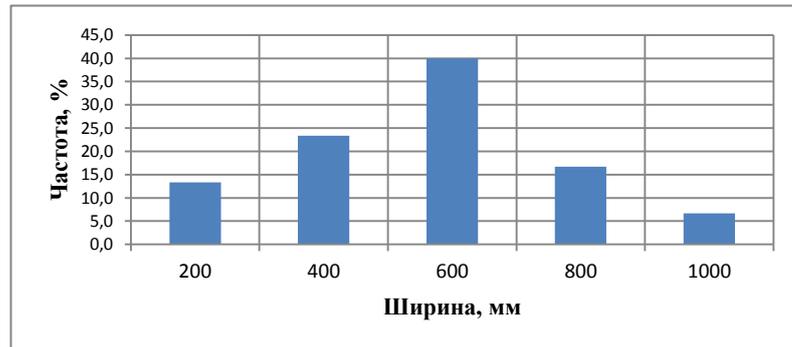


Рис. 4. Частота распределения ширины НА

Анализ представленных данных показывает, что НА шириной более 800 мм составляет от ее общего количества всего 7 %. При этом большая часть НА – 63 % – имеет ширину в диапазоне от 200 до 600 мм.

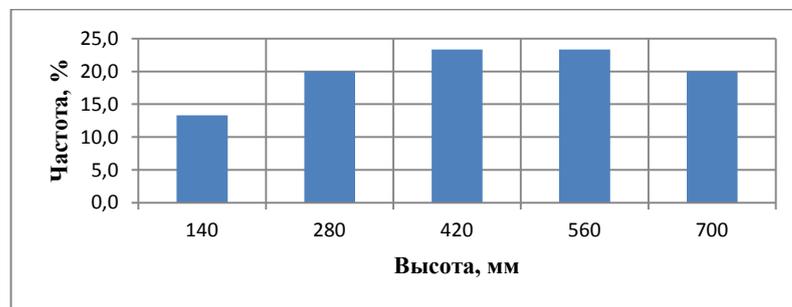


Рис. 5. Частота распределения высоты НА

Анализ представленных данных показывает, что НА высотой до 140 мм составляет от ее общего количества около 13 %. В диапазоне высот от 140 до 700 мм наблюдается приблизительно равное распределение частоты 20–23 % на выделенных интервалах.

Предельные и средние значения габаритных размеров упадок НА представлены в табл. 2.

Таблица 2

Предельные значения габаритных размеров НА

Значения	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
максимальное	1970	918	650
минимальное	200	140	20
среднее	779,3	470,0	363,2

Анализ условного объема. Выполнены расчеты условного объема НА, под которым понималось произведение длины, ширины и высоты НА. Проведен рас-

чет частотного распределения условного объема укладок, результаты которого представлены в виде гистограммы на рис. 6. Результаты расчетов показывают, что величина условного объема укладок, перемещаемых космонавтами, находится в диапазоне значений от 0,7 до 990 л, при этом среднее значение объема составляет около 206 л.

Анализ представленных данных показывает, что НА с условным объемом до 450 л составляет большую часть от ее общего количества – около 87 %.

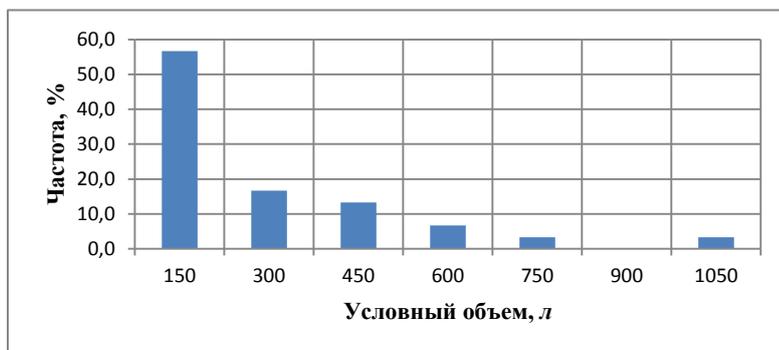


Рис. 6. Частота распределения условного объема НА

Анализ условной площади. Выполнены расчеты условной площади НА, под которой понималось произведение длины и ширины НА. Выполнен расчет частотного распределения условного объема укладок, результаты которого представлены в виде гистограммы на рис. 7. Результаты расчетов показывают, что величина условной площади НА, перемещаемой космонавтами, находится в диапазоне значений от 3 до 166 $дм^2$, при этом среднее значение площади составляет около 42 $дм^2$.

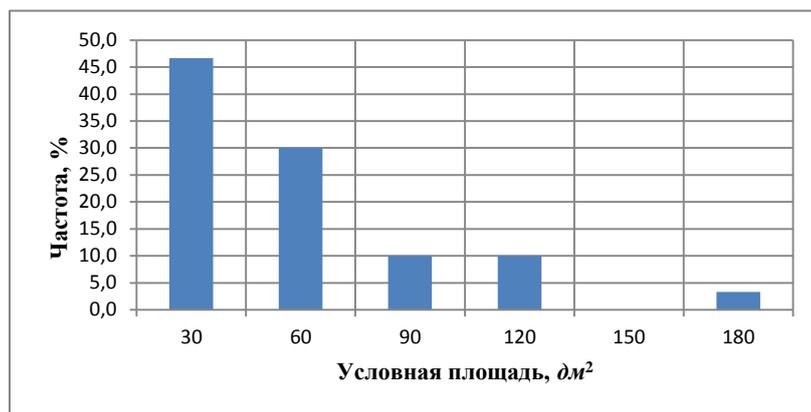


Рис. 7. Частота распределения условной площади НА

Анализ представленных данных показывает, что НА с условной площадью до 90 $дм^2$ составила большую часть от ее общего количества – около 87 %, аналогично данным для частоты условного объема до 450 л.

Анализ расстояний. Выполнен расчет частотного распределения расстояния перемещения укладок, результаты которого представлены в виде гистограммы на рис. 8. Результаты расчетов показывают, что расстояния, на которые космонавты выполняли перемещения укладок, находятся в диапазоне значений от 1 до 20 м, при этом среднее значение расстояния перемещения укладок составляет около 9 м.

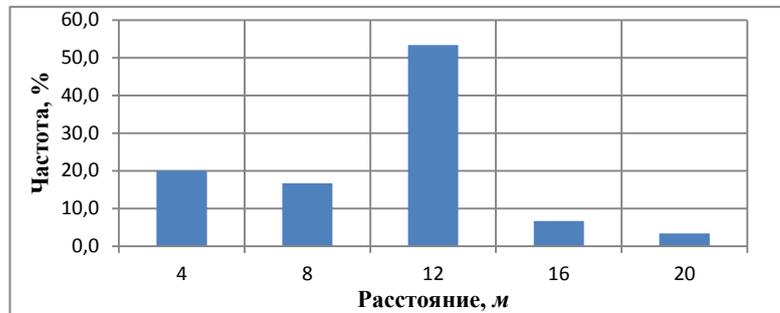


Рис. 8. Частота распределения расстояния перемещения НА

Анализ представленных данных показывает, что расстояния более 12 м составили от их общего количества около 10 %. При этом большая часть НА – 70 % – перемещалась космонавтами на расстояния от 4 до 12 м.

В интересах получения исходных данных для решения задачи вывода НА через автоматические шлюзовые камеры (ШК), для вариантов автономной работы РТС проведена оценка возможности размещения и вывода описанной выше НА из ШК МЛМ (доставлена на МКС, предполагается применение в составе модуля МЛМ) [1] и ШК КА «ОКА-Т».

ШК МЛМ имеет объем по газу $2,1 \text{ м}^3$, и позволяет выполнять работы в автоматическом режиме с полезной нагрузкой массой до 150 кг и максимальными габаритами 1200x500x500 мм [1].

Сопоставление ограничений по массе и габаритам полезной нагрузки, накладываемых конструкциями рассматриваемых ШК, и реальных массогабаритных характеристик НА показывает, что ШК МЛМ позволила бы разместить и автоматически выдвинуть 50 % из всего количества НА, представленной в табл. 1, а проектируемая ШК КА «ОКА-Т» – около 70 %.

Выводы

Проведен анализ работ, выполненных космонавтами за последние 10 лет по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС с использованием ВКД. По результатам этого анализа определены массогабаритные характеристики научной аппаратуры, выводимой космонавтами и расстояния ее транспортировки по поручням на внешней поверхности модулей.

Выполнен расчет частотного распределения массы, габаритов, условного объема, условной площади научной аппаратуры. Определено, что ШК МЛМ позволила бы разместить и автоматически выдвинуть 50 % из всего количества рассмотренной выше НА, а ШК КА «ОКА-Т» – около 70 %.

Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы в качестве исходных данных при проектировании робототехнических систем для под-

держки ВКД космонавтов на перспективных модулях РС МКС, в части выбора максимальной массы и расстояний перемещения полезной нагрузки, оценки ограничений по размещению и манипулированию полезной нагрузкой, обусловленных габаритами транспортируемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Российский сегмент МКС. Справочник пользователя. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева. [Электронный ресурс]. URL:http://www.energia.ru/ru/iss/researches/iss_rs_guide.pdf. (Дата обращения: 18.02.2012).
- [2] 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.
- [3] Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(16). – 2015.
- [4] Официальный сайт Центра управления полетами ЦНИИ машиностроения (ЦУП ЦНИИмаш). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mcc.rsa.ru/>.
- [5] Официальный сайт журнала «Новости космонавтики». [Электронный ресурс]. URL: <http://novosti-kosmonavtiki.ru/>

УДК 004.522

**ГОЛОСОВЫЕ КОМАНДЫ
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
АНТРОПОМОРФНЫМИ РОБОТАМИ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА «ОБУЧЕНИЕ ПОКАЗОМ ДВИЖЕНИЯ»**

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

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

Дистанционное управление антропоморфными роботами (АМР) в пилотируемом космическом полете выдвигает повышенные требования к правильности действий человека-оператора (ЧО). В этой связи необходимо совершенствовать человеко-машинный интерфейс. Для этого в данной работе:

- 1) рассмотрено применение голосовых команд для дистанционного управления АМР на основе инициирования голосом управляющих данных в виде скриптовых команд, которые заранее формируются в рамках информационной технологии управления роботом методом «обучения показом движения»;
- 2) предложено дополнительно осуществлять построение виртуальной сцены с визуализацией распознанной команды в виде 3D-динамического образа планируемого действия АМР для верификации речевых команд ЧО;
- 3) проведена экспериментальная апробация предлагаемого способа посредством моделирования виртуальной рабочей среды, в частности, выполнения манипуляций АМР с пультом бортовой системы на МКС.

Ключевые слова: пилотируемые полеты, космонавт, антропоморфный робот, метод управления «показом движения», человеко-машинный интерфейс, голосовые команды, скриптовые команды, построение виртуальной среды, 3D-визуализация.

Voice Commands for Remote Control of Anthropomorphic Robots Based on the Method of "Teaching by Showing". B.I. Kryuchkov, M.V. Mikhailyuk, V.M. Usov

Remote control of anthropomorphic robots (AMRs) in manned space flights puts forward higher requirements for the correctness of actions of a human operator (HO). In this regard, it is necessary to improve the human-machine interface. For this purpose, the paper:

- (1) examines the use of voice commands for remote control of AMRs, based on initiation of the voice control data in the form of script commands, which are formed in advance within the information technology of controlling a robot using the "teaching by showing" method;
- (2) proposes to construct additionally a virtual scene using visualization of the recognized commands in the form of 3D dynamic images of AMR's planned actions for the verification of HO's voice commands;
- (3) presents an experimental approbation of the proposed method by means of modeling a virtual working environment, in particular, manipulations with the panel of an onboard system performed by an ARM in remote control mode on the ISS.

Keywords: manned flights, cosmonaut, anthropomorphic robot, "teaching by showing" control method, human-machine interface (HMI), voice commands, script commands, construction of virtual environment, 3D visualization.

Введение

Антропоморфные роботы находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Их распространению способствует возможность манипулирования разными объектами и рабочими инструментами, аналогично тому, как это предусмотрено для человеческих рук. При этом человеку-оператору (ЧО), как правило, уже на интуитивном уровне доступно понимание, каким образом необходимо продемонстрировать другому человеку или антропоморфному роботу (АМР) исполнение того или иного действия, что привело к разработкам так называемого «копирующего режима» управления манипуляционным АМР.

Наиболее распространенным вариантом построения органов управления для этого режима является применение носимого костюма типа экзоскелета.

Экзоскелет представляет собой жесткую шарнирную конструкцию, надеваемую ЧО на плечевой пояс. Движение рук ЧО вызывает соответствующие сгибы в шарнирах экзоскелета, а далее с помощью датчиков измеряются углы поворотов частей экзоскелета. Если в масштабе реального времени передавать углы поворота во всех шарнирах экзоскелета в систему управления реальным АМР, то он будет повторять (копировать) движения рук ЧО.

Несмотря на ряд достоинств, таких как возможность выполнять произвольный набор двигательных актов, копирующий режим при дистанционном управлении АМР имеет определенные ограничения (прежде всего, из-за проблем оперативного получения обратной связи). По этой причине возникает риск потери точности реализации действия в человеко-машинной системе «человек–робот», что в некоторых вариантах складывающейся ситуации может повлиять на безопасность функционирования этой системы.

Указанные ограничения человеческого фактора стимулируют поиски новых решений в области человеко-машинных интерфейсов.

Что касается экстремальных условий применения, то создание антропоморфных роботов входит в число перспективных направлений развития космической робототехники, так как именно в этой области особенно значимы критерии безопасности и точности выполнения совместных действий при взаимодействии космонавта с АМР в рабочем пространстве гермообъекта.

В этой связи изучаются возможные способы и передовые технологии, которые позволяют скорректировать возможные ошибки ЧО на основе некоторых «образцов», заранее запланированных и построенных в виде виртуальных моделей исполнительных действий АМР [1, 14].

Указанным требованиям в значительной степени отвечает метод «обучения показом движения» (*англ.*: "teaching by showing") [2, 16, 17, 31, 32, 39].

Этот метод позволяет ЧО предварительно, в благоприятных условиях, в непосредственной близости расположения от АМР и, что главное, в условиях прямого зрительного контроля (полноценной зрительной обратной связи) обеспечить планирование исполнительных действий и «обучить» АМР в копирующем режиме требуемому действию с достаточно высокой точностью исполнения движения. Затем в реальной обстановке в режиме дистанционного управления с применением технологии дополненной реальности ЧО имеет возможность, путем сравнения фактически достигнутого результата с планируемым, скорректировать исполнение АМР заданного действия, используя сформированную ранее в рамках этой информационной технологии виртуальную модель.

Из литературы известны различные варианты способа программирования управления роботом посредством «обучения показом» от математических построений по методу решения обратной задачи кинематики до использования систем технического зрения (СТЗ) для программирования движения [2, 4, 37, 38, 48, 50, 52, 53].

Таким образом, можно констатировать, что этот вопрос достаточно хорошо изучен и освещен в доступной литературе, в частности, имеются оригинальные отечественные разработки, которые можно взять за основу такого методического подхода.

Исходным пунктом данного исследования принимается, что выбор способа построения управления посредством «обучения показом» сделан.

Далее на этой основе сформирован некоторый набор исполнительных действий, который можно представить себе в виде программных модулей, готовых для исполнения при передаче соответствующей команды от ЧО в «верхний уровень управления» АМР.

Исходя из этих посылок, в данной работе акцент исследования переносится на следующий шаг: каким образом ЧО может актуализировать исполнительную активность АМР в подходящих для этого условиях и, в том числе, каким образом достичь необходимых результатов относительно объекта воздействия на основе заранее сформированных программных модулей управления АМР.

Альтернативные и дополнительные по отношению к экзоскелету способы формирования управляющих воздействий при управлении АМР в дистанционном режиме

Как альтернатива использованию носимого экзоскелета, в литературе рассматриваются способы применения многостепенных ручек управления, а также маркеров и трекеров, закрепленных в подвижных частях тела человека, что открывает возможности использования в этой ситуации технологий СТЗ. В большинстве случаев при использовании таких органов управления речь идет о приложениях преимущественно в обучающих системах.

Достаточно оправданными представляются попытки поиска дополнительных каналов управления и новых видов интерфейсов для управления роботом в копирующем режиме в экстремальных условиях.

Решение этих вопросов целесообразно искать в области использования многомодальных интерфейсов, так как они позволяют использовать наиболее подходящий и удобный для ЧО вид взаимодействия с АМР. Для расширения взаимодействия ЧО с АМР предлагаются различные многомодальные интерфейсы, в число которых входит голосовой интерфейс [7–10, 24–27, 34–35].

Применение многомодальных интерфейсов мотивируется необходимостью использования привычных для человека форм общения, в частности, естественностью ведения речевого диалога для уточнения способа достижения цели партнерами (коммуникантами). Однако сама по себе речевая форма взаимодействия не обеспечивает должного уровня коммуникации и понимания при дистанционном управлении АМР, если этот подход не подкреплён разработкой семантического содержания диалога для единообразной трактовки и интерпретации команд и конструкций участниками диалога, как минимум, в двух отношениях:

1) формализации пространственно-временных отношений в рабочей среде для целей навигации и позиционирования АМР [36];

2) планирования действий и формализованного описания способов достижения целей, доступных АМР, если для объектов-целей, расположенных в рабочей среде, в наличии имеются и запрограммированы адекватные рабочие приемы воздействия [1, 2, 6, 36].

Эти вопросы требуют самостоятельного исследования, так как во многом определяют перспективы внедрения космических роботов в пилотируемой космонавтике.

В данной работе рассматривается постановка задачи в несколько ином, но близком плане: предлагается использовать голосовой интерфейс как дополнительный канал управления АМР в рамках вышеописанного подхода обучения выполнению действия «показом движения» [1, 11–13, 15–18, 39].

Предлагаемая схема построения интерфейса в системе «космонавт–АМР» для обеспечения точности и надежности исполнительных действий

Модифицированная по отношению к известным из выше цитированных работ вариантам реализации информационной технологии «обучения показом» методическая схема предполагает выполнение ряда шагов:

1) на основе способа «обучения показом движения» на предварительном этапе формируется набор программных модулей, позволяющих получить 3D-визуализацию исполнения действия АМР как в рамках технологии виртуальной реальности, так и в форме дополненной реальности для реального применения робота; эти модули могут быть переданы для исполнения в контур управления «верхнего уровня» АМР и должны храниться в базах данных (БД) вычислительной системы на рабочем месте ЧО;

2) с каждым программным модулем связывается некоторое элементарное «законченное по смысловому содержанию» действие, которое кодируется скриптом; скрипты хранятся в базах знаний (БЗ) в вычислительной системе на рабочем месте ЧО и в БЗ в составе АМР; предполагается, что БЗ на рабочем месте ЧО и в системе управления робота синхронизированы и идентичны; допускается формирование новых скриптов как некоторой композиции исходных согласно правилам допустимых переходов на графе потенциальных событий в составе сложного действия, состоящего из элементарных, ранее запрограммированных;

3) рабочее место ЧО должно быть оборудовано программно-аппаратным комплексом (ПАК), предназначенным для распознавания голосовой команды ЧО; после произнесения ЧО голосовой команды ПАК производит ее распознавание и кодирование;

4) на рабочем месте ЧО производится поиск в БЗ скрипта, соответствующего этой распознанной команде, и проверяется наличие заранее запрограммированного действия, которое связано с этим скриптом;

5) на рабочем месте ЧО выполняется контроль возможности выполнения требуемого действия в данных конкретных условиях – заранее подготовленный скрипт запускается на выполнение в моделируемой виртуальной среде для выполнения визуального контроля со стороны ЧО – на основе моделирования выполняется индикация планируемого действия согласно распознанной голосовой команде в виде 3D-динамического образа (возможно в виде «проволочной» конструкции для ускорения вычислений); одновременно выполняется контроль речевой продукции ЧО с целью исключения речевых ошибок типа оговорок, нечеткого произношения, ошибочных решений ЧО и пр.;

6) в случае успеха выполнения предыдущих четырех шагов ЧО санкционирует голосовой командой исполнение АМР заданного действия в реальной обстановке; далее переход к п. 7; в случае неуспеха выполняется дополнительное обучение АМР показом движения, формируются скриптовые команды и пополняется БЗ для «верхнего уровня управления» АМР; в этом случае производится возврат к п. 1 данной схемы;

7) АМР выдает (возможно, речевое) подтверждение приема команды на исполнение, производит действие и вновь подтверждает теперь уже завершение задания; затем АМР переводится в состояние ожидания очередной голосовой команды (и, возможно, принимает некоторое стандартное исходное положение в смысле конфигурации своих подвижных частей – манипуляторов);

8) ЧО имеет возможность запоминания успешной реализации и конечного результата в форме скрипта, если он ранее не был сформирован, что в дальнейшем служит основой модификации построения интерфейса с АМР.

Обоснование выбора программно-технических средств и постановки исследования для проверки работоспособности предлагаемой схемы построения интерфейса

Из литературы известно достаточно много коммерчески доступных решений для распознавания голосовых команд, а также известны отечественные разработки такого рода [7–10, 24–27, 44].

Одно из наиболее простых и доступных решений для проведения экспериментальных исследований – использование устройства Kinect и доступных библиотек и языков скриптов открытого программного обеспечения [19, 23, 41, 42, 45–47, 49, 51].

Типовая схема применения Kinect и пакета программ для распознавания команд в аудиосигнале может быть представлена диаграммой (рис. 1).

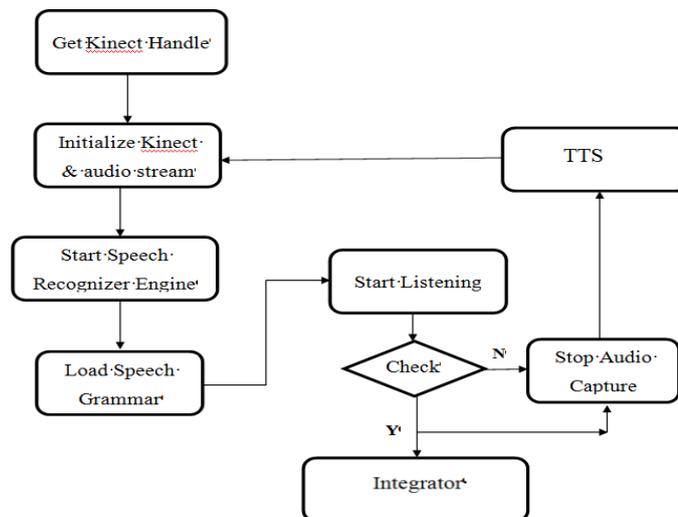


Рис. 1. Типовая схема аудиозахвата голосовых команд из аудиопотока с использованием Kinect и пакета программ распознавания речи [41, 45, 46]

В этой связи для экспериментальной проверки предлагаемого способа построения человеко-машинного интерфейса (*англ.*: Human Machine Interface – HMI) был выбран вариант построения голосового управления роботом в командном режиме с использованием изделия Кинект (Kinect) Microsoft Corporation. Программные интерфейсы описаны в составе фирменной документации [45].

Идея построения эксперимента и его дизайн в несколько упрощенном изложении заключается в том, что когда ЧО произносит команду, устройство Кинект должно позволить записать эту команду и передать ее в систему обработки речи, которая инициирует процесс распознавания этой команды. Если команда распознана, то система управления запускает заранее подготовленный скрипт, в соответствии с которым АМР выполняет заданное действие.

Здесь использована терминология программирования на языке сценариев. Скрипт (*англ.*: “script” – «сценарий») – компьютерная программа, представляющая собой последовательность инструкций для работы некоторого приложения (или нескольких приложений). Язык сценариев (*англ.*: “scripting language”) – высокоуровневый язык сценариев – кратких описаний действий, выполняемых системой. Сценарий – это программа, имеющая дело с готовыми программными компонентами.

Системы программирования для применения голосового интерфейса при управлении АМР: программная реализация скриптовых команд

В данном подразделе приводится краткое описание разработанной в ФГУ ФГЦ «НИИСИ РАН» информационной технологии, опирающейся на оригинальные разработки: систему 3D-визуализации “GLView” и систему распознавания голосовых команд с последующим их преобразованием в скриптовые команды (на основе применяемых в “GLView” программ).

Система визуализации “GLView” для систем виртуальной реальности была успешно реализована в ряде моделирующих комплексов для эргатических систем «космонавт–пилотируемый комплекс» и «космонавт–АМР» [3, 19–22].

Далее воспроизводятся некоторые сведения об этих разработках, необходимые для понимания предложенной методологии в целом.

В составе этой системы предусмотрены средства программирования, предназначенные для работы на языке сценариев. Идея использования скриптов для формирования последовательности команд для АМР представлена в работе [19].

Рассмотрим особенности технологии программирования, использующей скриптовые языки для формирования и изменения виртуальной сцены, которая включает динамические объекты, в данном случае АМР.

Система создания и выполнения скриптов при создании виртуального окружения и использовании технологии дополненной реальности

К числу важнейших составляющих в идеологии системы «GLView» относится работа со скриптовыми командами. Скриптовая команда представляет собой совокупность текстовой строки, задающей назначение и тип команды, а также связанных с ней данных произвольного формата и размера. Команды могут поступать как из текстовых конфигурационных файлов (скриптов), так и формироваться отдельными модулями для передачи ядру системы, либо другим модулям. Та-

кой язык позволяет реализовать изменение практически любых параметров виртуальной сцены с помощью универсального механизма. Кроме того, эта схема позволяет организовать эффективный обмен данными произвольного типа [20].

Работа со скриптовыми командами также относится к числу важнейших составляющих при управлении робототехническими системами.

В данном случае скриптовая команда представляет собой совокупность:

- 1) текстовой строки, задающей назначение и тип команды;
- 2) связанных с ней данных произвольного формата и размера.

Формат команды имеет вид: «**Command = data, data, ...**»,

где **Command** – задает назначение и тип команды,
а **data, data, ...** – набор связанных с ней данных.

Использованная для экспериментальной апробации система визуализации имеет широкий список поддерживаемых команд:

- системные команды – регулируют обслуживание общей очереди и поступающих блоков команд – задержка выполнения команд на заданное время, формирование отдельных блоков из команд, ждущих наступления определенных событий, сброс и генерация событий и т.д.
- команды работы с материалами – изменение параметров материала, назначение новых текстурных карт;
- команды управления узлами сцены – изменение текущей камеры и текущего объекта для управления; управление видимостью объектов, изменение положения, ориентации и масштаба объектов;
- команды работы с анимационными треками – запуск анимации в определенном диапазоне кадров, остановка анимации, переход к некоторому кадру, создание и удаление именованных анимационных треков с привязкой к определенным узлам сцены, задание флага зацикленного воспроизведения и скорости анимации и другие;
- команды конфигурирования управления от клавиатуры, мыши и джойстика;
- команды работы со звуком;
- команды работы с выводом изображения – конфигурирование параметров визуализации, задание эффектов постобработки, настройка портов вывода;
- команды записи и воспроизведения лог-файлов.

В задаче голосового управления наиболее востребованными и удобными оказываются команды последнего типа. С их помощью можно полностью записать движение АМР при выполнении операции как в случае управления с экзоскелета, так и в результате решения задачи обратной кинематики. Затем с помощью голосовой команды можно вызвать проигрывание записанной операции.

Лог-файлы реализованы в подсистеме визуализации виртуальных сцен и предназначены для хранения и записи всех параметров, необходимых в симуляторе – в них фиксируются положения и ориентации всех управляемых объектов, а также такие параметры, как флаги активности источников света, параметры виртуальных камер, систем частиц и других виртуальных объектов.

Для рассматриваемой задачи созданы два новых функциональных блока:

- а) VoiR (Voice Recognition), в котором в качестве параметра может быть записана произвольная фраза;
- б) Script, в котором в качестве параметра записано имя скрипта.

Работа первого блока заключается в том, что он вызывает систему распознавания речи и получает от нее фразу, которую система распознала в текущий момент

времени. Далее первый блок сравнивает эту фразу со своей фразой-параметром и, в случае совпадения, выдает управляющий сигнал "true" (=Y). Второй блок, получая на входе сигнал "true" (=Y), запускает скрипт, имя которого записано в его параметре и в соответствии с которым робот выполняет необходимые действия.

Система распознавания речи, использованная для экспериментов

В качестве системы распознавания речи в работе выбрана открытая кроссплатформенная система CMU Sphinx университета Карнеги-Меллон [40, 43].

Относящийся к открытому программному обеспечению (Open source) голосовой движок CMU Sphinx, разработанный американским университетом Карнеги-Меллон и активно поддерживаемый Массачусетским технологическим институтом и компанией Sun Microsystems, дает возможность адаптации звуковой модели для конкретного человека.

Конструкции и алгоритмы, используемые в CMU Sphinx, приведены в работах и на сайте этого программного обеспечения [28, 33, 40].

В кратком изложении можно перечислить следующие компоненты.

CMU Sphinx состоит из трех основных компонентов:

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

Акустическая модель представляет собой набор звуковых записей, разбитых на речевые отрезки. Для небольшого словаря можно самостоятельно создать акустическую базу, а также можно воспользоваться акустической базой проекта VoxForge.org, которая содержит более десяти часов надиктованных на русском языке записей.

Акустическая база включает несколько различных словарей, в том числе русский словарь с транскрипцией, и также предоставляет возможность составить собственный.

В инструментарий CMU Sphinx входят следующие программы и библиотеки:

1) Pocketsphinx – программа, которая принимает на вход произвольные акустические модели, грамматики и словари, а также звуковой поток (либо звуковой файл, либо сам берет поток с микрофона). На выходе получается распознанный текст.

2) Sphinxbase – библиотека, необходимая для работы Pocketsphinx.

3) Sphinx4 – библиотека для распознавания, написана на Java.

4) Sphinxtrain – программа для обучения акустических моделей.

Обратимся к описанию оригинальной системы (разработка НИИСИ РАН), предлагаемой к проведению экспериментов. Эта разработка построена по представленной выше типовой схеме аудиозахвата голосовых команд из аудиопотока.

Работа рассматриваемой системы распознавания заключается в том, что она прослушивает эфир, распознает произнесенные слова и записывает их текст в буфер. Если при произнесении фразы возникает пауза, система считает, что фраза закончена и посылает эту фразу на выход. Распознавание звука возможно как с микрофона, так и из звукового файла. Режим распознавания также указывается в качестве параметра.

На этапе работы приложения в основном цикле программы последовательно вызываются функции записи звука с микрофона и распознавания записанных фраз. В случае успешного распознавания возвращается текстовая строка, содержащая распознанную фразу.

Содержание экспериментальной проверки предлагаемой методической схемы и тестирования разработанных программно-аппаратных средств

Экспериментальная проверка была направлена на доказательство работоспособности системы дистанционного управления, включающая применение технологий распознавания речи и создания и выполнения скриптов.

Для тестирования был использован имитационно-тренажерный комплекс, включающий виртуальную модель антропоморфного робота SAR-401, модель интерьера космического модуля СО-1 (рис. 2), а также подсистемы расчета динамики и визуализации 3D-виртуальных сцен в масштабе реального времени.

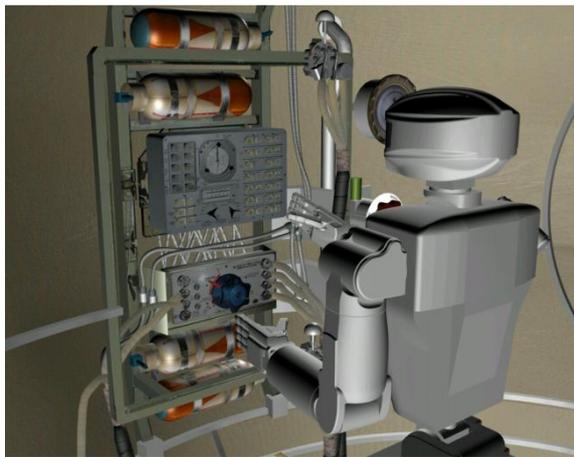


Рис. 2. Виртуальная модель антропоморфного робота, модель интерьера космического (виртуальная среда разработана средствами пакета GView, представлена модель робота в цветовой гамме)

В данной работе подготовлены лог-файлы для изменения роботом состояния интерьера космического модуля путем нажатия на соответствующие кнопки пульта управления.

Обсуждение полученных результатов в свете аналогичных разработок управления роботами посредством речевых команд

Проблема речевой коммуникации и управления мобильными роботами посредством голосовых и жестовых команд постоянно находится в фокусе внимания различных исследователей, и по данному направлению робототехники и систем искусственного интеллекта имеется обширная библиография.

Особенно много работ по управлению мобильными интеллектуальными роботами внутри помещений (indoors), что стимулируется большим количеством приложений в области разработки и применения сервисных роботов, в том числе, для задач пилотируемой космонавтики [10].

Общим признаком таких разработок является использование достаточно простых конструкций командного языка, рассчитанного на уверенное распознавание и простоту освоения пользователем.

Наиболее близким аналогом представленной разработки в отношении построения человеко-машинного интерфейса, на наш взгляд, является система интеллектуального управления на основе голосовых команд, описанная в работе [5].

В этой работе представлен подход к разработке симулятора робота, управляемого речевыми сигналами. Область применения робота:

- 1) ведение ориентирования и навигации внутри помещения для манипулирования объектами;
- 2) ответы на вопросы пользователя об их локализации.

Основными функциями робота являются: «найти», «взять», «положить», «переместить», «перейти» и т. п.

На рис. 3. представлена функциональная схема построения системы речевого управления мобильным роботом, которую можно рассматривать в качестве типичного варианта (воспроизводится из работы [5]).



Рис. 3. Функциональная схема типичного построения системы речевого управления роботом (воспроизводится из работы [5])

Представленная на рис. 3 система управления интеллектуальным мобильным роботом (ИМР) включает:

- 1) подсистему речевого ввода;
- 2) лингвистический процессор, транслирующий команду, выраженную на естественном языке, в формальное представление;
- 3) синтезатор речи, озвучивающий сообщения робота пользователю.

Фактически все эти компоненты представлены и в разработанной схеме построения человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) для управления АМР.

Это позволяет в обоих сравниваемых вариантах построения ЧМИ выполнять следующую цепочку взаимосвязанных шагов: «команда, произнесенная оператором, попадает на вход распознавателя речи, который преобразует ее в текст на

естественном языке; затем этот текст переводится лингвистическим процессором в последовательность представленных на формальном языке команд, которые подаются на вход подсистемы управления роботом. Если поданная команда требует ответа, то подсистемой исполнения команд будет сгенерирован соответствующий текст ответа на естественном языке. Этот ответ преобразуется синтезатором речи в звуковой и сообщается пользователю».

В обоих случаях система подачи голосовых команд действует по «замкнутому циклу», то есть после исполнения роботом одной команды и получения реакции на нее ЧО может подать следующую команду.

В сравниваемых разработках выявляются и некоторые отличия.

Для дальнейшего изложения существенно представление о «модели мира робота». Чтобы выполнить предписанные действия, робот должен получать информацию о состоянии «внешнего мира» и, соответственно, создавать его текущий образ как «модель реального мира» – в форме совокупности сведений о реальном мире, в котором функционирует робот.

В разработке ИМР подсистема («нижнего уровня») управления роботом выполняет требуемые действия, что может привести к изменению состояния «модели мира робота». Модель мира ИМР представлена информацией, необходимой для позиционирования самого робота и тех объектов, с которыми он может выполнять какие-то действия. Для этого необходима информация о помещениях, в которых могут размещаться объекты, и о самих объектах, отражающая пространственные характеристики. Кроме объектов и их геометрических характеристик вводятся различные отношения между ними. На основе такого рода семантических отношений удается обеспечить позиционирование ИМР, собрать сведения о позиционировании объектов до и после выполнения операторских схем в соответствии с поступлением речевых команд. В этом состоит смысл формализованного описания состояний, которое представлено на рис. 3. Все результаты изменения состояния (модели мира) ИМР отображаются на экране монитора визуализатором состояний, что позволяет наглядно демонстрировать пользователю результат выполнения голосовой команды.

Модель мира АМР в отношении задач позиционирования и навигации внутри замкнутых помещений (отсеков) может быть построена аналогичным образом, но с той существенной поправкой, что возможности передвижения мобильного АМР на орбитальной станции в невесомости будут определяться той системой точек фиксации (поручней и сословных по назначению конструктивных элементов), которая будет принята в дальнейшем. Скорее всего, это внесет коррекцию в систему контроля позиционирования по технологии «внешнего наблюдателя» с помощью СТЗ [31, 32]. Поэтому применительно к АМР сегодня правомерно говорить о таком построении модели мира АМР, при котором устанавливается соответствие между объектами воздействия, сформированными способом обучения показом движения и теми изменениями состояния бортовых систем и агрегатов пилотируемого комплекса, которые наступают вследствие выполнения плана работ (полетных операций). Очевидно, что сложность таких отношений не позволяет исключить человека из ключевых моментов принятия решений и контроля их исполнения.

Главная посылка состоит в том, что визуализация проявлений исполнительной (и «поведенческой») в целом активности АМР является для космонавта важнейшим средством контроля правильности человеко-машинного взаимодействия.

Заключение

Предложен новый методический подход для расширения возможностей управления антропоморфным роботом в рамках информационной технологии «обучения показом движения» и программный пакет для реализации человеко-машинного интерфейса посредством инициирования дистанционного управления с помощью голосовых команд.

Важной особенностью разработки является повышенное внимание к надежности действий ЧО при дистанционном управлении АМР. Речевой контур в данном случае позволяет не только использовать наиболее естественную для человека форму взаимодействия, но и сопровождается применением средств, повышающих наглядность, фактически выполняя визуализацию речевой команды в виде динамического 3D-образа. Сохранение принципа интерактивности при взаимодействии космонавта с АМР достигается применением технологий виртуальной и дополненной реальности.

Апробация предложенных методов и алгоритмов свидетельствует о перспективности их использования в качестве дополнительного голосового контура человеко-машинного взаимодействия для дистанционного управления антропоморфными роботами.

Существенно, что предложенные программно-аппаратные средства и методический подход в целом позволяют в дальнейшем рассчитывать на создание обучающих комплексов для практической подготовки космонавта к использованию различных типов человеко-машинного интерфейса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аверкин А.Н., Тарасов В.Б. Нечеткое отношение моделирования и его применение в психологии и искусственном интеллекте. – М.: ВЦ АН СССР, 1986. – 36 с.
- [2] Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: Учеб. пособие / Алферов Г.В., Кулаков Ф.М., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. – СПб.: «СОЛО», 2006. – 146 с.
- [3] Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов / Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 1. – 2013. – С. 42–46.
- [4] Многофазный метод и алгоритм измерения пространственных координат объектов для обучения сборочных роботов / А.И. Бурдыгин, Ф.М. Кулаков, А.И. Нечаев, С.Э. Чернакова // Труды СПИИРАН. – Вып. 1, т. 2. – СПб: СПИИРАН, 2002. – С. 132–145.
- [5] Загорюлько Ю.А. Моделирование робота, управляемого речевыми сигналами // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 5. – С. 98–102.
- [6] Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Пospelов Д.А. – М.: Наука, 1989.
- [7] Карпов А.А. Когнитивные исследования ассистивного многомодального интерфейса для бесконтактного человеко-машинного взаимодействия // Информатика и ее применения. – 2012. – Т. 6. – № 2. – С. 77–86.
- [8] Разработка компьютерной системы «говорящая голова» для аудиовизуального синтеза русской речи по тексту / Карпов А.А., Цирульник Л.И., Железны М. // Информационные технологии. – 2010. – № 8. – С. 13–18.
- [9] Карпов А.А. Ассистивные информационные технологии на основе аудиовизуальных речевых интерфейсов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 27. – С. 114–129.
- [10] Карпов А.А. 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.

- [11] Крючков Б.И., Усов В.М. Антропоцентрический подход в организации совместной деятельности космонавтов ПКК и робота-помощника андроидного типа // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 3(5). – С. 42–57.
- [12] Включение робота-ассистента в совместную с космонавтами деятельность методом «обучения показом движения» / Крючков Б.И., Кулаков Ф.М., Карпов А.А., Нечаев А.И., Усов В.М., Чернакова С.Э. // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – Вып. 2 (3). – С. 29–32.
- [13] 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.
- [14] Крючков Б.И., Усов В.М. Создание моделей виртуальной реальности как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником экипажа и как условие определения потенциальных областей его полезного применения // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Политехника-сервис, 2013. – С. 230–244.
- [15] Информационная технология добавления виртуального объекта в реальный мир. Ч. 1 / Кулаков Ф.М., Смирнов Е.Н., Липатов А.Е., Латыпов В.Н. // Труды СПИИРАН. – 2004. – Вып. 2. – Т. 1. – С. 236–256.
- [16] Информационная технология добавления виртуального объекта в реальный мир. Ч. 2 / Кулаков Ф.М., Смирнов Е.Н., Липатов А.Е., Латыпов В.Н. // Труды СПИИРАН. – 2005. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 223–248.
- [17] Кулаков Ф.М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Приложение к журналу «Информационные технологии». – № 10. – М.: Изд-во «Новые технологии», 2004. – 32 с.
- [18] Михайлюк М.В. Виртуальные панели управления в космических тренажерах // Наука и технологии в промышленности. – № 3–4. – 2014. – С. 36–39.
- [19] Михайлюк М.В., Мальцев А.В. Реализация эргономичного интерфейса управления виртуальной моделью антропоморфного робота с использованием Kinect // Программная инженерия. – № 10. – 2015. – С. 12–18.
- [20] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLVIEW» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник российской академии естественных наук. – 2011. – № 2. – С. 20–29.
- [21] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система визуализации "GLVIEW" для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4(9). – С. 66–72.
- [22] Михайлюк М.В., Брагин В.И. Технологии виртуальной реальности в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 2(7). – С. 82–93.
- [23] Нагапетян В.Э., Хачумов В.М. Комбинированная система бесконтактного управления роботизированными системами на основе речевых и жестовых команд // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2015. – № 1. – С. 57–64.
- [24] 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.
- [25] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Многомодальная система для бесконтактной работы с персональным компьютером // Информационно-управляющие системы. – Вып. 4. – 2006. – С. 33–35.
- [26] Ронжин А.Л., Карпов А.А. Проектирование интерактивных приложений с многомодальным интерфейсом // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 1 (21), Ч. 1. – С. 124–127.
- [27] Разработка многомодального информационного киоска / Ронжин А.Л., Карпов А.А., Леонтьева А.Б., Костюченко Б.Е. // Труды СПИИРАН. – 2007. – Вып. 5. – С. 227–245.

- [28] Савкова Д.Г., Бондаренко И.Ю. Опыт применения инструментальной системы Sphinx для решения задачи распознавания речевых команд управления компьютерными системами // Сборник материалов 3-й Всеукраинской научно-практической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг» ИУС КМ–2012. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 111–117.
- [29] Соколов С.М. Проблемы машинного зрения в робототехнике и автоматизации производства // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. – М.: URSS, 2004. – С. 343–373.
- [30] Суранова Д.А. Структура стенда для исследования человеко-машинного интерфейса на естественном языке // Известия Алтайского государственного университета. – Вып. № 1 (77). – Т. 2. – 2013. – С. 114–117.
- [31] Информационные технологии и мехатронные устройства для интеллектуальных медицинских систем / Тимофеев А.В., Чернакова С.Э., Нечаев А.И., Литвинов М.В. // Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 4. – С. 45–49.
- [32] Медицинские аспекты разработки систем человеко-машинного взаимодействия с использованием моделей виртуальной реальности для нейрохирургии / Тимофеев А.В., Чернакова С.Э., Литвинов М.В., Аничков А.Д., Полонский Ю.З., Козаченко А.В. // Труды СПИИРАН. – 2008. – Вып. 6. – С. 184–196.
- [33] Федяев О.И., Бакаленко В.С. Разработка речевого распознавателя на основе моделей языка в среде СМУ Sphinx // Сб. мат.: Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг – 2015 (ИУС и КМ – 2015) / Материалы Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 20–24 мая 2015. – Донецк, ДонНТУ, 2015. – С. 111–117.
- [34] 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.
- [35] Юсупов Р.М., Ронжин А.Л. От умных приборов к интеллектуальному пространству // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80, № 1. – С. 45–51.
- [36] Ющенко А.С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сб. тр. V Междунар. науч.-практич. конф. (Коломна, 28–30 мая 2009 г.). – М.: Физматлит, 2009. – Т. 1. – С. 97–108.
- [37] Argall, B. D.; Chernova, S.; Veloso, M.; and Browning, B. 2009. A survey of robot learning from demonstration. *Robotics and Autonomous Systems* 57(5):469–483.
- [38] Bengio, Y.; Courville, A.; and Vincent, P. 2013. Representation learning: A review and new perspectives. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 35(8):1798–1828.
- [39] Chernakova S.E., Kulakov F.M., Timofeev A.V., Litvinov M.V. Application of Information Technologies and Mechatronic Devices for Creation of Adaptive and Intellectual Medical Systems, in Proc. of 17-th Scientific and Technical Conference “Extremal Robotics”, St.Petersburg, April 2006, Russia.
- [40] CMUSphinx. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://cmusphinx.sourceforge.net/wiki/> (дата обращения: 10.07.2015).
- [41] Fardana A.R., Jain S., Jovancevic I., Suri Y., Morand C., Robertson N.M. Controlling a Mobile Robot with Natural Commands based on Voice and Gesture. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://home.eps.hw.ac.uk/~cgb7/readinggroup/papers/RobotCommandingByVoiceAndGesture.pdf> (дата обращения 13.02.2015).
- [42] Ing-Jr Ding, Chong-Min Ruan and Jia-Yi Shi. Operational control of the multimedia player of smart phones using a Kinect voice-sensing scheme. // 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2015).

- [43] Kai Fu Li, Hsiao-Wuen Hon. An overview of the Sphinx Speech Recognition Systems. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: ww.ri.cmu.edu/pub_files/pub2/lee_k_f_1990_1/lee_k_f_1990_1.pdf (дата обращения: 10.07.2015).
- [44] Karpov A., Ronzhin A. Information Enquiry Kiosk with Multimodal User Interface // Pattern Recognition and Image Analysis. 2009. vol. 19(3). pp. 546-558.
- [45] Kinect for Windows SDK 1.8 // Url: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx> (дата обращения: 10.07.2015).
- [46] Ma B., Xu W., Wang S. A Robot Control System Based on Gesture Recognition Using Kinect // Telkomnika. Indonesian Journal of Electrical Engineering. 2013. Vol.11, No 5. pp. 2605-2611. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://iaesjournal.com/online/index.php/TELKOMNIKA/article/view/2493> (дата обращения: 10.07.2015).
- [47] Oikonomidis I., Kyriazis N., Argyros A. Efficient model based 3D tracking of hand articulations using Kinect // In: Proceedings of the 22-nd British Machine Vision Conference. 2011. pp. 101.1-101.11.
- [48] Paulo Malheiros, Paulo Costa, Ant´onio Paulo Moreira and Jos´e Carlos Lopes "Real-time Teaching of Industrial Robots Using a Synchronised Stereoscopic Vision System" // ROBOTICA 2009 - 9th Conference on Mobile Robots and Competitions, 7th May, Castelo Branco, Portugal / Edited by P.J.S. Gonçalves, P.J.D. Torres, C.M.O. Alves. pp.41-45.
- [49] Philip D. Reiner, Arthur J. Duncan III, Russell Durham. Mobile Robot Control Using Voice Commands // [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.eng.auburn.edu/~tropical/courses/5530%202011C%20Robots%20Fall%2011/projects/project%20submissions/written11.pdf> (дата обращения 13.02.2015).
- [50] Schaal S. et al. Computational approaches to motor learning by imitation / Schaal S., Ijspeert A, Billard A. // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2003 Mar 29;358(1431):537-47.
- [51] Tashev, I. Kinect development kit: a toolkit for gesture- and speech based human-machine interaction. // IEEE Signal Processing Magazine, 2013. vol. 30, no. 5 , pp. 129–131.
- [52] Yezhou Yang, et al. Robot Learning Manipulation Action Plans by "Watching" Unconstrained Videos from the World Wide Web / Yezhou Yang, Yi Li, Cornelia Fermuller, Yiannis Aloimonos // AAAI Publications, Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/AAAI/AAAI15/paper/view/9286> (дата обращения: 10.07.2015).
- [53] Yusuke Maeda, Nanako Ishido, Haruka Kikuchi And Tamio Arai, "Teaching of Grasp / Graspless Manipulation for Industrial Robots by Human Demonstration", in Proc. of 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1523-1528, 2002.

УДК 629.786:004.896

**ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ-ПОМОЩНИКОВ ЭКИПАЖЕЙ
В ОТСЕКАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

В.Г. Сорокин, И.Г. Сохин

Канд. воен. наук, доцент В.Г. Сорокин; докт. техн. наук, доцент И.Г. Сохин
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

На основе анализа работ, выполняемых в ходе внутрикорабельной деятельности экипажа пилотируемого космического комплекса (ПКК) (на примере Международной космической станции), определяются направления и перечни задач профессиональной деятельности экипажа на борту ПКК, которые могут быть возложены на антропоморфных роботов-помощников экипажей перспективных космических комплексов.

Ключевые слова: антропоморфная робототехническая система, варианты технического облика антропоморфного робота, внутрикорабельная деятельность, задачи, пилотируемый космический комплекс, экипаж.

Feasible Application of Anthropomorphic Robotic Assistants for Crew Support Inside the Modules of Future Space Complexes. V.G. Sorokin, I.G. Sokhin

Fields of application and lists of tasks that can be assigned to the anthropomorphic robotic assistants designed to support crews of future space complexes were determined on the basis of the analysis of works that are currently performed by crews of the International Space Station in the course of intravehicular activity.

Keywords: anthropomorphic robotic system, technical configuration options, intravehicular activity, tasks, manned space complex, crew.

Введение

Анализ мировых тенденций развития пилотируемой космонавтики показывает, что стратегические перспективы этой отрасли человеческой деятельности связаны с обеспечением более эффективного использования низких околоземных орбит, освоением Луны и осуществлением межпланетных полетов (в первую очередь – к Марсу и ближайшим астероидам). В частности, рассматриваемые в ближайшей перспективе пилотируемые экспедиции на Луну, создание и использование окололунных и лунных баз, условия длительного пребывания космонавтов на поверхности Луны обуславливают появление целого ряда новых проблем (по сравнению с полетами на низкие околоземные орбиты), требуют новых подходов к принципам организации и обеспечения таких миссий [1]. Предполагается существенное усложнение деятельности экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов и увеличение объемов работ, связанных с техническим обслуживанием, выполнением трудоемких монтажно-восстановительных работ, рутинных и опасных операций.

В этой связи особый интерес представляет использование антропоморфных робототехнических систем для поддержки деятельности экипажей как при внутрикорабельной деятельности, так и в процессе внекорабельной деятельности, а в перспективе – и при напланетной деятельности [4]. Такие антропоморфные роботы-помощники экипажей (РПЭ) имеют некоторые преимущества по сравнению с другими робототехническими конструкциями. Антропоморфные РПЭ, подобные

человеку, могут быть приспособлены для выполнения ряда полетных операций, которые первоначально были спроектированы для космонавтов (например, выдача команд с различных пультов управления, операции со штатным бортовым инструментом и оборудованием, выполнение вспомогательных сервисных функций и др.). В частности, можно дистанционно управлять РПЭ в копирующем режиме. Для этого используются так называемые экзоскелеты, позволяющие снимать показатели движений человека-оператора и передавать их антропоморфному роботу [2]. В качестве человека-оператора, управляющего РПЭ, может быть член экипажа или оператор наземного Центра управления полетами.

Анализ работ, выполняемых экипажем Международной космической станции

Рассмотрение возможных областей применения роботов-помощников экипажей будем проводить на примере деятельности экипажа Международной космической станции. Такое допущение, по мнению авторов статьи, вполне уместно, поскольку за пятьдесят лет пилотируемых полетов в космос накоплен достаточно большой опыт выполнения космических операций в космосе.

Анализ работ, выполняемых в ходе внутрикорабельной деятельности (ВнуКД) экипажа Международной космической станции (МКС), показал, что разнообразие задач и функций космонавтов в космическом полете определяется широкой номенклатурой бортовых систем и научной аппаратуры, множеством классов эргатических процессов, которые должны реализовываться на борту пилотируемого космического комплекса (ПКК).

В классификационной структуре полетных операций (ПО) экипажа ПКК, принятой в Главной оперативной группе управления (ГОГУ) полетами, выделяются три вида полетных операций:

1-й – служебные операции, направленные на эксплуатацию служебных бортовых систем;

2-й – целевые операции – выполнение научных экспериментов и исследований;

3-й – бытовые операции, связанные с организацией нормальных условий жизнедеятельности космонавтов.

Типовое распределение рабочего времени российского члена экипажа МКС на выполнение различных задач программы полета представлено на рис. 1.

Из диаграммы следует, что на выполнение целевых операций – выполнение научно-прикладных исследований – космонавты затрачивают только около четверти своего рабочего времени. Поэтому резервы повышения эффективности использования существующих и перспективных ПКК следует искать в перераспределении времени рабочей зоны экипажа, снижая затраты времени на выполнение служебных и бытовых ПО.

Одним из возможных средств достижения этой цели может быть использование антропоморфных роботов-помощников, которые взяли бы на себя выполнение части служебных и бытовых ПО [5]. Выбор конкретных полетных операций (или их отдельных составных частей) будет определяться целесообразностью их роботизации и практической реализуемостью с требуемым качеством результата.

Большинство ПО выполняется экипажем на основании документированных полетных процедур, изложенных в бортовой документации в виде формализованных инструкций.

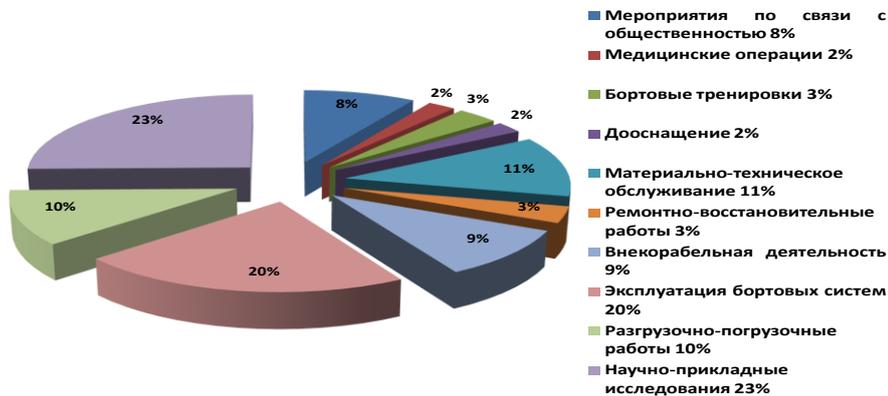


Рис. 1. Типовое распределение рабочего времени российского члена экипажа МКС

Полетная процедура (ППр) как установленный способ деятельности экипажа, разрабатывается по результатам наземного моделирования полетных операций и, по существу, является критерием правильности действий экипажа в ожидаемых, расчетных ситуациях.

Выполнение любой полетной процедуры состоит из нескольких этапов: подготовительные операции, реализация и заключительные операции. ППр имеют различный уровень регламентации. Одни хорошо формализованы и, в силу их частой повторяемости, критичности ко времени выполнения, осуществляются космонавтом стереотипно – на уровне навыка. Редко выполняемые работы проводятся с использованием бортовой документации. Третьи носят проблемный характер, например, нерасчетные нештатные ситуации (НшС), и требуют от экипажа творческого применения приобретенных знаний, навыков и умений (ЗНУ).

Таким образом, в зависимости от типа ПО и условий деятельности, определяемых факторами сложности конкретной ситуации, возможны три уровня поведения космонавтов – поведение, основанное, соответственно, на навыках, правилах и знаниях. Каждый тип поведения задает структуру типовых психологических функций космонавтов, общих для всех ПО, и определяет требования к знаниям, навыкам и умениям космонавтов, необходимым для реализации этих функций.

Подобное представление деятельности космонавтов дает основание для выбора полетных операций и отдельных операторских функций, подлежащих роботизации антропоморфными робототехническими системами космического назначения (АРТС КН) и выбора режима их применения.

Обоснование задач внутрикорабельной деятельности экипажа МКС, которые могут быть возложены на антропоморфных роботов-помощников

На современном уровне развития интеллектуальных АРТС в автономном (полностью автоматическом) режиме целесообразно роботизировать достаточно простые операторские функции космонавтов, основанные на навыках. К ним относятся, главным образом, простые дискретные исполнительные действия и часть непре-

рывных, например, монтаж/демонтаж, перенос грузов, а также некоторые функции по обработке информации. В копирующем режиме могут выполняться более сложные операторские функции космонавтов, основанные на использовании правил и знаний, т.к. роботом в этом случае управляет квалифицированный оператор. Ограничением для применения копирующего режима являются манипуляторные возможности антропоморфного робота [6].

Использование АРТС в качестве помощника экипажа позволяет повысить производительность труда космонавтов за счет передачи части функций антропоморфному роботу. Однако достаточно обоснованного решения по области применения АРТС в процессе пилотируемых космических полетов в настоящее время еще не существует. Четкие границы области применения АРТС определить сложно. Наиболее предпочтительно искать задачи, которые наиболее целесообразно отдать АРТС, исходя из имеющихся и прогнозируемых возможностей.

Объективная оценка эффективности применения АРТС КН возможна на основе формирования целостной системы показателей и критериев. Вместе с тем, трудность состоит в выделении показателей и критериев – в условиях недостаточного количества фактических данных.

Эффективность применения АРТС КН характеризует связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Она позволяет оценить различные «траектории» достижения результата с учетом затраченных ресурсов (включая наземные и бортовые средства и персонал) [2].

Вероятно, можно говорить как о локальной, так и интегральной эффективности выполнения полетных операций с помощью АРТС КН. При отсутствии фактических данных о применении АРТС КН наибольшую сложность представляет оценка результатов (исхода) выполнения полетных операций. К числу основных требований к показателям исхода полетной операции относится полнота ее выполнения. Суть этого требования заключается в том, что показатель исхода полетной операции должен отражать желательные (целевые) и нежелательные (побочные) последствия выполнения полетной операции по показателям результативности, ресурсоемкости и оперативности.

На начальном этапе исследований для выбора предпочтительных работ, полетных операций и функций экипажа для их роботизации с помощью АРТС целесообразно использовать упрощенную систему критериев и качественных (ранговых) показателей необходимости (целесообразности) и возможности (реализуемости) выполнения полетных операций АРТС. Предполагаем, что предпочтительные для роботизации полетные операции должны располагаться в области пересечения указанных критериев (рис. 2).



Рис. 2. Необходимость и возможность выполнения АРТС полетных операций

Область пересечения в этом случае будет заключать в себя полетные операции и функции космонавтов, для которых должно выполняться более жесткое логическое условие: необходимость и возможность.

В данном случае с необходимостью (необходимым условием) сопоставляется возможность (достаточное условие). Указанное выше логическое условие является «логическим фильтром», через который следует «пропустить» полетные операции и функции космонавтов. Более тонким логическим фильтром служат условные факторы, влияющие как на возможность, так и на необходимость, а также и на качество АРТС. Отсутствие или наличие условных факторов будет влиять на расширение и (или) сужение области возможности и необходимости выполнения полетных операций и работ АРТС.

Необходимость выполнения операций АРТС может быть вызвана такими причинами, как [1]:

- срочность выполнения ПО;
- наличие признаков, свидетельствующих о возможности возникновения опасности для космонавта;
- острая потребность разгрузки космонавтов от ряда полетных операций и оказания помощи экипажу в процессе деятельности;
- рутинность многократного повторения однотипных, простых полетных операций, их цикличность;
- более высокая продуктивность функционирования робота при выполнении простых и программируемых полетных операций;
- потребность высвобождения космонавта для выполнения других срочных работ;
- физиологические и технические ограничения в работе космонавтов.

Возможность выполнения операций АРТС во многом зависит также от [1]:

- степени их детерминированности;
- реального уровня функциональности антропоморфного робота;
- способности робота к навигации и перемещению во внутреннем объеме ПКК;
- технических характеристик системы;
- физических усилий, которые способен развивать антропоморфный робот;
- уровня функциональности системы;
- наличия соответствующего инструмента, адаптированного под систему;
- отсутствия ограничений, характерных для деятельности космонавта.

Например, АРТС необходимо применять для выполнения простых сборочных ручных операций, требующих высокой точности и аккуратности. Это может не только повысить качество сборки и производительность труда, но и разгрузить космонавта от выполнения части рутинной работы. Сборка простейших узлов, в состав которых входит небольшое количество элементов, может выполняться антропоморфным роботом на сборочной позиции самостоятельно. Чем больше детерминированность сборочных и монтажных операций, тем легче полетные операции запрограммировать и выполнять их в супервизорном режиме.

При обосновании задач, возлагаемых на РПЭ, рассматривались следующие варианты его технического облика, полученные на основе анализа возможных сценариев его применения.

Вариант 1. «Стационарный вариант робота, находящегося в припаркованном положении и управляемого оператором только в копирующем режиме» (рис. 3).

Этот вариант РПЭ может также использоваться под управлением оператора ЦУПа в интерактивном копирующем режиме.

Вариант 2. «Стационарный вариант робота со слабым искусственным интеллектом, находящегося в припаркованном положении и способного выполнять часть операций в автоматическом режиме» (рис. 4).

Этот вариант РПЭ может использоваться как в автоматическом режиме, так и в интерактивном копирующем режиме под управлением оператора ЦУПа или космонавта с борта ПКК.

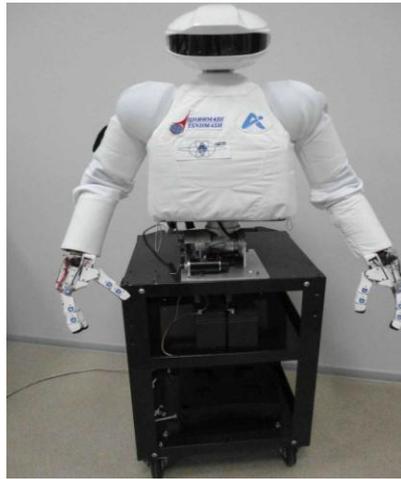


Рис. 3. Стационарный вариант робота, находящегося в припаркованном положении и управляемого оператором только в копирующем режиме

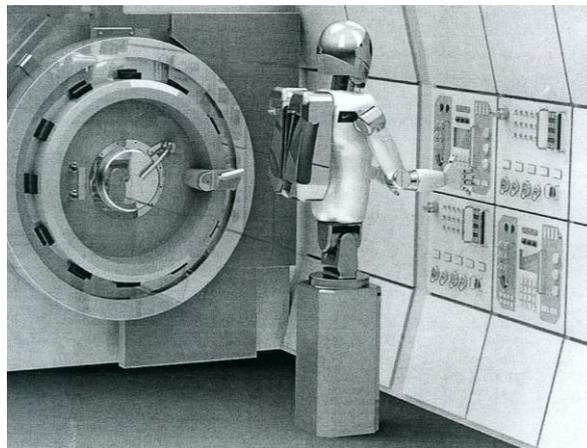


Рис. 4. Стационарный вариант робота со слабым искусственным интеллектом, находящегося в припаркованном положении и способного выполнять часть операций в автоматическом режиме

Вариант 3. «Мобильный робот со слабым искусственным интеллектом» (рис. 5).

Этот вариант РПЭ может использоваться при реализации как в автоматическом режиме, так и в интерактивном копирующем режиме управления оператором ЦУПа или космонавтом с борта ПКК. В любом из этих режимов должна быть обеспечена способность робота самостоятельно передвигаться по заданному оператором маршруту внутри модулей станции.



Рис. 5. Мобильный робот со слабым искусственным интеллектом

Вариант 4. «Мобильный робот с развитым искусственным интеллектом».

Этот вариант РПЭ может использоваться в автономном (полностью автоматическом) режиме с обеспечением способности робота самостоятельно передвигаться внутри модулей станции.

Использование качественной системы критериев и показателей необходимости и возможности выполнения полетных операций АРТС в комплексе с рассматриваемыми вариантами технического облика АРТС позволило определить задачи профессиональной внутрикорабельной деятельности экипажа на борту МКС, которые могут быть возложены на АРТС.

1. Техническое обслуживание бортовых систем и аппаратуры.

1.1. Плановые рутинные операции:

- операции профилактического технического обслуживания комплекса систем обеспечения жизнедеятельности;
- регулярные бытовые операции, связанные с обеспечением нормальных условий жизнедеятельности космонавтов;
- выдача разовых команд на включение/отключение аппаратуры в запланированное время (в части систем, не влияющих на безопасность полета);
- поддержание базы данных системы управления инвентаризацией, аудит ее соответствия реальному размещению предметов на ПКК;
- разгрузочно-погрузочные работы, связанные с обслуживанием транспортных грузовых кораблей.

1.2. Внеплановые операции, выполняемые дистанционно с помощью АРТС:

- дистанционная инспекция аварийных модулей ПКК;

- поиск зон возгорания, их локализация, обесточивание и тушение с помощью огнетушителей;
- дистанционное выполнение ремонтно-восстановительных работ в аварийных модулях ПКК;
- дистанционное выполнение операций консервации модулей в случае экстренного аварийного покидания станции экипажем;
- операции поддержания работоспособности бортовых систем ПКК в период их беспилотного функционирования.

2. Поддержка внутрикорабельной деятельности экипажа ПКК.

2.1. Операционная поддержка (функция «третьей руки»):

- подача инструмента, оборудования;
- поддержка инструмента, оборудования;
- подсветка рабочей зоны;
- фото- и видеорегистрация работ, выполняемых космонавтом, с представлением отчета для последующей передачи в ЦУП в запланированное время;
- регистрация речевой информации космонавта (результаты выполнения работ, комментарии) для последующей передачи в ЦУП в запланированное время.

2.2. Информационная поддержка:

- отслеживание суточной циклограммы работ, напоминание космонавтам о наступлении времени событий, запланированных в суточном плане работ;
- голосовое сопровождение операций в соответствии с бортовой документацией;
- выдача по запросам космонавта справочной информации (текст, аудио, фото, видео) о бортовых системах, аппаратуре, местах размещения оборудования из базы данных системы управления инвентаризацией;
- обеспечение интеллектуальным интерфейсом между космонавтом и бортовыми системами ПКК с использованием телеметрической информации;
- предупреждение о возникновении нештатных ситуаций при выходе критических параметров за допустимые пределы.

2.3. Психологическая поддержка:

- диагностика психофизиологического состояния космонавта;
- измерение медицинских параметров космонавта (ЧСС, артериальное давление и др.);
- коррекция психофизиологического состояния космонавта;
- удовлетворение потребностей космонавта во времяпрепровождении в личное свободное время.

Данный перечень задач, возлагаемых на антропоморфных роботов-помощников экипажей, может рассматриваться как первоначальный вариант, который должен уточняться и расширяться по мере продвижения проектов перспективных космических экспедиций в дальний космос.

Реализация рассмотренных операций на борту ПКК с помощью АРТС должна осуществляться последовательно, с постепенным наращиванием возможностей РПЭ по мере их летной отработки.

Заключение

Анализ структуры и содержания профессиональной деятельности экипажа в отсеках МКС показывает, что значимая часть полетных операций может быть выполнена с помощью АРТС. Передача ряда функций экипажа роботу-

помощнику позволит освободить космонавтов от ряда рутинных операций и обеспечить их дополнительным временем на выполнение научных экспериментов. В ряде нештатных и аварийных ситуаций АРТС также способна осуществлять поддержку экипажей [3]. В интересах перспективных ПКК целесообразно расширить наземную и летную отработку РПЭ. В качестве новых задач для летной отработки полетных операций могут быть рассмотрены операции, предложенные в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Базовые подходы к подготовке экипажей лунных экспедиций / Сосюрка Ю.Б., Долгов П.П., Каспранский Р.Р. // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(8). – 2013. – С. 51–60.
- [2] Перспективы создания антропоморфных робототехнических систем для работы в космосе / Богданов А.А., Кутлубаев И.М., Сычков В.Б. // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(3). – 2012. – С. 78–84.
- [3] Планирование действий робота в экстремальных ситуациях на основе оценки поведенческих признаков / Ким Н.В., Бодунков Н.Е., Лебедев А.В. // Робототехника и техническая кибернетика. – 1(2). – 2014.
- [4] Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М. // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 32.
- [5] Включение робота-ассистента в совместную с космонавтами деятельность методом «обучения показом движения» / Крючков Б.И., Кулаков Ф.М., Карпов А.А., Нечаев А.И., Усов В.М., Чернакова С.Э. // Робототехника и техническая кибернетика. – № 2(3). – 2014.
- [6] Крючков Б.И., Усов В.М. Антропоцентрический подход в организации совместной деятельности космонавтов ПКК и робота-помощника андроида типа // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(5). – 2012. – С. 42–57.

УДК 621.865.8:004.5

**МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТНЫМ УСТРОЙСТВОМ
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
ДВИЖЕНИЙ РУКИ ПО БИОСИГНАЛАМ
СО СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ РУК ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, А.А. Крюкова, А.Н. Суханов,
Б.И. Крючков, В.М. Усов

Докт. техн. наук, профессор И.Л. Ермолов (ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»)
Канд. техн. наук М.М. Князьков; А.А. Крюкова (ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН)
А.Н. Суханов (ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»)
Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Выполнено исследование человеко-машинного интерфейса при использовании устройства управления типа экзоскелет для рук человека-оператора (ЧО). Для повышения точности управления предложено техническое решение, позволяющее экзоскелетному устройству определить тип возмущающего воздействия с помощью неинвазивной сенсорной системы регистрации и обработки электрофизиологических показателей, в частности, электромиограммы (ЭМГ) ЧО. Разработан программно-аппаратный комплекс для сопряжения аппаратуры регистрации физиологических функций с робототехнической частью разработанной системы для реализации обратной связи по силомоментному контуру и предложены алгоритмы выделения полезного сигнала при регистрации ЭМГ. Результаты проведенных экспериментов показывают перспективность разработанного метода управления для мехатронного привода модуля руки экзоскелета в устранении ошибки позиционирования в условиях внешнего силомоментного воздействия.

Ключевые слова: экзоскелет, человеко-машинная система, человеко-машинный интерфейс, электромиография, неинвазивные сенсорные системы, многозвенные мехатронные системы.

**Method of Controlling an Exoskeleton Device Using the System
of Recognition of Arm Movements on basis of Biosignals from the Skeletal
Muscles of a Human Operator's Arms. I.L. Ermolov, M.M. Knyaz'kov,
A.A. Kryukova, A.N. Sukhanov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov**

The study of a human-machine interface when using the exoskeleton-type control unit for the arms of a human operator (HO) is considered. To improve accuracy of control, it is proposed a technical solution which allows an exoskeleton device to determine the type of disturbance using a non-invasive sensory system of recording and processing electrophysiological data, particularly, electromyogram (EMG). The authors developed the soft/hardware complex for interfacing equipment of recording physiological functions with the robotic component of the developed system on purpose to ensure feedback via the force-torque loop and propose the algorithms of selecting the wanted signals when recording EMG. The experimental results demonstrate that the developed control technique for the mechatronic actuator of an exoskeleton's arm module has good application prospects in eliminating the positioning errors under external force-torque effects.

Keywords: exoskeleton, human-machine system, human-machine interface, electromyography, non-invasive sensory systems, multilink mechatronic systems.

Введение

Растущая сложность организации современных робототехнических систем ставит новые проблемы с точки зрения управления движением этих систем в недетерминированной среде. Одним из перспективных направлений в робототехнике является разработка экзоскелетных устройств. Данные устройства относятся к человеко-машинным системам, применяемым для расширения функциональных возможностей человека. Взаимодействие человека и экзоскелета определяет качество функционирования таких систем. Современные экзоскелеты повторяют биомеханику человека и применяются для увеличения его мускульной активности.

Современные разработки экзоскелетов верхних и нижних конечностей человека ведутся в различных направлениях и зависят от конкретной решаемой задачи. Целью реабилитационных экзоскелетных устройств является восстановление двигательных функций конечностей человека. Такие устройства предоставляют возможность движения конечности по заданной программе в режиме мышечных тренировок или пассивного выполнения движения парализованной конечностью за счет манипулирования объектами экзоскелетом. Экзоскелеты, предназначенные для разгрузки, должны обеспечивать распределение нагрузки при ходьбе или поднятии тяжестей на элементы конструкции. Экзоскелеты для работы с объектами виртуальной реальности разрабатываются с целью получения возможности ощутить эти объекты и воздействовать на них.

Таким образом, создание экзоскелетного устройства, а также системы управления с учетом взаимодействия человека и робототехнической системы становится одной из актуальных задач современной робототехники и разработки новых типов человеко-машинного интерфейса.

На данный момент в существующих разработках экзоскелетов есть ряд нерешенных задач, например не учитывается физическое утомление человека, возникающее при управлении роботом в течение определенного времени. Утомление, в свою очередь, приводит к снижению точности выполнения двигательных актов, а также к появлению мышечного тремора. Вследствие этого эффективность применения экзоскелета уменьшается и погрешность позиционирования со временем будет возрастать. Таким образом, если в процессе проектирования системы управления для экзоскелетных устройств не учитывается фактор взаимовлияния оператора как биологической системы и конструкции экзоскелета как электромеханической системы, то создаются условия возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором.

Перспектива использования экзоскелета в космической области обусловлена необходимостью учета хорошо известных данных гравитационной физиологии, в частности, многократно описанных эффектов, связанных со снижением нагрузки на конечности космонавтов в невесомости, нарушением сенсомоторной координации и уменьшением активности позно-тонической мускулатуры. Снижение мышечной силы и мышечного тонуса, атрофические изменения в антигравитационной мускулатуре у космонавтов на этапе послеполетной реабилитации, прибывших на Землю после длительного нахождения в условиях сниженной гравитации, также являются неблагоприятными факторами для выполнения управления в остром периоде адаптации к земным условиям. Аналогичные задачи для повышения точности управления требуется решать в условиях действия перегрузок, которые космонавт испытывает при старте и возвращении космического аппарата. Применение экзоскелетных устройств также и при погрузо-разгрузочных работах будет иметь большую значимость для строительства лунной базы в условиях из-

мененной гравитации. Близкие по смыслу задачи возникают при использовании экзоскелетов для транспортировки пострадавших и при разборе завалов при ЧС.

Еще одной перспективной областью использования рассматриваемых экзоскелетных устройств с предлагаемым типом управления может являться реабилитация пациентов посредством физических упражнений в рамках реабилитационных технологий механотерапии, разработанных для конкретного пациента с учетом биологической обратной связи.

Математическая модель приводной системы

Рассмотрим двигатель постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением (рис. 1). Описание его математической модели строится на основании законов Кирхгофа для электрической составляющей [1] и закона Ньютона для механической составляющей. Подача напряжения $U_{яi}$ на обмотку ротора с сопротивлением $R_{яi}$ и индуктивностью $L_{яi}$ приводит к появлению тока $I_{яi}$ в цепи якоря, что в свою очередь создает электромагнитный момент $M_{двi}$ при нахождении ротора в магнитном поле, являющийся следствием возникновения ЭДС $E_{яi}$, где i – номер двигателя.

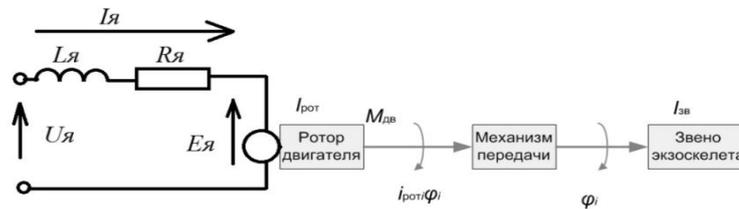


Рис. 1. Электромеханическая система ДПТ

Уравнение движения для такой системы будет описываться следующим выражением [2]:

$$Q = M(q)\ddot{q}. \tag{1}$$

Здесь симметрическая матрица инерции M будет равна сумме тензоров инерции ротора двигателя и приводимого в движение звена экзоскелета. Вектор обобщенных сил Q в данном случае определяется как $M_{двi}i_{ротi}$. При этом напряжение питания двигателя будет определяться как:

$$U_{яi} = L_i \frac{dI_{яi}}{dt} + R_{яi}I_{яi} + k_{Ei}i_{ротi}\dot{\varphi}_i, \tag{2}$$

где k_{Ei} – электрическая постоянная двигателя, $\dot{\varphi}_i$ – скорость вращения звена экзоскелета, $i_{ротi}$ – передаточное отношение редуктора.

При введении характерного времени процесса T , которое характеризует длительность процесса наблюдения за динамикой системы, можно привести уравнение (2) к следующему виду:

$$U_{яi}k_{Ei}i_{ротi} = \frac{L_iL_{\Sigma}}{T^3} \frac{d^3\varphi_i}{dt'^3} + \frac{R_{яi}L_{\Sigma}}{T^2} \frac{d^2\varphi_i}{dt'^2} + \frac{k_{Ei}^2i_{ротi}^2}{T} \frac{d\varphi_i}{dt'}. \tag{3}$$

Здесь переменная $t' = \frac{t}{T}$, I_{Σ} – суммарный момент инерции ротора двигателя и звена экзоскелета. Обозначим $a = \frac{L_i I_{\Sigma}}{T^3}$, $b = \frac{R_{яi} I_{\Sigma}}{T^2}$, $c = \frac{k_{Ei}^2 i_{порi}^2}{T}$. Размерность данных коэффициентов соответствует размерности левой части: $\frac{\text{кг}^2 \cdot \text{м}^4}{\text{А}^2 \cdot \text{с}^5}$.

Такая система (3) называется сингулярно возмущенной, то есть даже малые погрешности системы управления при формировании управляющего воздействия и относительно малые возмущающие внешние воздействия могут привести к значительному рассогласованию между реальным и расчетным движением звеньев экзоскелета. Традиционно управление в таких системах пытаются реализовать с учетом малости параметра a . То есть при дальнейших расчетах этим параметром пренебрегают, если $a \ll b$, или:

$$\frac{a}{b} = \frac{L_i}{R_{яi} T} \ll 1 \quad \text{или} \quad \frac{L_i}{R_{яi}} = T_{\text{э}} \ll T, \quad (4)$$

где $T_{\text{э}}$ – электромагнитная постоянная времени,

$$\frac{b}{c} = \frac{R_{яi} I_{\Sigma}}{k_{Ei}^2 i_{порi}^2 T} \ll 1 \quad \text{или} \quad \frac{R_{яi} I_{\Sigma}}{k_{Ei}^2 i_{порi}^2} = T_{\text{м}} \ll T, \quad (5)$$

где $T_{\text{м}}$ – электромеханическая постоянная времени.

Однако если не пренебрегать параметром a в дифференциальном уравнении (3), то традиционный подход к управлению, зависящий от положения, скорости и времени, не всегда может быть применен для осуществления управления с заданными качественными параметрами. В таком случае, для уменьшения влияния на систему действующих возмущений решают задачу стабилизации сингулярно возмущенных систем при помощи сил, зависящих от ускорения. Такой подход был рассмотрен в работах Жечева М.М. [3–5], который проанализировал задачу стабилизации сингулярно возмущенных систем и пришел к выводу о том, что формирование стабилизирующего управления должно осуществляться в соответствии с дифференциальной зависимостью данного управления от ускорения. Таким образом, выбор соответствующих параметров в управлении не только обеспечивает асимптотическую устойчивость тривиального решения, но также позволяет значительно снизить влияние постоянно действующих возмущений [6].

Обычно в технических системах непосредственное измерение ускорения производится довольно сложными техническими системами, использующими двойное интегрирование по времени показаний угловых отклонений звеньев, что занимает значительное время и приводит к существенным задержкам. Поэтому для управления используют информацию об изменении тока, протекающего в цепи якоря и скорости вращения ротора. В таком случае рассматривают следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} U_{яi} - k_{Ei} \dot{\varphi}_{пор} = L_i \frac{di_{яi}}{dt} + R_{яi} i_{яi} \\ I_{порi} \frac{d\varphi_{пор}}{dt} = k_{Mi} i_{яi} - M_{вн} \\ \frac{d\varphi_{пор}}{dt} = \dot{\varphi}_{пор} \end{cases} \quad (6)$$

Здесь k_{Mi} – механическая константа.

Для анализа процессов с помощью ЭВМ более удобно использовать структурное представление математической модели электромеханического привода. Для этого преобразуем полученную систему линейных дифференциальных уравнений по Лапласу при нулевых начальных условиях. В результате получится система алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} U_{яi}(s) - k_{Ei}\dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s) = L_i s I_{яi}(s) + R_{яi} I_{яi}(s) \\ I_{\text{ротор}} s \dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s) = k_{Mi} I_{яi}(s) - M_{вн}(s) \\ s \varphi_{\text{ротор}}(s) = \dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s) \end{cases} \quad (7)$$

Здесь s – переменная Лапласа, а величины $I_{яi}(s), U_{яi}(s), \dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s), M_{вн}(s)$ – изображения по Лапласу переменных $I_{яi}, U_{яi}, \dot{\varphi}_{\text{ротор}}, M_{вн}$ соответственно.

Из уравнения (7) можно выразить ток в обмотках якоря и скорость вращения ротора:

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s) = \frac{1}{I_{\text{ротор}} s} (k_{Mi} I_{яi}(s) - M_{вн}(s)) \\ I_{яi}(s) = \frac{1}{R_{яi}(T_e s + 1)} (U_{яi}(s) - k_{Ei} \dot{\varphi}_{\text{ротор}}(s)) \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, схему управления можно представить в виде блок-схемы, отражающей процесс, описанный уравнениями (8).

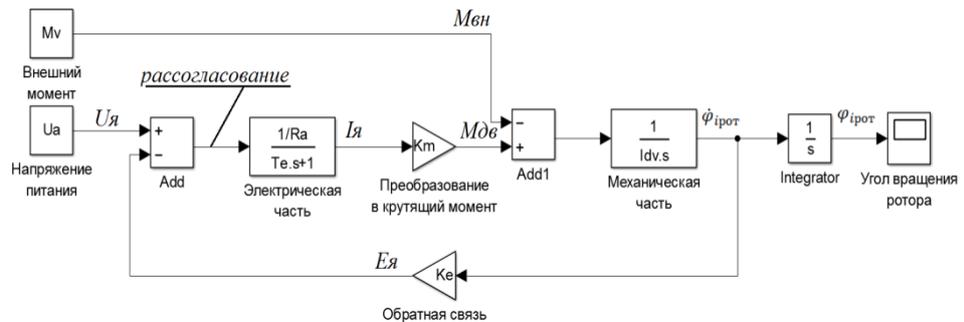


Рис. 2. Структурная схема управления коллекторным ДПТ

Представленная на рис. 2 схема наглядно показывает, как происходит формирование текущей скорости вращения ротора и как при этом учитывается влияние внешнего момента. Здесь R_a – электрическое сопротивление обмотки ротора двигателя, T_e – электрическая постоянная времени двигателя, K_e – электрическая постоянная двигателя, K_t – механическая постоянная двигателя, $M_{дв}$ – момент, развиваемый двигателем, $M_v = M_{вн}$ – момент внешних сил, U_a – напряжение питания двигателя, I_{dv} – момент инерции двигателя, $I_{я}$ – ток, протекающий в обмотке ротора двигателя, s – переменная Лапласа, $\dot{\varphi}_{\text{ротор}}$ – скорость вращения вала двигателя, $\varphi_{\text{ротор}}$ – угол отклонения вала двигателя при вращении. То есть существует однозначная связь между изменением угла вращения ротора при постоянном

внешнем моменте и изменением напряжения на обмотках ротора при нулевых начальных условиях. Если внешний момент не является постоянным, но при этом необходимо иметь постоянную скорость вращения, то следует изменять напряжение на обмотках ротора соответствующим образом.

Методы и эксперименты

Учитывая особенности восприятия ЧО окружающей среды и характер взаимодействия с объектами в этой среде, предпочтительно использовать следящую систему, контролирующую скорость перемещения звеньев экзоскелета, а значит и скорость вращения роторов электродвигателей, приводящих в движение указанные звенья, а также отслеживание текущего положения роторов. Управление вращением роторов происходит поддержанием определенного для текущей скорости и нагрузки напряжения. Таким образом, добавляя к текущему значению питания напряжение или снижая его, можно, в итоге, регулировать скорость вращения звеньев, тогда как формирование основного напряжения на обмотках возбуждения ротора будет зависеть от текущего значения положения этого ротора.

Предлагаемый метод управления экзоскелетным устройством строится на поддержании текущей скорости вращения роторов в сочленениях конструкции и изменении ее путем воздействия на напряжение питания обмоток роторов электродвигателей некоторым добавочным напряжением, формируемым и контролируемым самим ЧО. При этом формирование данного добавочного напряжения происходит благодаря неинвазивному способу получения отведенного потенциала с задействованных для построения движения мышц ЧО. Визуально-тактильный контроль за изменением скорости движения элементов конструкции при этом позволит ЧО контролировать и корректировать мышечную активность.

Для формирования добавочного напряжения для одного привода необходима обработанная информация об отведенном потенциале с задействованных мышц-антагонистов конечности ЧО, приводящих в движение экзоскелет. Обработка данной информации должна осуществляться с достаточно большой частотой, чтобы снизить задержку сигнала и тем самым улучшить плавность перемещения элементов конструкции экзоскелетного устройства.

Электрический сигнал, отведенный от группы мышц (при записи ЭМГ), как правило, обладает малой амплитудой. Это, в свою очередь, требует повторного измерения сигнала и последующей обработки с высокой частотой. Для подавления общих для электродов сигналов необходим дифференциальный усилитель. По существу, дифференциальный усилитель вычитает потенциал на одном электроде из значения потенциала другого электрода, а затем усиливает разницу. Сигналы, общие для обоих электродов, например, от источников питания и электромагнитных устройств, а также ЭМГ-сигналы от других групп мышц подавляются. Для повышения точности измерений потенциала действия мышцы неинвазивными электродами, последние должны быть надежно зафиксированы на коже человека. Как правило, оцифровкой аналогового сигнала с электродов занимается аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). После преобразования сигнал обрабатывается соответственно программе, заложенной в микропроцессор контроллера. Существует также необходимость в наличии оперативной памяти для расчетов в режиме реального времени и постоянной памяти для хранения данных. Обработка сигналов в реальном времени ограничена скоростью дискретизации и емкостью хранения данных.

Потенциал действия, отведенный от группы мышц, индивидуален. К тому же, с течением времени он может меняться и у одного ЧО, однако общие черты, характерные сокращениям мускульных групп одного типа, остаются. На амплитуду ЭМГ-сигнала влияет множество факторов, включая возрастные, психоэмоциональные и поведенческие. Из этого следует, что при сравнении амплитуды нескольких измерений необходима нормализация, то есть сигнал биопотенциала преобразуется в масштабе, который является общим для всех случаев измерений. Обычно амплитуда сигнала соотносится с силой или крутящим моментом. В упомянутой ранее методике бинарного определения мышечной активности сигнал ЭМГ соотносят с максимальным сокращением мышечного волокна, заранее определяя некий уровень переключения управления приводными элементами экзоскелетного устройства. Более подробную информацию о нормализации отведенного потенциала действия можно найти в работах Винкеля [7], Матиассена [8], Гулишавили [9] и Мерлетти [9, 10].

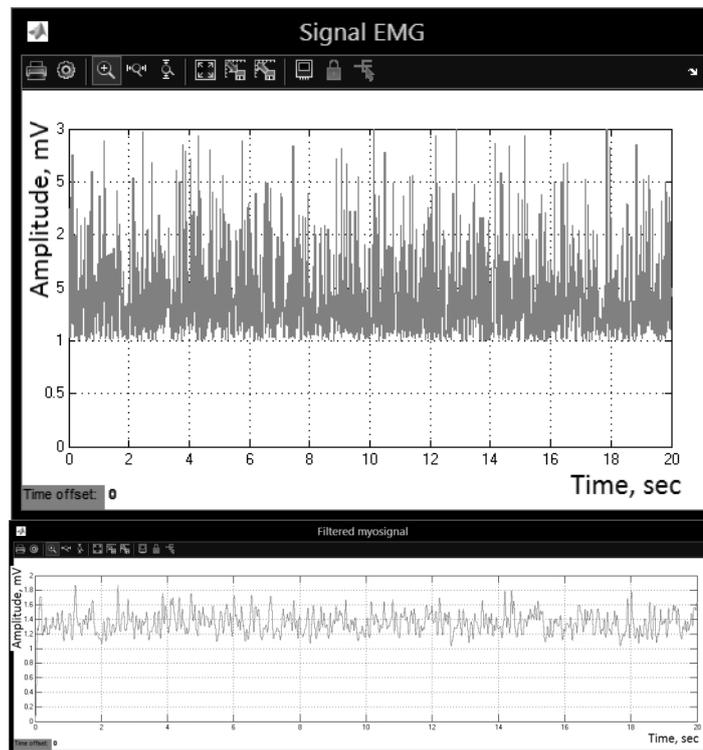


Рис. 3. Зашумленный сигнал ЭМГ (сверху на рис.) и его фильтрованный эквивалент (снизу на рис.)

В течение нескольких десятилетий предпочтительным способом для обработки ЭМГ-сигнала было вычисление его интегральной составляющей (рис. 3). Эта методика позволяет получить сглаженную функцию сигнала на некотором временном промежутке. Этот подход получил широкое распространение и предоставлял достаточную точность измерения биопотенциала. Успехи в развитии электронной

техники в течение последних десятилетий позволили более удобно и точно рассчитывать среднеквадратичное значение (*англ.*: root-mean-squared или RMS) сигнала и среднее значение сглаженного сигнала (*англ.*: average rectified value или AVR) ЭМГ. AVR значение аналогично значению интегральной составляющей ЭМГ-сигнала.

Среднеквадратичное значение сигнала является мерой его мощности, что, таким образом, является предпочтительным для большинства применений в системе управления экзоскелетным устройством [11, 12].

Рассматривается система управления и ориентации экзоскелета на основе обратных связей, реализованная посредством системы датчиков, которые позволяют учитывать не только задающие сигналы, но и воздействие внешних сил на экзоскелет. Следящая система приводов экзоскелета строится на методе обратной связи от исполнительных элементов к системе управления через человеко-машинный интерфейс. При этом в информационном канале обратной связи задействованы данные от сенсорных элементов различного типа. Эти данные показывают величину силомоментного воздействия, линейные и угловые метрические показатели, которые составляют совокупность измерений, необходимых для выявления ошибки, которая затем корректируется системой управления, устремляясь к нулевому значению. Имеются основания полагать, что в системе «ЧО–экзоскелет» как системе с непосредственным влиянием исполнительных элементов при движении на задающие элементы конструкции необходимо ввести еще одну обратную связь, информационный канал которой будет содержать данные о наличии задающего воздействия.

В качестве датчиков для этой обратной связи предлагается использовать электромиографические электроды, подключенные к усилителю биоэлектрических потенциалов.

Данные такого типа позволят системе управления определить наличие управляющего воздействия от ЧО и скорректировать движение исполнительных элементов в условиях недетерминированного внешнего силомоментного воздействия. Таким образом, задающий элемент, состоящий из набора пьезосенсоров, будет передавать вектор силы от ЧО, а система управления следить, было ли это воздействие управляющим, либо эти данные были получены в результате действия третьего закона Ньютона при влиянии внешних сил на ЧО через конструктивные элементы экзоскелета. Также алгоритмы усреднения показаний ЭМГ-сенсоров во времени позволят решить проблему тремора при управлении, что повысит точность исполнения движений. Таким образом, применение алгоритма управления для экзоскелета, основывающегося на комплексной обработке сенсорной информации и построении двух каналов обратных связей, позволит повысить качество управления исполнительными элементами экзоскелета.

Предлагается следующий способ построения системы «ЧО–экзоскелет» (рис. 4, 5).

В системе «ЧО–экзоскелет» ЧО выступает как элемент, неразрывно связанный с конструктивными и исполнительными компонентами экзоскелета. При движении ЧО в экзоскелете необходимо учитывать внешние силы и снижать их влияние на управление следящими приводами. Для снижения влияния тремора руки ЧО в задающих элементах необходимо ввести параметры, определяющие «мертвую зону» в задающем устройстве. Вектор силы, заданный управляющими воздействиями ЧО, вкпе с сигналом от миографических датчиков через человеко-машинный интерфейс (контур дополнительного контроля), будет поступать в блок обработки данных. После анализа полученной информации данные реали-

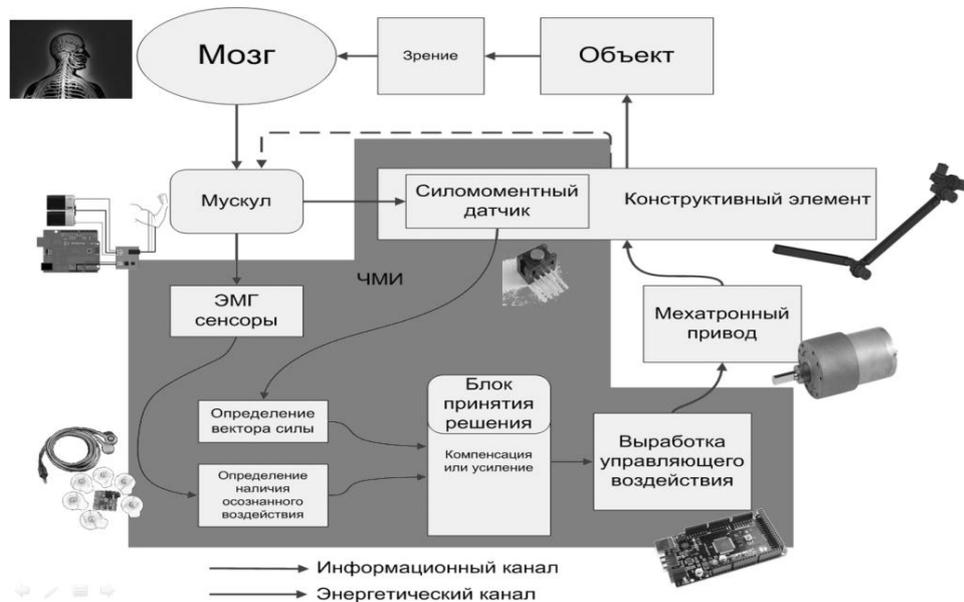


Рис. 4. Обобщенная структура работы системы «ЧО-экзоскелет»

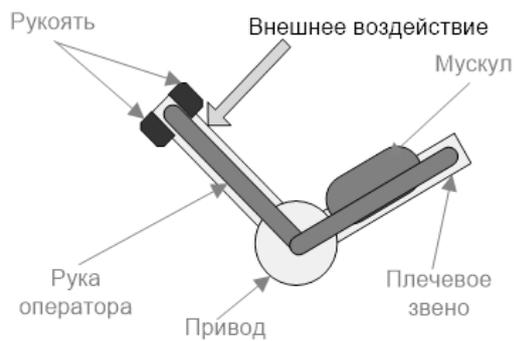


Рис. 5. Схема эксперимента для апробации предлагаемого способа управления и технических средств его реализации

зуются в контроллере в алгоритм управления. Следящая система приводов отслеживает траекторию, сравнивая ее с желаемой траекторией, и уменьшает ошибку до нулевого значения.

Авторами работы были разработаны алгоритмы и программное обеспечение для управления модулем экзоскелета руки, а также была проведена серия экспериментов для определения соответствия разработанным методикам управления. Экспериментальный стенд состоит из следящего электромеханического привода с настроенными регуляторами тока, скорости и положения. На выходном валу редуктора было закреплено жесткое звено с рукояткой и позиционный энкодер, сообщающий текущее положение вала в контроллер на платформе Ардуино. Четыре

активных электрода были расположены на мышцах-антагонистах сгиба локтевого сустава оператора по два на каждую мышцу в контрольных позициях. Еще два референсных электрода были размещены на коже оператора для определения нулевого значения показаний электромиографа.

Результаты проведенных экспериментов по апробации предложенных технических решений

Программное обеспечение, разработанное для обработки сигнала ЭМГ мышц оператора, фильтрует и нормализует полученный сигнал. На экран при этом выводится информация о текущих параметрах системы (рис. 6):

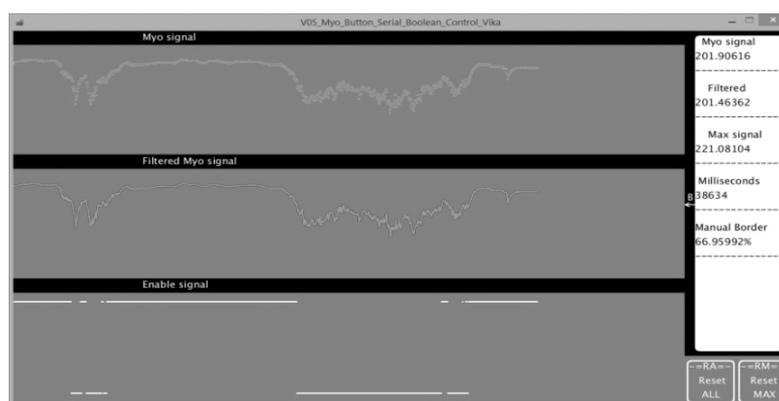


Рис. 6. ЧМИ для контроля за состоянием сигнала управления

При достижении определенного уровня амплитуды сигнала происходит увеличение скорости движения звена экзоскелета, которая находится на заданном уровне вплоть до прекращения сигнала действия. Необходимо также отметить, что в силу биологических особенностей мускульной системы человека угол сгиба в локтевом сочленении зависит от напряжения в соответствующей мышце-сгибателе. Поэтому уровень мертвой зоны для каждого угла непостоянен и зависит от индивидуальных особенностей развития мускулатуры рук человека. Данный коэффициент подбирался эмпирически.

Эксперименты с применением виртуальной и физической модели подтвердили адекватность созданным математическим моделям. Предложенный метод управления позволяет системе определять произвольную активность скелетных мышц ЧО, различая запланированное управляющее воздействие и сопротивляясь внешним силовым возмущениям для сохранения желаемого угла поворота звена.

На рис. 7 представлены результаты моделирования в системе MATLAB. На левой части представлено желаемое поведение изменения угла локтевого сочленения, а правая часть показывает результат с применением нового метода (сверху) и результат управления без учета специфики нового метода (снизу). Разработанный метод управления позволяет осуществить очувствление экзоскелетного устройства с целью определения источника силового воздействия и адекватной реакции на управляющее воздействие.

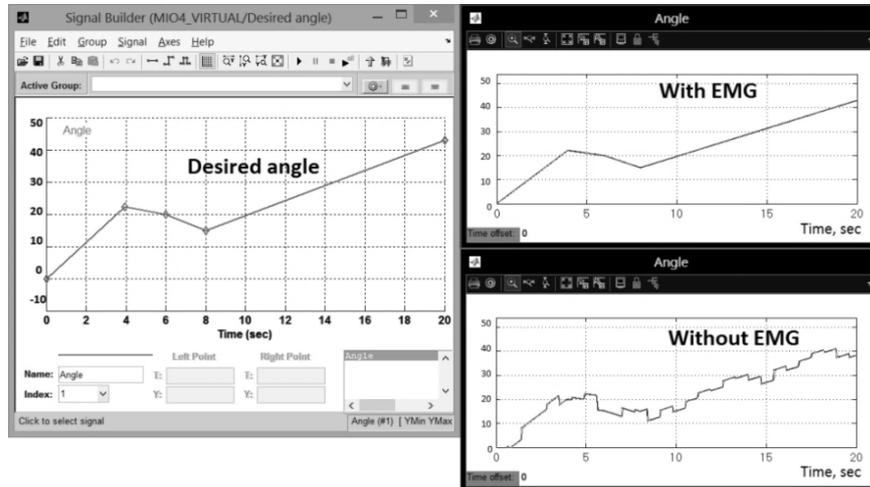


Рис. 7. Результаты моделирования в системе MATLAB

Был также проведен анализ регистрации данных отведенного потенциала для бицепса и трицепса ЧО. Ориентация плечевой кости ЧО в данных экспериментах задавалась с целью выявления минимальной и максимальной амплитуды сигнала отведенного потенциала при манипулировании объектом известной массы в поле силы тяжести. Нормирование сигнала, полученного датчиками отведенного потенциала, давало числовые значения, лежащие в пределах от 0 до 255 единиц. Графики, полученные в результате эксперимента, показывают, что значение напряжения мускула при поднятии тяжести максимально при максимальном моменте, развиваемым силой тяжести этого груза. Были также проведены аналогичные испытания с грузами массой 2 кг, 3 кг, 4 кг и 5 кг (рис. 8). После анализа данных экспериментов была выявлена граница зоны нечувствительности для дальнейшего внесения ее в программу управления исполнительным устройством локтевого модуля экзоскелета руки.

Для выявления функциональной зависимости амплитуды напряжения в мышцах оператора от массы груза была проведена серия экспериментов с удержанием грузов массой 1 кг, 2 кг, 3 кг, 4 кг, 5 кг и 6 кг при фиксированном угле сгиба локтевого сустава в 90 градусов (рис. 9). Амплитуда отведенного потенциала нормировалась аналогично описанному выше методу.

Данные об активности мышечной группы, полученные экспериментальным путем, позволили выявить относительно линейную зависимость изменения амплитуды напряжения в мышцах оператора, отвечающих за сгибание и разгибание в суставе, от массы груза, удерживаемого ЧО.

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить необходимые величины значений нормированного сигнала отведенного потенциала действия для формирования управляющего воздействия на исполнительную систему экзоскелета руки. На базе лаборатории «Робототехники и мехатроники» Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского была создана физическая модель экзоскелета руки с реализованными алгоритмами управления движением звеньев.

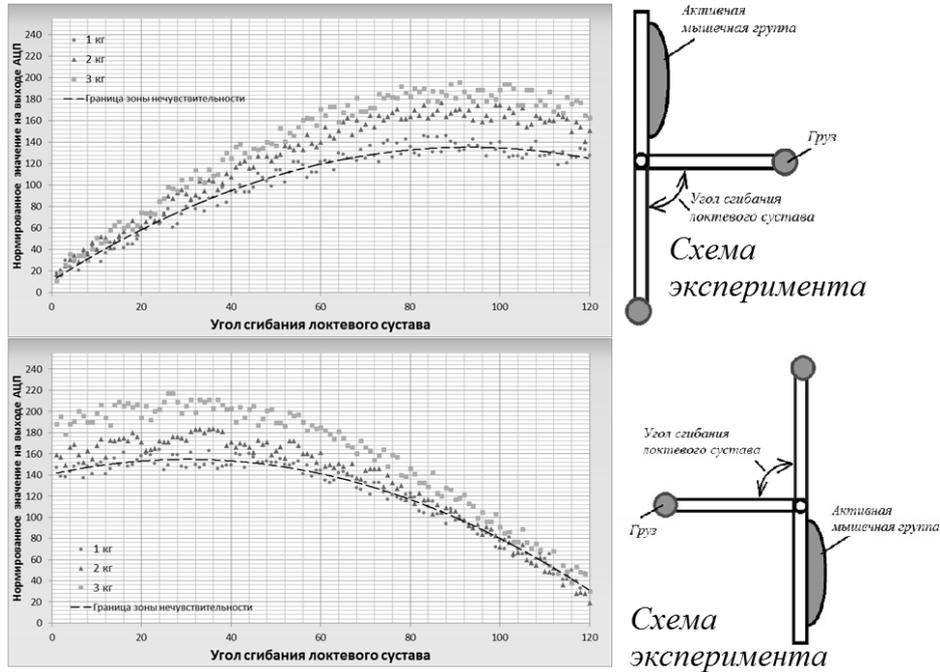


Рис. 8. Результаты эксперимента по определению мышечной активности в процессе движения руки с грузами массой 1 кг, 2 кг и 3 кг

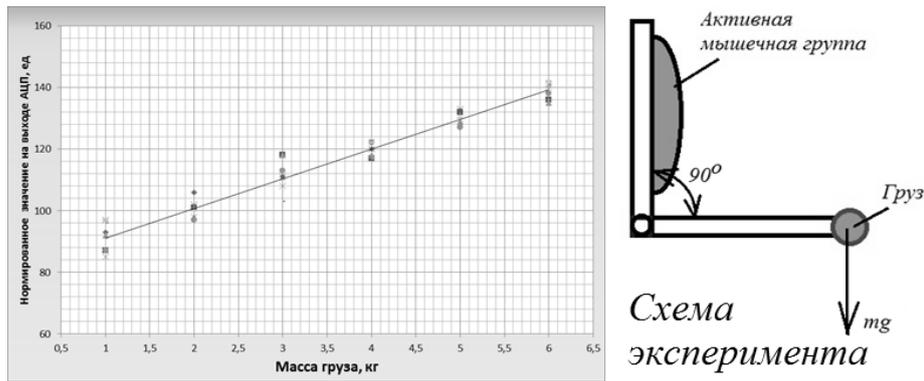


Рис. 9. Результаты эксперимента по определению мышечной активности в процессе удержания грузов разной массы

Созданная физическая модель экзоскелета руки имела массу 5,5 кг без учета массы элементов питания. Нагрузочная способность установленных на момент испытания двигателей постоянного тока составляла 55,0 кг·см (рис. 10).

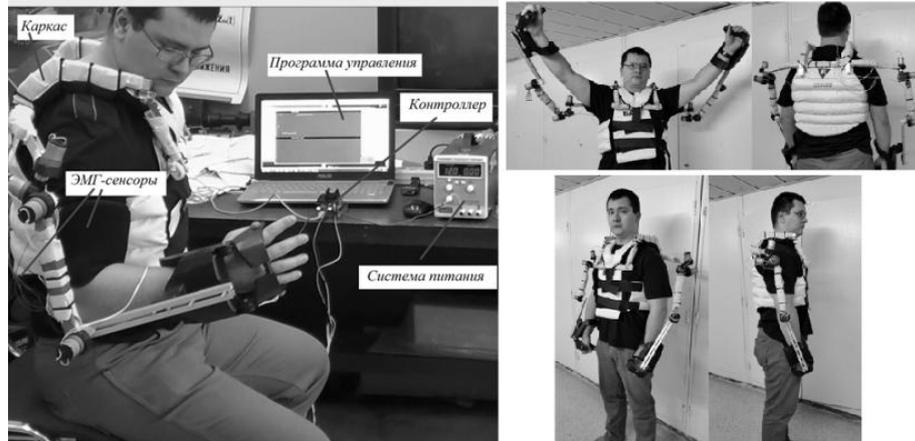


Рис. 10. Натурные испытания макета экзоскелета руки и общий вид макета для испытаний

Перспективы развития методического подхода и совершенствования технических решений

В данной работе использован подход, позволяющий экзоскелетному устройству определить тип возмущающего воздействия с помощью неинвазивной сенсорной системы измерения физиологических показателей, в частности, электромиограммы (ЭМГ) скелетных мышц, активность которых задает исполнительное движение. Эту проблему применительно к труду космонавта в условиях невесомости можно рассматривать в более широком контексте, принимая во внимание ранее отмеченные в литературе в области космической физиологии и медицины феномены изменения тонуса и активности позной мускулатуры, связанные с измененными условиями гравитации. Это означает необходимость помимо предложенной методики регистрации ЭМГ выполнять учет взаимных перемещений частей тела человека, в том числе, в режиме автоколебаний. Для этого дополнительно к исследованному в работе контурам управления в настоящее время рассматривается возможность добавить контур контроля нарушений активности и реакций позной мускулатуры путем применения системы трекеров головы и плечевого пояса, микрогироскопов и других аналогичных по назначению средств контроля источников возмущений при использовании носимых костюмов типа экзоскелета для реализации управления в рассматриваемом типе человеко-машинной системы.

Заключение

Главной задачей авторов статьи было изучение возможности управления человеко-машинной системы типа экзоскелет с помощью неинвазивной сенсорной системы измерения электрофизиологических параметров в процессе мышечной активности определенных групп мышц при выполнении управляющих движений рук ЧО. Результаты проведенных экспериментов показывают пригодность разработанного метода управления для мехатронного привода модуля руки экзоскелета в устранении ошибки позиционирования в условиях внешнего силомоментного

воздействия. Экспресс-апробация разработанных алгоритмов управления и аппаратуры позволяет рекомендовать их применение для инженерно-психологических исследований человеко-машинной системы с учетом ограничений человеческого фактора.

Исследования ИПМех РАН и ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» поддержаны Грантом РФФИ № 14-08-00537а и Программой РАН № 40П.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Беневоленский С.Б. Основы электротехники: учеб. пособие для вузов / С.Б. Беневоленский, А.Л. Марченко. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2006. – 568 с.
- [2] Жуковский Н.Е. Теоретическая механика. 2-е изд. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1952. – 812 с.
- [3] Zhechev M. M. Equations of Motion for Singular Systems of Massed and Massless Bodies // *Journal of Multi-body Dynamics*. 2007. Vol. 221, № K4. P. 591 – 597.
- [4] Жечев М.М. Асимптотическая устойчивость равновесия сингулярных механических систем // *Автоматика и телемеханика*. – 2001. – Vol. 62, № 3. – С. 45–52.
- [5] Zhechev M.M. Asymptotic Stability of the Equilibrium of Singular Mechanical Systems, *Automation and Remote Control*. 2001. Vol. 62, № 3. P. 383 – 390.
- [6] Жечев М.М. Стабилизация сингулярно возмущенных систем силами, зависящими от ускорения // *Техн. механика*. – 2009. – № 1. – С. 13–28.
- [7] Mathiassen SE, Winkel J, Hägg GM (1995) Normalization of Surface EMG Amplitude From the Upper Trapezius Muscle in Ergonomic Studies – a Review // *J Electromyography Kinesiol* 5: 197-226.
- [8] Mathiassen SE (1997) A Checklist for Normalization of Surface EMG Amplitude // *Proceedings of the Second General SENIAM Workshop Chapter 2*. Eds: Hermens H, Hagg G, Freriks B. Stockholm, Sweden. 17.
- [9] Merletti R, Gulisashvili A, Lo Conte LR (1995) Estimation of Shape Characteristics of Surface Muscle Signal Spectra From Time Domain Data // *IEEE Trans Biomed Eng* 42: 769-776.
- [10] Merletti R and Migliorini M (1998) Surface EMG Electrode Noise and Contact Impedance // *Proceedings of the Third General SENIAM Workshop*.
- [11] G.C. Argawal, G.L. Gottlieb. An Analysis of the Electromyogram by Fourier: Simulation and Experimental Techniques // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 22, no. 23, May 1975.
- [12] G.A. Bekey, C. Chang, J. Perry, M. Hoffer. Pattern Recognition of Multiple EMG Signals Applied to the Description of Human Gait // *Proc. of the IEEE*, vol. 65, no. 5, May 1977.

УДК 629.783:523.3

УГЛОВОЙ ПРОМАХ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССОВ СБЛИЖЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М.Н. Бурдаев

Докт. техн. наук, профессор М.Н. Бурдаев
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются свойства одного из параметров процесса относительного движения космического корабля и орбитальной станции – углового промаха. Приведены примеры использования углового промаха при анализе траекторий относительного движения. Показана возможность наглядного отображения траекторий сближения с использованием понятия углового промаха.

Ключевые слова: угловой промах, траектории сближения, облет орбитальной станции.

Angular Misalignment and Its Application When Analyzing Rendezvous Operations of Manned Space Vehicles. M.N. Burdaev

The paper considers the properties of one of the parameters of the process of relative motion of a space vehicle and an orbital station, namely an angular misalignment and gives examples of application of angular misalignment for analyzing paths of relative motion. The possibility of visual imaging the paths of rendezvous using the notion of angular misalignment was illustrated.

Keywords: angular misalignment, paths of rendezvous, fly-around of an orbital station.

В повседневной жизни, когда вы едете на автомобиле, велосипеде или просто идете пешком, вы все время, не думая об этом, проверяете, совпадает ли направление вашего движения с тем направлением, куда вам надо двигаться.

Угол между этими двумя направлениями служит вам одним из важнейших источников информации для обеспечения безопасности движения и успешного достижения его цели. Пилоты самолетов, рулевые морских кораблей, водители всех наземных транспортных средств тоже постоянно следят, чтобы самолет или корабль не отклонялись от заданного направления движения.

Есть только один вид подвижных средств, на котором угол между направлением на предмет, с которым надо сблизиться, и направлением, в котором движется управляемый аппарат, в процессе сближения непосредственно не контролируется. Это современные отечественные пилотируемые и беспилотные космические корабли «Союзы» и «Прогрессы».

Назовем угол между направлением с космического корабля на орбитальную станцию и направлением полета корабля относительно нее угловым промахом. Обозначим его символом α .

В основе всех методов управления сближением, используемых при малых дальностях между активным кораблем и орбитальной станцией, лежит допущение о том, что при малых расстояниях между кораблем и станцией можно не учитывать разницу в величинах и направлениях действующих на них внешних гравитационных и аэродинамических сил. Полет в таких условиях называют движением в бессиловом пространстве. В таком пространстве траектория движения корабля относительно станции – прямая линия, и скорость движения корабля по ней постоянна.

Основные параметры относительного движения космических аппаратов в бессиловом пространстве показаны на рисунке 1, где видно, что угловой промах α может быть определен из соотношения



$$\alpha = \arctg \left(\frac{\Omega_{лв} \cdot \rho}{\dot{\rho}} \right),$$

а линейный промах Δ – из соотношения

$$\Delta = \frac{V_t \rho}{V_{отн}} = \frac{\Omega_{лв} \cdot \rho^2}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + (\Omega_{лв} \cdot \rho)^2}} = \frac{\rho}{\sqrt{\left(\frac{\dot{\rho}}{\Omega_{лв} \cdot \rho}\right)^2 + 1}},$$

где: $\Omega_{лв}$ – угловая скорость линии визирования,

$\dot{\rho}$ – скорость сближения,

ρ – расстояние между кораблем и орбитальной станцией,

$V_{отн}$ – скорость движения корабля относительно орбитальной станции.

Рис. 1. Схема относительного движения двух космических аппаратов в бессиловом пространстве

V_t – векторная составляющая $\vec{V}_{отн}$, направленная перпендикулярно к линии визирования.

Угловой промах использовался для контроля процесса сближения на первых пилотируемых кораблях «Союз» в режиме стабилизации в инерциальной системе координат. Бортинженер отсчитывал по двухстрелочному секундомеру интервалы времени Δt_1 и Δt_2 , за которые изображение орбитальной станции перемещалось по экрану ВСК (оптического визира) последовательно на две смежные клетки $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$ параллельно линиям угломерной сетки. Одно деление сетки соответствовало одному градусу поворота линии визирования на орбитальную станцию в поле зрения визира. По соотношению интервалов времени Δt_1 и Δt_2 определялась величина углового промаха α .

В общем виде задача определения углового промаха при движении в бессиловом пространстве решается следующим образом (рис. 2).

В треугольнике AOB сторона $AB = V_{отн} \cdot \Delta t_1$ и



$$\frac{AB}{\sin \Delta \alpha_1} = \frac{OB}{\sin \alpha_1},$$

откуда $OB = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \Delta \alpha_1} V_{отн} \cdot \Delta t_1$.

В треугольнике BOC сторона $BC = V_{отн} \cdot \Delta t_2$ и

$$\frac{BC}{\sin \Delta \alpha_2} = \frac{OB}{\sin \alpha_2},$$

Рис. 2. К определению углового промаха α по измерениям двух интервалов времени

откуда $OB = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \Delta \alpha_2} V_{отн} \cdot \Delta t_2$.

Приравняв взаимно оба найденных значения величины OB и сократив на $V_{отн}$, получаем:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \Delta \alpha_1} \Delta t_1 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \Delta \alpha_2} \Delta t_2,$$

откуда

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{\sin \alpha_1 \sin \Delta \alpha_2}{\sin \alpha_2 \sin \Delta \alpha_1}.$$

Из этого соотношения легко получить формулы для расчета угловых промахов в начале и конце измерений:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{\sin(\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2)}{\frac{\Delta t_1 \sin \Delta \alpha_2}{\Delta t_2 \sin \Delta \alpha_1} - \cos(\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2)}, \quad \alpha_2 = \alpha_1 + \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2$$

и

$$\alpha_2 = \arctg \frac{\sin(\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2)}{\cos(\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2) - \frac{\Delta t_2 \sin \Delta \alpha_1}{\Delta t_1 \sin \Delta \alpha_2}}, \quad \alpha_1 = \alpha_2 - \Delta \alpha_1 - \Delta \alpha_2.$$

Вычисления упрощаются, когда $\Delta \alpha_1 = \Delta \alpha_2 = \Delta \alpha$. В этом случае

$$\alpha_1 = \arctg \frac{\sin 2\Delta \alpha}{\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} - \cos 2\Delta \alpha}, \quad \alpha_2 = \alpha_1 + 2\Delta \alpha$$

или

$$\alpha_2 = \arctg \frac{\sin 2\Delta \alpha}{\cos 2\Delta \alpha - \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}, \quad \alpha_1 = \alpha_2 - 2\Delta \alpha.$$

Результаты расчетов по этим формулам величины α_1 показаны на рисунке 3.

Достоинство этого метода контроля процесса сближения состоит в том, что он позволяет оценивать угол между направлением на орбитальную станцию и направлением движения активного корабля относительно нее, во-первых, по минимуму информации, получаемой с помощью инструмента, не требующего активного ответа объекта сближения: измерителя времени, секундомера; во-вторых, измеряемый параметр – угол сдвига изображения орбитальной станции в поле зрения визира – не подвержен влиянию различных помех, которые могут сделать невозможным управление сближением при использовании других измерительных средств.

К недостаткам этого метода относится влияние на результаты измерений и вычислений остаточных угловых скоростей стабилизированного в инерциальной системе корабля, с которого выполняются измерения.

Величина углового промаха α , так же, как и величина линейного промаха Δ , в каждый момент времени сближения зависит от вели-

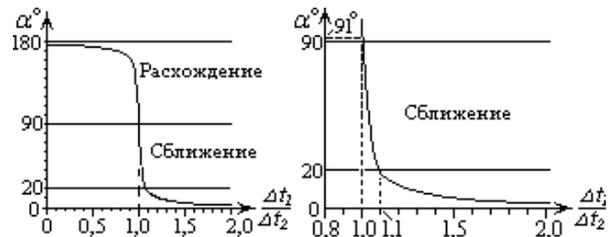


Рис. 3. Зависимость углового промаха α от соотношения интервалов времени Δt_1 и Δt_2 , измеренных по двум делениям сетки визира величиной в 1 градус

чин угловой скорости $\Omega_{\text{ЛВ}}$ линии визирования, скорости сближения $\dot{\rho}$ и расстояния ρ между кораблем и орбитальной станцией.

Используемый в настоящее время метод управления сближением корабля с орбитальной станцией при малых дальностях ρ между ними состоит в раздельном регулировании двух параметров движения корабля относительно станции: скорости сближения $\dot{\rho}$ корабля со станцией и угловой скорости $\Omega_{\text{ЛВ}}$ линии визирования на ориентир на станции.

Угловая скорость линии визирования проявляется на экране визира видимым смещением изображения орбитальной станции. Причиной появления угловой скорости линии визирования является наличие у скорости движения корабля относительно станции $\vec{V}_{\text{отн}}$ векторной составляющей \vec{V}_τ (рис. 2).

Векторная составляющая \vec{V}_τ скорости движения корабля относительно станции $\vec{V}_{\text{отн}}$ связана с дальностью $\bar{\rho}$ до станции и угловой скоростью $\Omega_{\text{ЛВ}}$ линии визирования соотношением:

$$\vec{V}_\tau = \Omega_{\text{ЛВ}} \cdot \rho .$$

В бортовой документации кораблей, например, в ее варианте от 19.04.10 г., рекомендуется в процессе управления сближением «удерживать цель в ВСК, поддерживать $\rho, \dot{\rho}$ по графику 12.2 и периодически гасить $\Omega_{\text{ЛВ}}$ до $\leq 0,05$ ». График 12.2 из бортовой документации воспроизведен на рисунке 4.

Рассмотрим, с какими угловыми и линейными промахами движется корабль к станции при регулировании скорости сближения по средней из трех зависимостей $\dot{\rho} = f(\rho)$, показанных на рисунке 4, при условии, что угловая скорость $\Omega_{\text{ЛВ}}$ линии визирования постоянно выдерживается на минимальном рекомендованном пределе $0,05^\circ/\text{сек}$.

На рисунке 5 показано, как меняется угловой промах при сближении корабля со станцией, на рисунке 6 – какой линейный промах имеет место в процессе их сближения.

При наличии угловой скорости линии визирования всегда существует угловой промах. Это значит, что корабль движется к станции не по прямой, а по кривой линии – спирали. Вид этой спирали зависит от того, по какой зависимости скорости сближения $\dot{\rho}$ от дальности ρ космонавт корректирует процесс сближения и насколько точно он поддерживает заданную величину угловой скорости $\Omega_{\text{ЛВ}}$ линии визирования.



Рис. 4. Зависимость радиальной скорости $\dot{\rho}$ от дальности ρ (фазовый портрет режима сближения «Союза» с МКС)

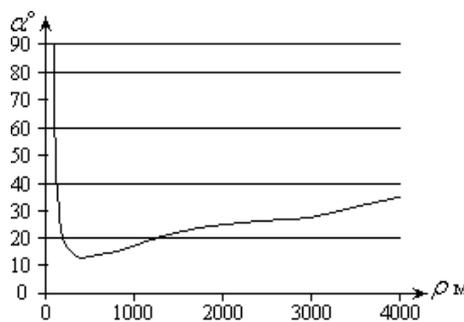


Рис. 5. Угловой промах α в процессе сближения корабля со станцией при $\Omega_{\text{ЛВ}} = 0,05^\circ/\text{сек}$ и выдерживании скорости сближения по программе, показанной на рис. 4, средняя линия

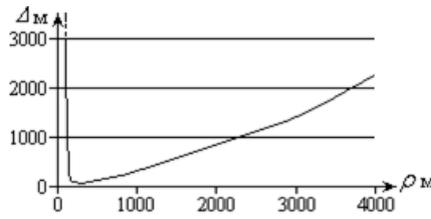


Рис. 6. Линейный промах в процессе сближения корабля со станцией при $\Omega_{\text{лв}} = 0,05^\circ/\text{сек}$ и выдерживании скорости сближения по программе, показанной на рис. 4, средняя линия

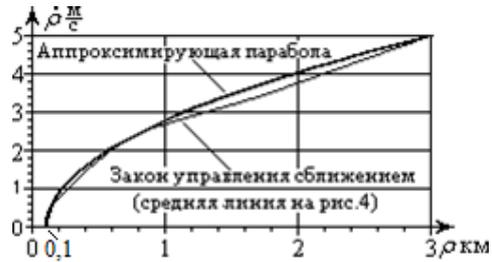


Рис. 7. Аппроксимация параболой закона управления сближением

Чтобы исключить в анализе влияние многочисленных вариантов этих факторов, рассмотрим идеализированный случай, когда заданный закон управления сближением (рис. 4, средняя кривая «Выключение...») аппроксимирован параболой (рис. 7), и угловая скорость линии визирования поддерживается постоянной и равной рекомендованному пределу ($\Omega_{\text{лв}} = 0,05^\circ/\text{сек}$). Для средней из трех зависимостей $\rho = f(\rho)$, показанных на рисунке 4, уравнение этой параболы имеет вид:

$$\rho = 0,1 + k\rho^2,$$

где для $\rho_{\text{max}} = 3 \text{ км}$ и $\rho_{\text{max}} = 5 \text{ м/сек}$, $k = 1,16 \cdot 10^5$.

Длительность сближения по этому закону управления составляет 1160 секунд.

Вид траектории сближения в инерциальной системе координат на плоскости промаха при этих условиях показан на рисунке 8 для трех средних значений угловой скорости линии визирования. Из этого рисунка видно, что при наличии непогашенной угловой скорости линии визирования при сближении со станцией одновременно происходит ее облет. Например, при постоянной угловой скорости $\Omega_{\text{лв}} = 0,05^\circ/\text{сек}$ разворот линии визирования в инерциальной системе координат (угол облета станции) составляет 58 градусов. Угол облета зависит от средней величины угловой скорости линии визирования и пропорционален времени сближения. Этот факт следует учитывать при управлении сближением и использовать его перед началом выполнения следующей после зависания операции – облета.

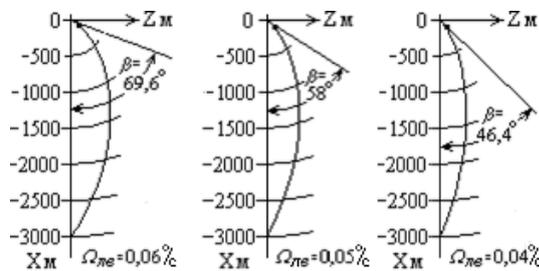


Рис. 8. Траектория сближения при постоянной угловой скорости линии визирования и законе управления сближением, показанным на рис. 6, β – угол облета станции за время сближения до зависания

Из рисунков 5 и 6 видно, что, если в конце этого этапа сближения облет не требуется, но необходимо зависание, прекращать сближение целесообразно на дальностях 300–400 метров, при которых величины углового и линейного промахов близки к их минимальным значениям.

Если существует необходимость в облете и остаточная угловая скорость линии визирования направлена в сторону предстоящего облета (изобра-

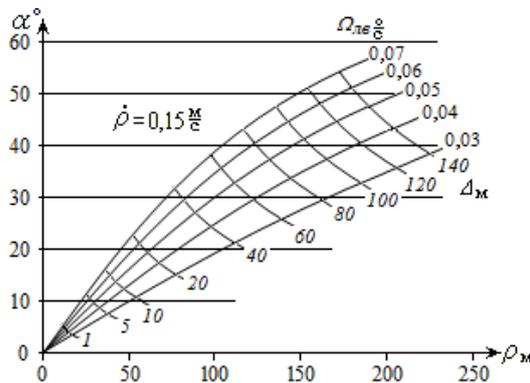


Рис. 9. Угловой α и линейный Δ промахи при сближении по закону управления, показанному на рис. 7, скорости сближения $\dot{\rho} = 0,15 \text{ м/с}$ и различных угловых скоростях $\Omega_{лв}$ линии визирования на дальностях ρ менее 250 м

жение станции движется в поле зрения ВСК в сторону, противоположную предстоящему облету), сближение следует прекращать на меньших дальностях, порядка 150–300 метров, где величина углового промаха больше. Это позволит уменьшить расход топлива на выполнение облета.

На заключительном этапе сближения при постоянной радиальной скорости угловой и линейный промахи уменьшаются с уменьшением дальности ρ .

На рисунке 9 показаны зависимости углового и линейного промахов от дальности при постоянной скорости сближения $\dot{\rho} = 0,15 \text{ м/сек}$ и различных угловых

скоростях $\Omega_{лв}$ линии визирования для дальностей сближения менее 250 м.

На этапе причаливания характер зависимостей, показанных на рисунке 9, не изменяется (рис. 10).

Угловой промах α однозначно определяет соотношение дальности ρ до объекта сближения и прогнозируемого линейного промаха Δ :

$$\frac{\Delta}{\rho} = \sin \alpha.$$

Угловой промах может быть использован для разработки критерия безопасности расхождения.

В качестве условия безопасности сближения для космического аппарата можно ввести сферу, радиус которой равен расстоянию от его центра масс до наиболее удаленной от центра масс точки конструкции космического аппарата.

Для обеспечения безопасности двух космических аппаратов в процессе сближения эти сферы не должны пересекаться. Если радиус сферы безопасности для станции обозначить $r_{ст}$, а для активного корабля $r_{ак}$, то критерий безопасного расхождения будет иметь вид (рис. 11):

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{r_{ст} + r_{ак}}{\rho}\right).$$

В случаях, когда контроль процесса сближения осуществляется по известным величинам дальности ρ , скорости сбли-

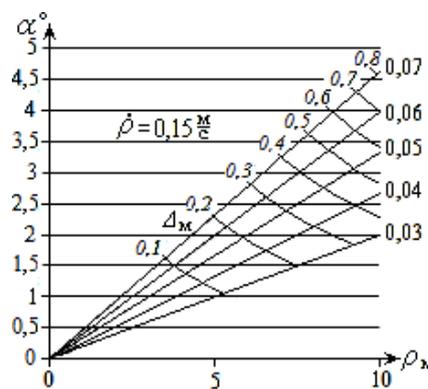


Рис. 10. Угловой α и линейный Δ промахи при сближении по закону управления, показанному на рис. 7, скорости сближения $\dot{\rho} = 0,15 \text{ м/с}$ и различных угловых скоростях $\Omega_{лв}$ линии визирования на дальностях ρ менее 10 м

жения $\dot{\rho}$ и угловой скорости линии визирования $\Omega_{лв}$, безопасность расхождения контролируется по соотношению:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\Omega_{лв} \cdot \rho}{\dot{\rho}}\right) \geq \arcsin\left(\frac{r_{ст} + r_{ак}}{\rho}\right).$$

Информация, на основании которой определяется угловой промах, может быть использована для решения других задач, например, для определения угловой скорости ω линии визирования.

Из рисунка 2 по теореме синусов следует:

$$\frac{V_{отн}(\Delta t_1 + \Delta t_2)}{\sin(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)} = \frac{OC}{\sin\alpha_1}.$$

Умножив обе части этого уравнения на $\sin\alpha_2$ и $\sin(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)$ и разделив на $OC = \rho_2$ и $\Delta t_1 + \Delta t_2$, получаем:

$$\frac{V_{отн} \sin\alpha_2}{OC} = \frac{\sin(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) \sin\alpha_2}{\sin(\alpha_2 - \Delta\alpha_1 - \Delta\alpha_2) \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2)}.$$

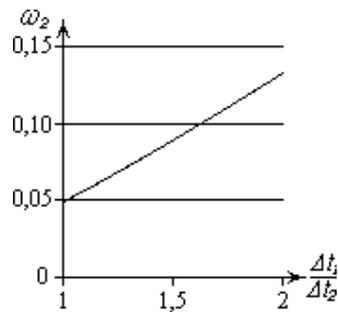


Рис. 12. Зависимость угловой скорости линии визирования ω_2 в конечной точке измерений от соотношения $\Delta t_1/\Delta t_2$ интервалов времени

Из этого соотношения после некоторых преобразований выводим формулу для расчета величины угловой скорости ω_2 линии визирования в конечной точке измерений (точка C на рис. 2):

$$\begin{aligned} \frac{V_{отн} \sin\alpha_2}{\rho_2} = \omega_2 &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\text{tg}(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)} - \frac{1}{\text{tg}\alpha_2}\right) (\Delta t_1 + \Delta t_2)} = \\ &= \frac{\Delta t_1 \sin(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) \sin\Delta\alpha_2}{\Delta t_2 (\Delta t_1 + \Delta t_2) \sin\Delta\alpha_1}. \end{aligned}$$

При равных значениях $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$ формула упрощается:

$$\omega_2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\text{tg}2\Delta\alpha} - \frac{1}{\text{tg}\alpha_2}\right) (\Delta t_1 + \Delta t_2)} = \frac{\Delta t_1 \sin 2\Delta\alpha}{\Delta t_2 (\Delta t_1 + \Delta t_2)}.$$

На рисунке 12 показаны результаты расчетов угловой скорости линии визирования по этой формуле.

На основании изложенного могут быть сделаны следующие выводы:

1. Угол между направлением на объект сближения и направлением движения активного корабля относительно этого объекта, называемый угловым промахом, относится к числу наиболее наглядных и физически понятных параметров относительного движения космических аппаратов.

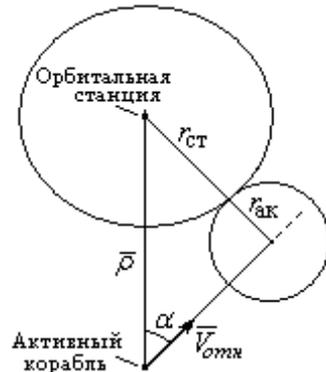


Рис. 11. К определению критерия безопасности сближения

2. Метод контроля процесса сближения на малых дальностях между космическими аппаратами с использованием углового промаха прост в реализации и устойчив к воздействию радиотехнических и других помех.

3. На заключительном этапе сближения при наличии угловой скорости линии визирования всегда присутствует угловой промах и происходит разворот линии визирования на станцию с ее облетом. Это свойство линии визирования и ее угловой скорости полезно иметь в виду и учитывать при выполнении сближения с некооперируемым объектом.

4. Угловой промах может быть использован для разработки критерия безопасности расхождения космических аппаратов.

5. Информация, на основании которой определяется угловой промах, может быть использована для определения угловой скорости линии визирования на орбитальную станцию.

УДК 629.78.007

**КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «МАТРЕШКА-Р» –
РАЗВИТИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И АНАЛИЗ
ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ**

Е.В. Попова, С.С. Бондаренко

Е.В. Попова, С.С. Бондаренко (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассмотрено поэтапное расширение состава научной аппаратуры космического эксперимента (КЭ) «Матрешка-Р». Приводится краткое описание методик и условий, используемых в подготовке космонавтов по КЭ «Матрешка-Р». Обсуждаются изменения, связанные с механизмами развития КЭ, произошедшие за последние 14 лет. В рамках данного анализа показано, что расширение состава научной аппаратуры (НА) по КЭ «Матрешка-Р», видов и часов подготовки космонавтов представляет взаимосвязанный процесс.

Ключевые слова: изучение радиоактивного фона, космический эксперимент «Матрешка-Р», подготовка космонавтов, научная аппаратура, космическая станция.

**Space Experiment “Matryoshka-R” – Development, Prospects and
Analysis of Cosmonaut Training. E.V. Popova, S.S. Bondarenko**

The paper considers the stage-by-stage extension of equipment assets required for the space experiment “Matryoshka-R”. The brief description of methods and conditions used in training of cosmonauts is given. Changes in the development mechanisms of this space experiment that have been made for the past 14 years are discussed. The increment of experimental equipment assets and increase in time and types of training present an interrelated process.

Keywords: study of radioactive background, space experiment “Matryoshka-R”, cosmonaut training, scientific equipment, space station.

Введение

За полвека специалистами и учеными, работающими на космическую отрасль, было запущено множество космических аппаратов, созданы уникальные автоматические и пилотируемые научно-исследовательские комплексы. Человеку удалось не только увидеть Землю со стороны, но и исследовать ее: получены важные данные о поведении в невесомости всех классов биологических объектов (от молекул белков, вирусов и бактерий до позвоночных животных); изучены особенности протекания в космосе физических процессов в жидкостях и газах, металлах и полупроводниках, в новых конструкционных материалах и покрытиях, о глобальных факторах, влияющих на нашу планету и околоземное пространство, о климате и природных ресурсах Земли. Стали доступны для изучения другие планеты, звезды и галактики во всем диапазоне электромагнитных колебаний – от жестких гамма-лучей до далекого инфракрасного и радиоизлучения [4].

Обнаружилось, что околоземные орбиты имеют высокий радиационный фон. Как отмечает А.Э. Лишневицкий, проведение первых экспериментов с детекторами на первых российских и американских спутниках подтвердило наличие радиационных поясов Земли (РПЗ) и вызвало значительный интерес к другим источникам космической радиации – галактическим и солнечным космическим лучам (ГКЛ и СКЛ). Данные открытия потребовали ответа на вопрос о радиационной безопасности человека в космосе [6].

Характеристика проблемы

Результаты по изучению радиоактивного фона в космосе не заставили себя долго ждать, и в 1965 году (в Афинах на XVI Международном астронавтическом конгрессе) были опубликованы «космические» нормы радиационной безопасности для космического полета продолжительностью до 30 суток [4].

Все это послужило предпосылкой к дальнейшему развитию исследований, связанных с оценкой радиационной опасности при длительных орбитальных и межпланетных полетах. Поставленные перед учеными задачи были изначально направлены на обоснование предельных уровней доз на весь организм и на отдельные органы и системы организма в процессе полетов различной продолжительности, а также расчетов радиационного риска для космонавтов в течение всей жизни. Для решения этих вопросов были обоснованы дальнейшие углубленные исследования как по радиобиологии, так и по физическим аспектам проблемы.

Таким образом, изучение космических лучей стало приоритетным для космической отрасли и с годами выделилось в отдельный блок научных исследований, проводимых на орбитальных станциях «Мир» и МКС. Используя накопившиеся результаты исследований и опыт, многие ученые, такие как А.Э. Акатов, Н.Н. Грачев, Л.О. Мырова, М.И. Панасюк, В.А. Шуршаков, А.В. Шафиркин и др., занимающиеся изучением радиационного контроля на околоземной орбите, отмечают, что в условиях космического полета радиационное воздействие имеет очень сложный состав и энергетический спектр частиц, что объясняется биологической эффективностью и характеризуется пространственной неравномерностью поглощенных доз по телу человека. Установлено, что действие ионизирующих излучений в условиях космического полета сопровождается воздействием целого ряда нерадиационных факторов, которые могут значительно модифицировать радиационный ответ организмов, что «...*потоки заряженных частиц высокой энергии, существующие в космическом пространстве, представляют серьезную опасность для нормального функционирования космических аппаратов (КА) – в первую очередь для радиоэлектронной аппаратуры и поверхностных конструктивных элементов, а также для здоровья космонавтов в пилотируемых полетах*» [8].

Известно, что в настоящее время проблеме безопасности космонавтов уделяется особое внимание всеми мировыми космическими агентствами-участниками проекта МКС, поскольку в околоземном космическом полете человек непрерывно подвергается повышенному радиационному облучению. При планируемых полетах вне магнитосферы Земли, к Луне и Марсу, радиационный риск является одним из главных лимитирующих факторов, определяющих возможность выполнения этих миссий при условии обеспечения безопасности экипажа.

Современные подходы к защите от радиации в условиях космических полетов рассматриваются (А.В. Шафиркин, Ю.Г. Григорьев, И.Б. Ушаков) с учетом качества космических лучей и при хроническом воздействии РПЗ и детерминированных источников ГКЛ, а также возможного развития последовательности солнечных протонных событий (СПС), с учетом возможного радиационного поражения во времени в различных системах и на уровне организма [4, 8].

Для обеспечения контроля уровня облучения космонавтов, для корректной оценки радиационной нагрузки на органы человека в космическом полете специалистами Института медико-биологических проблем РАН был разработан ряд приборов дозиметрического контроля и развернуты радиационно-физические исследования (см. таблицу).

Таблица

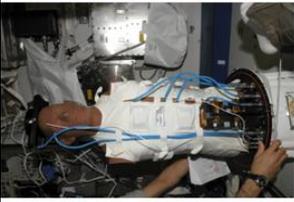
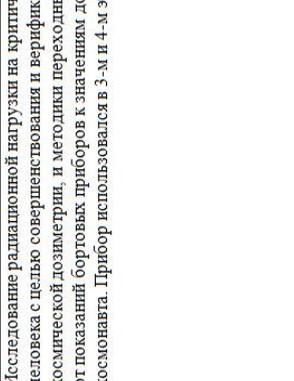
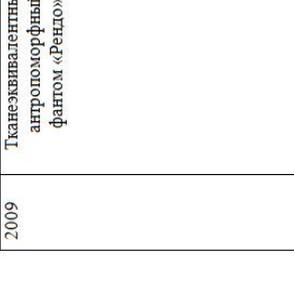
Назначение и вид НА в КЭ «Матрешка-Р»

Год внедрения	Название НА	Назначение НА	Изготовитель и поставщик	Фото НА
2001	Сборки пассивной дозиметрии «Комплект СПД»	Измерение в отсеках МКС с различными условиями радиационной защищенности интегральных дозовых (поглощенная и эквивалентная доза) и спектральных (энергетический спектр и флюенсы) характеристик космического ионизирующего излучения. Используется, начиная с 1-го этапа КЭ по настоящее время	Изготовитель и поставщик – ГНЦ РФ-ИМБП РАН	
2001	НА «Шаровой тканевэквивалентный фантом» «Комплект Фантом»	Измерение доз, флюенсов и спектров космического ионизирующего излучения внутри фантома с целью моделирования нагрузки на критические органы человека с последующим сопоставлением результатов с данными, полученными с помощью антропоморфного фантома. Фантом оснащен комплектом сменных сборок пассивных детекторов и лентолов, а также покрывается матерчатой сферической оболочкой с карманами для наружного размещения пассивных дозиметров по его поверхности. Фантом используется в КЭ, начиная с 1-го этапа по настоящее время	Изготовитель – «НИЦ СНИИП» Поставщик – ГНЦ РФ-ИМБП РАН	
2005	НА «Баббл-дозиметр»	Измерение вклада в дозу частиц космического излучения с высокой линейной передачей энергии (ЛПЭ) (преимущественно нейтронов и тяжелых заряженных частиц). Составит из комплекта люминесцентных детекторов и электронного блока считывания и хранения информации. Детекторы размещаются как внутри пеналов шарового фантома, так и в отсеках с различной защищенностью. Прибор используется, начиная со 2-го этапа по настоящее время	Изготовитель – фирма «Баббл технологий», Канада Поставщик – ГНЦ РФ-ИМБП РАН	

Продолжение таблицы

2005	Дозиметр «Мосфет»	Измерение динамики поглощенной дозы на 5-ти глубинах в вертикальном канале НА «Комплект фантом». Прибор используется, начиная со 2-го этапа по настоящее время	Изготовитель – фирма «Томсон и Нельсон», Канада Постановщик – ГНЦ РФ–ИМБП РАН	
2007	НА «Юлиан-5»	Исследование динамики накопления дозы, спектра ЛПЭ, а также потоков заряженных частиц внутри шарового фантома. Прибор используется, начиная со 2-го этапа по настоящее время	Изготовитель – Институт солнечно-земных связей, г. София, Болгария Постановщик – ГНЦ РФ–ИМБП РАН	
2008	«АСТ-Спектрометр»	Измерение в различных отсеках МКС радиационной обстановки при воздействии ионизирующего излучения космического пространства. Прибор использовался на 2-м и 3-м этапах	Изготовитель – Национальный институт ядерной физики, Рим, Италия Постановщик – ГНЦ РФ–ИМБП РАН	

Окончание таблицы

2009	Ткане-эквивалентный антропоморфный фантом «Рендо»	<p>3 этап</p> <p>Исследование радиационной нагрузки на критические органы человека с целью совершенствования и верификации методов космической дозиметрии, и методики переходных коэффициентов от показаний бортовых приборов к значенням доз органов тела космонавта. Прибор использовался в 3-м и 4-м этапах</p>	<p>Изготовитель и постановщик – Институт авиационной и космической медицины, г. Кельн, Германия</p>	
2010	Укладка «Шторка защитная»	<p>4 этап</p> <p>Исследование радиационно-защитных свойств водосодержащих материалов в условиях орбитального полета с использованием в качестве локальной физической защиты изделия «Шторка защитная» с влажными полотнами и салфетками, применяемыми в целях личной гигиены членов экипажа МКС. Используется с 4-го этапа по настоящее время</p>	<p>Изготовитель и постановщик – ГИЦ РФ-ИМБП РАН</p>	
2013	НА «Тритель»	<p>5 этап</p> <p>Исследования динамики спектров ЛПЭ ионизирующего космического излучения в условиях орбитального полета в отсеках РС МКС. Прибор используется, начиная с 5-го этапа по настоящее время</p>	<p>Изготовитель – Исследовательский институт по атомной энергии, Будапешт, Венгрия Постановщик – ГИЦ РФ-ИМБП РАН</p>	

Космический эксперимент «Матрешка-Р»

Наряду с многочисленными исследованиями по измерению радиационного фона на борту РС МКС с 2001 года проводится космический эксперимент «Матрешка-Р». Его целью является изучение распределения потоков ионизирующих частиц и дозы радиации в зависимости от глубины проникновения частиц в тело человека в условиях длительного космического полета [6].

В рамках эксперимента «Матрешка-Р» решаются следующие задачи:

- проведение на борту МКС одновременных измерений поглощенной и эквивалентной доз и динамики мощности поглощенной и эквивалентной доз в различных условиях защищенности, а также внутри шарового и антропоморфного тканеэквивалентного фантомов при различных условиях их экранированности, включая размещение антропоморфного фантома на внешней поверхности станции и внутри МКС;

- исследование эквивалентности антропоморфного и шарового фантомов с точки зрения моделирования радиационной нагрузки на критические органы;

- верификация моделей радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве и методов расчета прохождения излучения через вещество защиты и ткани путем сопоставления оценок параметров радиационных условий на траектории полета МКС, в отсеках станции, полученных расчетным путем, с результатами измерений;

- измерение вклада в дозу в области высокой линейной передачи энергии с использованием термолюминесцентных и твердотельных трековых детекторов;

- определение эквивалентных доз и коэффициентов качества в отсеках и шаровом тканеэквивалентном фантоме с использованием данных термолюминесцентных и твердотельных трековых детекторов [2].

Для решения вышесказанных задач важным аспектом успеха проведения КЭ на борту космической станции является подготовка космонавта к работе с научной аппаратурой. Особенности проведения эксперимента возлагаются на космонавтов, им необходимо освоить циклограмму работ и овладеть соответствующими навыками.

Для осуществления педагогической задачи по подготовке космонавтов был проведен анализ подготовки по космическому эксперименту «Матрешка-Р», осуществляющемуся на протяжении всего функционирования МКС.

Состав НА КЭ «Матрешка-Р»

Проследим историю развития реализации КЭ «Матрешка-Р» и внедрения НА в состав эксперимента до настоящего времени (таблица):

- с 2001 года на борту РС МКС выполняется КЭ «Матрешка-Р» с использованием в рамках этого эксперимента научной аппаратуры 1-го этапа «Шаровой фантом» и «СПД»;

- с 2005 года – добавлен прибор «Баббл-дозиметр» и «Мосфет»;

- с 2007 года – добавлен прибор «Люлин-5»;

- с 2008 года – добавлен прибор «АСТ-Спектрометр»;

- с 2009 года – добавлен «Антропоморфный тканеэквивалентный фантом» («Рендо») [2, С. 393];

- с 2010 года – добавлена укладка «Шторка защитная»;

- с 2013 года – добавлена НА «Тритель».

В настоящее время НА КЭ «Матрешка-Р» состоит из шести действующих комплектов: «Шаровой фантом», «СПД», «Люлин-5», «Баббл-дозиметр», «Штор-

ка защитная», «Тритель». Каждый из них имеет свой уникальный состав и особенности.

Рост состава НА КЭ «Матрешка-Р» представляет собой целенаправленный процесс расширения исследований в данной области. За 14 лет в КЭ «Матрешка-Р» количество НА увеличилось с 2 до 8 разных комплектов, что повлекло за собой изменение методических подходов для подготовки космонавтов (диаграммы 1, 2).

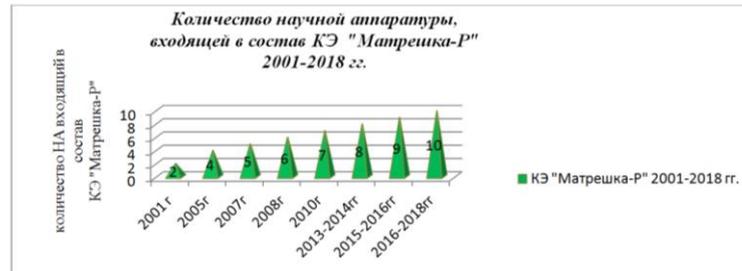


Диаграмма 1. Динамика изменения количества научной аппаратуры в КЭ «Матрешка-Р»

Подготовка по КЭ «Матрешка-Р»

На фоне периодического дооснащения научной аппаратурой КЭ «Матрешка-Р» и соответственно увеличением количества тренажерной аппаратуры по этому эксперименту, увеличивался и объем подготовки космонавтов.

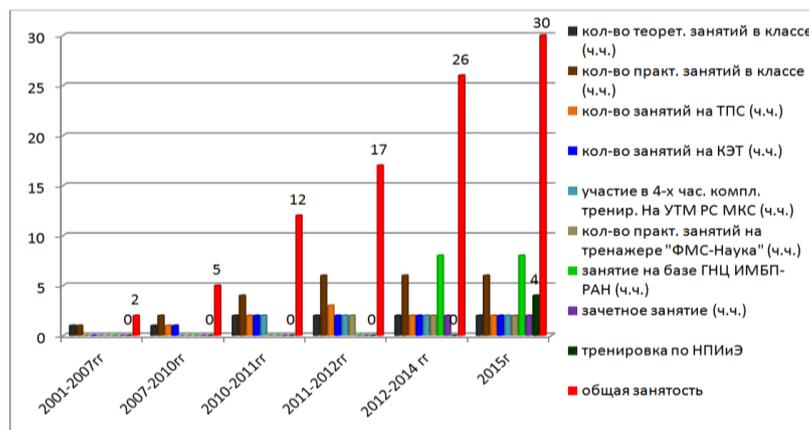


Диаграмма 2. Объем подготовки космонавтов по КЭ «Матрешка-Р» (часы на одного космонавта)

Процесс формирования навыков у космонавтов по проведению КЭ «Матрешка-Р» на протяжении всего существования КЭ «Матрешка-Р» претерпевал этапный метаморфоз с сопутствующим ему приростом НА, увеличением часов подготовки и внедрением новых методик подготовки. В зависимости от наращивания КЭ условно выделено 6 этапов методического развития подготовки космонавтов по КЭ «Матрешка-Р» (диаграмма 2):

1 этап – 2001–2007 гг. На базе ЦПК проводилась подготовка космонавтов по работе с научной аппаратурой в виде теоретического и практического занятия в классе. В среднем подготовка на одного космонавта занимала 2 часа.

2 этап – 2007–2010 гг. Для закрепления и контроля полученных практических навыков добавлена тренировка в рамках типовых полетных суток (ТПС) и комплексных экзаменационных тренировок (КЭТ).

3 этап – 2010–2011 гг. Для промежуточного контроля уровня подготовки космонавта к проведению эксперимента на борту в 2010 году внедряются 4-часовые комплексные тренировки на УТМ РС МКС (проверка знаний на самостоятельное выполнение КЭ в интерьере станции). Космонавт в условиях, максимально приближенных к реальному полету, отрабатывает циклограмму эксперимента с использованием штатных радиogramм, бортовой документации под руководством специалиста ЦПК. По итогам тренировки можно судить об уровне подготовки к проведению эксперимента. При выявлении ошибок и замечаний проводятся дополнительные практические занятия в классе.

4 этап – 2011–2012 гг. Новым этапом совершенствования подготовки стало внедрение современных технологий в подготовку космонавтов по программе НПИиЭ. Был создан тренажер «ФМС-Наука», с помощью которого можно отрабатывать практические навыки работы по КЭ без использования реальной НА. Для подготовки космонавтов в качестве дополнительного тренажера была разработана 3D-модель НА «Баббл-дозиметр» (3D-модель имеет три режима: демонстрационный, тренировочный и экзаменационный).

5 этап – 2014 гг. Включение занятий на базе постановщика КЭ ГНЦ РФ–ИМБП РАН для более углубленного ознакомления с результатами экспериментов, полученных в предыдущих экспедициях и знакомством с перспективной научной аппаратурой. Также в 2014 году в подготовку внедрено зачетное занятие в классе, которое состоит из двух частей:

- теоретическая часть зачета подразумевает контроль знаний по научным основам, целям и задачам эксперимента, результатам эксперимента, полученным в предыдущих экспедициях, составу научной аппаратуры;

- практическая часть подразумевает контроль практических умений и навыков по монтажу, демонтажу научной аппаратуры, по процедурам выполнения конкретного эксперимента, по отработке расчетных нештатных ситуаций, по техническому обслуживанию научной аппаратуры.

6 этап – 2015 г. Это современное состояние подготовки космонавта по КЭ «Матрешка-Р», занимает в среднем 30 часов на неопытного космонавта.

Апробирована и внедрена в подготовку 4-часовая тренировка по НПИиЭ на тренажере РС МКС. В интерьерах станции космонавт отрабатывает несколько КЭ с использованием тренажных комплектов НА, штатных радиogramм, бортовой документации под руководством специалиста [5].

В итоге космонавт после прохождения подготовки по формированию навыков по проведению КЭ «Матрешка-Р» должен обладать следующими знаниями и навыками:

1. Знать:

- цели и задачи эксперимента;
- физические основы проведения КЭ «Матрешка-Р»;
- принципы построения бортового научного оборудования КЭ «Матрешка-Р»;
- состав научной аппаратуры и вспомогательного оборудования;

- состав возвращаемого оборудования;
- циклограмму выполнения эксперимента;
- меры безопасности при выполнении эксперимента;
- какие действия необходимо предпринять для приведения научной аппаратуры в безопасную конфигурацию в случае возникновения нерасчетной нештатной ситуации (до принятия решения Землей по устранению этой ситуации).

2. Сформировать навыки:

- выполнения эксперимента «Матрешка-Р» (работа с аппаратурой с использованием бортовой документации и радиogramм, взаимодействие между членами экипажа и ГОГУ и т.д.).

Эффективность обучения космонавтов по КЭ «Матрешка-Р» определяется факторами, влияющими на формирование *навыков* проведения КЭ:

- 1) знание результатов выполнения КЭ;
- 2) предотвращение неправильного хода КЭ;
- 3) знание возможных нештатных ситуаций КЭ;
- 4) разнообразие условий тренировки (учебный класс, комплексный тренажер), которое выявляется в необходимой вариации объема, порядка, условий, предъявления тренажерного образца НА;
- 5) знание метода и способа обучения, применяемого при тренировке;
- 6) необходимость понимания принципов, общей системы выполнения КЭ.

Одним из важных критериев методического подхода к подготовке космонавтов является то, что преподаватель (инструктор) при отработке любого КЭ с космонавтами использует метод непрерывного обучения в рамках одного КЭ или работы с одной научной аппаратурой и не может делить занятие на части ввиду того, что нужно получать знания и формировать *навыки* выполнения всего КЭ, следуя пошаговой инструкции (циклограммы), и знать строгую последовательность проведения КЭ. Что касается КЭ «Матрешка-Р», то он так же, как и другие работы, должен выполняться космонавтами на борту в выделенный промежуток времени. Здесь космонавты должны не только четко выполнить эксперимент, но и уложиться в отведенное время. Космонавтам требуется: сконцентрироваться на проведении КЭ, проявить *гибкость*, что необходимо при выполнении сложных операций [1].

Выделим дополнительный фактор, благоприятствующий формированию *навыков* космонавтов для проведения КЭ «Матрешка-Р» – дополнительная тренировка, протекающая в форме фактических повторений с использованием 3D-моделей космической научной аппаратуры в личное время.

Перспектива развития КЭ «Матрешка-Р»

В перспективе на 2016–2018 гг. в КЭ «Матрешка» предполагается дооснащение следующей аппаратурой: «ЭП-Нейтрон-спектр» и «Дозиметрический комплекс «Матрешка-АФ» (диаграмма 1) [3].

Данная аппаратура находится на стадии разработки. На этом этапе привлекаются опытные космонавты на приемо-сдаточные испытания (ПСИ). Во время ПСИ разработчики аппаратуры с участием космонавтов выполняют отработку методики и типовой циклограммы тестовых проверок: подготовка к выполнению сеанса тестовой проверки, отработка сеанса тестовой проверки, проведение заключительных операций тестовой проверки, демонтаж электрической схемы и др.

Выводы

1. На протяжении всей пилотируемой космонавтики вопрос радиационного контроля на орбитальных станциях «Мир» и МКС всегда был актуален среди научного мира. В рамках радиационно-физических исследований осуществляется сбор, обработка и анализ экспериментальных данных о биологически значимых характеристиках ионизирующих космических излучений.

2. В статье проведен анализ развития КЭ «Матрешка-Р» в период с 2001 года по настоящий момент. Показана динамика изменения количества НА КЭ «Матрешка-Р» с перспективой дооснащения эксперимента новым оборудованием до 2018 года.

4. Рассмотрен процесс формирования навыков у космонавтов по проведению КЭ «Матрешка-Р» и используемые методы.

5. Описаны этапы совершенствования подготовки по КЭ «Матрешка-Р» и факторы, влияющие на формирование навыков проведения КЭ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности // Акад. мед. наук СССР. Н.А. Бернштейн. – М., 1966.
- [2] Бондаренко С.С. Подготовка космонавтов к проведению космического эксперимента «Матрешка-Р»: основные этапы развития и совершенствования // К.Э. Циолковский и этапы развития космонавтики. Материалы 50-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»), 2015. – 429 с.
- [3] Бондаренко С.С. Космическая радиация и радиационно-физические исследования на Международной космической станции: Учебно-справочное пособие. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2015. – 71 с.
- [4] Григорьев А.И., Ушаков И.Б. Космическая медицина и биология: Сборник научных статей. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2013. – 684 с.
- [5] Космическая биология и медицина: Том 2. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. – Учреждение РАН ГНЦ РФ–ИМБП, 2011.
- [6] Лишнецкий А.Э. Диссертация «Вариации радиационной обстановки на Международной космической станции на фазе спада 23-го цикла солнечной активности». – М., 2014.
- [7] Попова Е.В., Бондаренко С.С. Основные этапы развития и совершенствования подготовки космонавтов по эксперименту по радиационной защите «Матрешка-Р» // Материалы научно-практической конференции «Полеты в космос. История, люди, техника». – Звездный городок, 2014.
- [8] Шафиркин А.В. Межпланетные и орбитальные космические полеты. Радиационный риск для космонавтов (радиобиологическое обоснование) / А.В. Шафиркин, Ю.Г. Григорьев // Государственный научный центр Российской Федерации–Институт медико-биологических проблем РАН; ФГУ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна». – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2009. – 639 с.

УДК 372.881.1

**ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ
КОСМОНАВТОВ ИНОСТРАННОМУ (АНГЛИЙСКОМУ) ЯЗЫКУ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Н.А. Дворядкина

Н.А. Дворядкина (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются проблемы профессионально ориентированного обучения космонавтов иностранному (английскому) языку на всех этапах подготовки к космическому полету в ЦПК имени Ю.А. Гагарина, особенности обучения в условиях реализации профессионально ориентированной проектной деятельности, а также результаты авторских разработок в области создания электронного учебно-методического комплекса (ЭУМК) на платформе модульной объективно-ориентированной среды обучения (MOODLE) для космонавтов, изучающих английский язык.

Ключевые слова: профессионально ориентированное обучение космонавтов английскому языку, метод проектов, электронный учебно-методический комплекс на платформе Moodle.

Experience of Tackling Tasks of Professionally Oriented Foreign (English) Language Training for Cosmonauts Using Computer-Assisted Teaching Materials. N.A. Dvoryadkina

The paper considers the problems of professionally oriented foreign (English) language training for cosmonauts at all stages of preparation for spaceflight at Gagarin Cosmonaut Training Center, the specifics of training under conditions of implementing professionally oriented project activities, and results of author's development in the creation of computer-assisted teaching materials based on Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (Moodle) designed for English language training of cosmonauts.

Keywords: professionally oriented English language training for cosmonauts, project activities, computer-assisted teaching materials based on Moodle.

Введение

Современные условия стремительно развивающихся международных деловых контактов России с коллегами и партнерами из разных стран, участвующих в создании и реализации совместной программы Международной космической станции (МКС), обусловили необходимость овладения иностранным (английским) языком (ИЯ) для большинства специалистов ракетно-космической отрасли, а интенсификация профессиональной деятельности космонавтов российского космического агентства в тесном контакте с зарубежными коллегами актуализирует проблему их подготовки к общению на ИЯ.

Специфика деятельности космонавта такова, что ему, в первую очередь, требуется умение качественно выполнять свои профессиональные функции в экстремальных и непривычных для человека условиях космического полета в течение нескольких месяцев и в то же время, постоянное общение и взаимодействие с иностранными коллегами – членами смешанных межнациональных экипажей, а также зарубежными специалистами наземных центров управления полетами (ЦУП), расположенных по всему миру. В связи с этим умение правильно постро-

ить дискурс зачастую определяет эффективность и успешность профессиональных контактов рассматриваемой категории специалистов. К числу типичных видов дискурса для профессиональной деятельности космонавтов можно отнести: встречи с зарубежными коллегами и партнерами в рамках проекта МКС, участие в специализированной космической подготовке на базе зарубежных космических агентств, взаимодействие с иностранными членами международного экипажа (астронавтами) во время космического полета, участие в пред- и послеполетных пресс-конференциях экипажа МКС и интервью с представителями зарубежных СМИ. Профессиональное общение космонавтов также может происходить в условиях экстремальных нештатных (аварийных) работ на борту МКС. В этом случае специалисту необходимо обладать умениями быстро ориентироваться в сложившейся нестандартной ситуации, оперативно находить пути решения возникающих коммуникативных задач, верно и точно использовать ИЯ в целях координации действий всех членов экипажа, принятия решений в условиях риска, организации слаженной и результативной работы в интернациональной команде.

В процессе трудовой деятельности космонавты принимают непосредственное участие в живом общении с представителями своей профессии, но иной страны и культуры, в связи с чем владение профессионально ориентированным ИЯ наряду со знанием культурных особенностей членов интернационального экипажа занимает далеко не последнее место в списке профессионально значимых качеств и умений специалиста в области пилотируемой космонавтики. Задачами языковой подготовки космонавтов в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) являются: повышение эффективности международного сотрудничества в области освоения космического пространства; расширение возможностей использования различных зарубежных источников профессионально значимой информации, деловых и личных контактов с иностранными коллегами и партнерами; пробуждение интереса, воспитание доброжелательности, терпимости и уважения к культурному разнообразию и национальной самобытности иностранных членов международных экипажей для достижения наиболее полного взаимопонимания как в процессе подготовки к выполнению космического полета, так и во время осуществления профессионального и бытового общения в период проведения совместных работ на борту МКС (схема 1).

Опыт обучения ИЯ космонавтов

В настоящее время приоритетным направлением в иноязычном образовании специалистов разных профессий признается профессионально ориентированное обучение ИЯ. Под профессионально ориентированным понимается обучение, содержание которого основывается на учете потребностей обучающихся в изучении иностранного языка, диктуемых спецификой профессии, требующей его изучения [2]. Таким образом, содержание курса обучения профессионально ориентированному иностранному языку специалистов должно обеспечивать формирование и развитие знаний, навыков и умений, соответствующих запросам и целям того или иного контингента обучающихся. Оно предполагает сочетание овладения профессионально ориентированным иностранным языком с развитием личностных качеств обучающихся, знанием культуры страны изучаемого языка и приобретением специальных навыков, основанных на профессиональных и лингвистических знаниях.

Задачи языковой подготовки космонавтов



Изучение научной литературы в области методики преподавания иностранных языков и наблюдение за процессом англоязычной подготовки космонавтов в ЦПК позволили прийти к выводу о том, что большинство учебных пособий и материалов, используемых в целях обучения, не реализуют новейшие данные современной методической науки, а организацию самого процесса обучения зачастую характеризует традиционная педагогическая модель преподавания, не учитывающая специфику взрослых учащихся, в нашем случае, квалифицированных специалистов с одним или несколькими высшими образованиями, обучающихся по программе подготовки к космическому полету. В содержании данных пособий отсутствует выраженная направленность на сферу профессиональной деятельности космонавтов, в связи с чем реализация профессионально ориентированного обучения становится невозможна. Преподаватели ЦПК вынуждены обучать космонавтов, а космонавты вынуждены изучать английский язык по материалам малоинформативных отечественных и зарубежных учебных изданий, которые содержат в основном знания гуманитарного характера и не соотнесенные с профессией обучающихся учебные тексты и упражнения, созданные исключительно в целях иллюстрации того или иного лексико-грамматического явления, а также на основе фрагментов учебных материалов различных образовательных ресурсов сети Интернет (azargrammar.com, americanenglish.state.gov—english-teaching-forum, NASA Education, и др.).

В целом анализ тематического содержания учебных материалов основных учебников и учебных пособий, используемых преподавательским составом ЦПК в процессе англоязычной подготовки космонавтов, показал, что в них ощущается острый дефицит современных учебных материалов, фактическое отсутствие наглядных иллюстраций и рисунков, а также текстов, содержащих информацию о профессиональной подготовке космонавтов, современных космических аппаратах и особенностях работы в космическом полете. В результате обучающиеся работают либо с технически устаревшим учебным материалом, содержащим информацию, которая не потребуется им в их профессиональной деятельности, либо с учебными пособиями, содержащими в основном материалы гуманитарного профиля, что неизбежно снижает их мотивацию к изучению ИЯ как средства получения информации, непосредственно связанной с их профессиональной деятельностью.

Основные аспекты создания ЭУМК на базе использования модульной объектно-ориентированной среды обучения

Целью образовательного процесса по изучению ИЯ в ЦПК является формирование профессиональной иноязычной коммуникативной компетенции у космонавтов, подразумевающей корректное владение иностранным (английским) языком в пределах тем, которые охватывают повседневную жизнь и деятельность специалистов при выполнении профессиональных задач космического полета. Поэтому необходимо переосмыслить существующий опыт языковой подготовки слушателей и оптимизировать методические подходы к организации обучения и содержанию учебных материалов.

В качестве шага в этом направлении автор предлагает разработанный им на образовательной платформе Moodle (Modular Object Oriented Developmental Learning Environment – модульная объектно-ориентированная среда обучения) электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) для преподавания английского языка в ЦПК в рамках программы профессиональной подготовки специалистов к космическому полету с применением современных интернет-технологий и интерактивных форм обучения. Созданный ЭУМК обеспечивает реализацию авторской модели учебного процесса, направленной на формирование профессиональной иноязычной коммуникативной компетенции у космонавтов, с учетом как общих, так и специфических научно-методических принципов разработки учебно-методических материалов для взрослых, иными словами – андрагогических принципов, составляющих основу теории обучения взрослых. Известно, что общие научно-методические принципы включают принцип системности, принцип доступности, принцип систематичности и последовательности изложения материала. Специфические научно-методические принципы основываются на андрагогических принципах обучения и учитывают следующие факторы: принцип опоры на опыт обучающихся, принцип контекстности обучения, принцип актуализации, принцип приоритета самостоятельного обучения, принцип контроля. Авторский ЭУМК для обучения космонавтов английскому языку характеризуется, прежде всего, системной структурированностью, ориентированностью на реальную практику и решение проблемных ситуаций, связанных с профессиональной сферой деятельности слушателей. В качестве специфических методов, использованных автором при разработке учебных заданий для проведения англоязычной подготовки космонавтов в ЦПК, рассматривается интеграция учебной, исследователь-

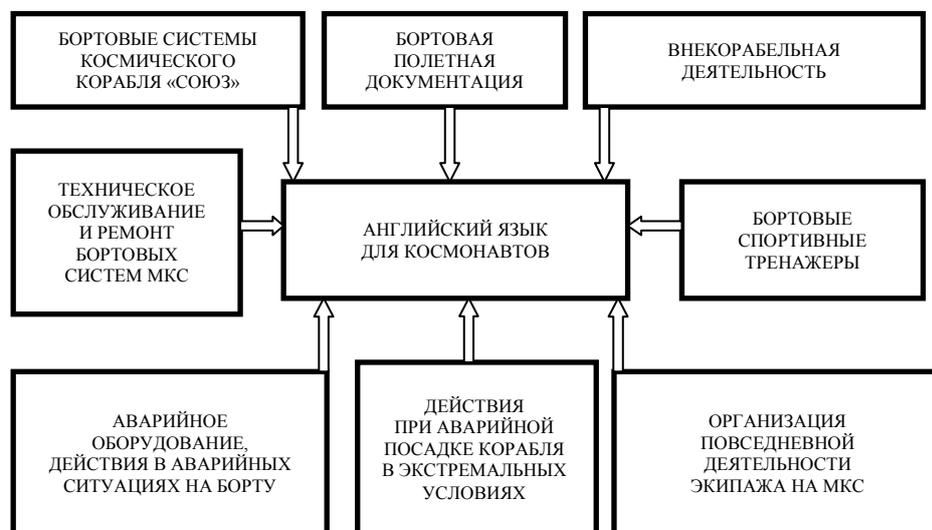
ской и профессиональной деятельности, которая наиболее полно реализуется в проектной технологии. По определению Е.С. Полат, метод проектов как педагогическая технология предполагает совокупность исследовательских, поисковых, проблемных методов, творческих по самой своей сути, позволяющих решить ту или иную проблему в результате самостоятельных познавательных действий и предполагающих презентацию этих результатов в виде конкретного продукта деятельности. Учебно-профессиональный проект трактуется как результат решения практически значимой в профессиональном плане проблемы, полученный в процессе индивидуальной, парной или групповой иноязычной деятельности обучающихся.

Решение профессионально-предметных задач средствами ИЯ в учебной ситуации иноязычного общения является основной предпосылкой развития профессиональной мотивации космонавтов ЦПК в овладении ИЯ. Например, задачи, связанные с работой специалистов в космическом полете: подготовка циклограммы выполнения выхода в открытый космос; разработка плана разрешения нештатной ситуации на МКС; организация действий экипажа при подготовке к старту и т.д. С этой целью необходима связь обучения космонавтов английскому языку с изучением специальных дисциплин программы космической подготовки (схема 2), т.е. осуществление межпредметной координации, обеспечивающей высокую информативность и актуальность учебных материалов. Работа с таким материалом способствует активизации коммуникативной мотивации обучающихся и готовности использовать полученную информацию в сфере профессиональной деятельности.

Профессиональная сфера общения космонавтов является ведущей и основополагающей для определения содержания профессионально ориентированного обучения ИЯ в ЦПК, поскольку изучение английского языка космонавтами представляет собой процесс практического овладения языком, специфика которого определяется характером профессиональной деятельности.

Схема 2

Междисциплинарные связи в преподавании английского языка космонавтам



В рамках профессиональной сферы общения космонавтов следует выделить компоненты, отражающие взаимосвязь и взаимообусловленность содержания обучения ИЯ и специализированной космической подготовки. Анализ требований к уровню профессиональной подготовки космонавтов и их профессиональных потребностей, а также консультации с инструкторско-преподавательским составом специализированных систем космического корабля и станции позволили определить характер междисциплинарных связей в преподавании английского языка в ЦПК, что, в свою очередь, сделало возможным осуществить переход от предметного принципа построения системы обучения ИЯ к принципу межпредметной координации.

Разработанный автором ЭУМК для подготовки космонавтов по ИЯ характеризуют высокая степень функциональности, техническая профессионально ориентированная содержательность его учебных текстов, а также последовательно целевой, профессионально направленный и коммуникативно ориентированный характер всех учебных материалов.

Рассматриваемый ЭУМК состоит из *Рабочей книги для космонавта* (в бумажном и электронном вариантах) и *Книги преподавателя* (в бумажном варианте). В *Рабочую книгу* включены материалы и задания, необходимые для аудиторной подготовки обучающихся. *Книга преподавателя* содержит рекомендации по организации и проведению аудиторных занятий, ответы к заданиям из *Рабочей книги*. Иллюстративно-графический материал учебника занимает около 35 % всего объема, что в немалой степени обеспечивает его высокую учебную эффективность. *Рабочая книга* состоит из 15 блоков (*Units*), разделенных на три основные части, каждая из которых предназначена для изучения ИЯ на определенном этапе специализированной технической подготовки космонавтов: общекосмическая подготовка (*Basic Space Training*), подготовка в группах специализаций и совершенствования (*Advanced Space Training*), подготовка в составе экипажа (*Increment-Specific Training*). Отдельная часть включает в себя 5 блоков, каждый из которых, в свою очередь, состоит из 2–3 уроков (*Lesson*), объединенных одной лексической темой в области пилотируемых космических полетов, например: Подготовка космонавтов в России (*Cosmonaut training in Russia*); Нештатная работа на борту МКС (*Contingency on board the ISS*), Выход в открытый космос (*Spacewalk*). Каждый блок посвящен определенному аспекту организации подготовки и деятельности космонавтов в полете, в совокупности составляющих интегрированный курс профессионального развития специалистов на английском языке (таблица).

Каждый урок представляет собой специально разработанную систему профессионально направленных и коммуникативно ориентированных обучающих заданий. В структуре каждого практического урока предусмотрены четыре разновидности заданий (*Activity*), предназначенные для аудиторной работы: 1. Подготовительные (разнообразные «разминочные» и ознакомительные задания) (*Warm-up*). 2. Чтение (*Reading*) (*предтекстовые задания* – задания, связанные с прогнозированием, антиципацией содержания текста, актуализацией профессиональных знаний; *аутентичный специализированный визуальный/аудиовизуальный текст с профессионально ориентированной лексикой*; различные *послетекстовые задания* – ответы на вопросы с использованием материала текста, восстановление фрагментов текста в правильной последовательности, выбор слов с общим значением из синонимичного ряда, поиск соответствия между словами и дефинициями и т.д.).

**Тематические блоки интегрированного курса обучения космонавтов
английскому языку**

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ КОСМОСА Подготовка космонавтов к космическому полету	
ENGLISH FOR SPACE EXPLORERS Preparing Cosmonauts for Space Flight	
Тема блока (Unit)	Темы уроков (Lessons)
ЧАСТЬ 1. ОБЩЕКΟΣМИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА PART 1. BASIC SPACE TRAINING	
1. БЫТЬ КОСМОНАВТОМ 1. TO BE A COSMONAUT	Урок I: Приветствия и разговор на общие Темы Lesson I: Greetings and Small Talk Урок II: Автобиографический очерк космонавта Lesson II: Autobiographical Sketch of a Cosmonaut Урок III: Собеседование с кандидатом в космонавты Lesson III: Interview for a Cosmonaut Job
2. ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ КОСМОСА 2. OUTREACH TO SPACE	Урок I: Новый экипаж отправится на МКС Lesson I: New Crew Launches to the ISS Урок II: Один день из жизни экипажа на борту МКС Lesson II: One Day from the ISS Crew Life
3. КОСМИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ 3. MEALTIME IN SPACE	Урок I: Еда и культура: разнообразие кухни Lesson I: Food & Culture: Variety of Cuisines Урок II: Приятного аппетита на борту МКС Lesson II: Enjoy Your Meal Aboard the ISS
4. ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ В РОССИИ 4. COSMONAUT TRAINING IN RUSSIA	Урок I: Путешествие по России Lesson I: Exploring Russia Урок II: Подготовка в ЦПК Lesson II: Training in GCTC
5. ПОДГОТОВКА ЭКИПАЖА К ВЫЖИВАНИЮ ПРИ ПОСАДКЕ КОРАБЛЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 5. CREW SURVIVAL TRAINING	Урок I: Тренировки по выживанию в России и в Америке Lesson I: Survival Training: Russia vs. America Урок II: Нештатная посадка экипажа корабля «Союз» Lesson II: Soyuz Crew Off-Nominal Landing
ЧАСТЬ 2. ПОДГОТОВКА В ГРУППАХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ PART 2. ADVANCED SPACE TRAINING	
1. ПОЛЕТ К МКС 1. JOURNEY TO THE ISS	Урок I: Подготовка к старту Lesson I: Prepare for LiftOff Урок II: Полет на борту корабля «Союз» Lesson II: Safety Flight on board Soyuz
2. МНОГОНАЦИОНАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ 2. MULTICULTURAL SPACE STATION	Урок I: Многообразие культур на борту МКС Lesson I: Cultural Diversity on board the ISS Урок II: Развертывание Международной космической станции Lesson II: To Expand the International Space Station

Окончание таблицы

3. ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ ЗА РУБЕЖОМ 3. COSMONAUT TRAINING ABROAD	Урок I: Место назначения – штат Техас! Поездка в Хьюстон Lesson I: Destination – Texas! Exploring Houston Урок II: Подготовка в космическом центре им. Л. Джонсона Lesson II: Training in Johnson Space Center
4. ОСТАВАТЬСЯ В ФОРМЕ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ 4. STAYING FIT ON EARTH AND IN SPACE	Урок I: Физическая подготовка к космическим полетам Lesson I: Physical Preparations for Space Exploration Урок II: Физкультура в космосе Lesson II: Space Fitness
5. НЕШТАТНАЯ РАБОТА НА БОРТУ МКС 5. CONTINGENCY ON BOARD THE ISS	Урок I: Техническое обслуживание и ремонт на борту МКС Lesson I: Maintenance & Repairs on board the ISS Урок II: Аварийная ситуация на борту МКС Lesson II: Emergency on board the ISS
ЧАСТЬ 3. ПОДГОТОВКА В СОСТАВЕ ЭКИПАЖА PART 3. INCREMENT-SPECIFIC TRAINING	
1. ВСЕ О НАШЕМ ЭКИПАЖЕ 1. ALL ABOUT OUR CREW	Урок I: Межкультурное взаимопонимание между членами экипажа МКС Lesson I: Cross-Cultural Understanding between ISS Crewmembers Урок II: Мы – экипаж экспедиции на МКС Lesson II: We are the Crew of ISS Expedition
2. ЖИЗНЬ НА БОРТУ МКС 2. LIFE ON BOARD THE ISS	Урок I: Осуществление командования МКС: повседневное руководство Lesson I: To Command the ISS: Everyday Leadership Урок II: Режим труда и отдыха на борту МКС Lesson II: Work-Rest Routine on board the ISS
3. ВЫХОД В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС 3. SPACEWALK	Урок I: Задачи ВКД Lesson I: Objectives of SpaceWalk Урок II: Подготовка оборудования к ВКД Lesson II: ISS Crew Gears Up for SpaceWalk Урок III: Приступим к ВКД Lesson III: SpaceWalk Begins
4. КОММУНИКАЦИЯ В КОСМОСЕ 4. COMMUNICATION IN SPACE	Урок I: Мирное общение на борту МКС Lesson I: The Language of Peace on board the ISS Урок II: Связь «Космос–Земля» Lesson II: Space-to-Ground Communications
5. В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ СМИ: ПРЕСС-КОНФЕРЕНЦИЯ ЭКИПАЖА 5. IN THE FOCUS OF MASS MEDIA ATTENTION: CREW NEWS CONFERENCE	Урок I: Публичные выступления Lesson I: Speaking in Public Урок II: Пресс-конференция с экипажем МКС Lesson II: Press-Conference with the ISS Crew

3. Лексико-грамматические задания (*Grammar and Language Focus*) (посвящены повторению или, при необходимости, изучению соответствующего параграфа грамматического справочника (*Grammar-Theory*) по английскому языку и включает систему упражнений по активизации изученного материала на основе тематической лексики блока). 4. Проектная работа (*Project Work*) (планируется по окончании работы над профессиональной темой каждого урока на этапе творческого осмысления и применения изученного материала при разрешении типичных для сферы космической деятельности проблемных ситуаций. Источником профессиональной иноязычной информации для разрешения космонавтами данных ситуаций выступают аутентичные тексты по изучаемой теме, а также имеющиеся у обучающихся знания по дисциплинам программы космической подготовки и их личный профессиональный опыт. Проекты предусматривают для обучающихся возможность выработки собственных вариантов решения проблем профессионального характера, обеспечивая их когнитивную и эмоциональную вовлеченность в процесс обучения.) В конце каждого блока представлен англо-русский словарь терминов и терминологических сочетаний, являющихся наиболее важными для запоминания и часто применимыми при решении коммуникативных задач в рамках соответствующей темы и в ситуациях профессионального общения.

Разработанная автором методическая система заданий в *Рабочей книге*, входящей в состав ЭУМК, делает ее применимой для космонавтов, находящихся на начальном, среднем и продвинутом этапах изучения английского языка.

Отдельным составным компонентом *Рабочей книги* является грамматический справочник, предназначенный для изучения грамматических норм и явлений английского языка. Представленный в нем материал систематизирован: смоделированы опорные обобщающие таблицы, конкретизирующие и разъясняющие грамматические правила.

Следует отметить, что для космонавтов не требуется овладение всей грамматической сложностью английского языка. Основное внимание в процессе их обучения необходимо уделять тем грамматическим структурам, которые имеют функциональное значение в конкретных ситуациях профессионального и бытового общения. Основные разделы грамматики, которые включены в курс английского языка для космонавтов, следующие: временные формы глаголов, артикли, степени сравнения прилагательных, числительные, модальные глаголы, страдательный залог, повелительное наклонение, союзы и относительные местоимения *that, which, what*.

Все задания ЭУМК построены по принципу «от простого – к сложному» и органически связаны между собой, ступенчато и поэтапно дополняя друг друга. Предтекстовые, текстовые и послетекстовые задания лексически и грамматически связаны с основной темой урока и, будучи нацеленными на формирование коммуникативных умений, постепенно подводят обучающихся к разговорной практике по данной теме, способствуют дальнейшему развитию и совершенствованию профессиональной коммуникации обучающихся космонавтов (при составлении монологических и диалогических высказываний, при выполнении проектных работ). При этом от задания к заданию соблюдается принцип повторяемости слов и словосочетаний, что служит одним из условий их естественного запоминания без механического зазубривания и последующего применения в устной и письменной речи, слуховому и образному распознаванию.

Методические особенности ЭУМК

К основным методическим особенностям разработанного ЭУМК относятся:

- последовательная профессиональная ориентированность всего учебного материала по ИЯ в соответствии с каждым этапом специализированной подготовки космонавтов;

- полное погружение обучающихся космонавтов в обстановку своей профессиональной деятельности, начиная с самого первого занятия. Учебные задания способствуют созданию профессионально ориентированной обстановки для обучающихся с помощью иллюстраций и видеоряда;

- последовательная реализация через структуру и содержание материалов ЭУМК принципа постепенного наращивания трудностей. Специально разработанная автором методическая система в целом и подсистема предтекстовых, текстовых и послетекстовых заданий обеспечивают укрепление у каждого обучающегося уверенности в своих силах;

- обеспечение легкости запоминания и прочности усвоения основного объема вводимой учебной информации за счет многократного повторения одних и тех же, либо варьируемых типовых профессионально ориентированных слов, словосочетаний, предложений и введения нового материала. При повторении материала используются творческие задания, активизирующие мыслительную деятельность и способствующие развитию неподготовленной речи обучающихся;

- высокая степень наглядности, детальная визуализация многих агрегатов, приспособлений, устройств, процессов по темам уроков. Это достигается путем подбора профессионально точных иллюстраций, схем, рисунков, таблиц, делающих предмет изучения предельно ясным, понятным и легко узнаваемым обучающимися;

- вводимые на занятиях по ИЯ английские аббревиатуры, термины, терминологические сочетания и выражения соответствуют русским эквивалентам, с которыми обучающиеся космонавты регулярно сталкиваются в процессе теоретической и практической подготовки по различным специальным «космическим» дисциплинам. В конце каждого блока представлен словарь-минимум;

- детальное знакомство с основными аспектами профессиональной деятельности космонавтов, которое автор обеспечивает посредством отбора и введения только тех профессионально ориентированных терминологических сочетаний, терминов, выражений, оборотов, конструкций и грамматических явлений, которые действительно необходимы обучающимся в их практической работе;

- исключение излишней перегруженности внимания обучающихся, которые не отвлекаются на запоминание редко встречающихся в профессионально ориентированной литературе и ненужных им в процессе осуществления практической деятельности грамматических явлений;

- тщательная отработка навыков и умений практического применения оптимального набора действительно необходимых грамматических норм и явлений с использованием реальных образцов речи, понятных и профессионально близких обучающемуся примеров;

- тщательный отбор всего вводимого на занятиях материала с точки зрения его практической применимости в профессиональной деятельности космонавта.

ЭУМК подразумевает удобную панель управления для преподавателя и обучающегося, а также автоматическую обработку и проверку заданий. Неоспоримым преимуществом рассматриваемого ЭУМК перед традиционным типом учебников на бумажном носителе является наличие возможности самостоятельного

(без привлечения технических специалистов) постоянного обновления учебного материала и внесение необходимых коррективов и его доработки в соответствии с актуальными требованиями времени и пользователей.

Доступ к учебным материалам осуществляется только по вводу пароля, создаваемого преподавателем в панели управления.

Доступность и простота в освоении и использовании ЭУМК не требует специальной подготовки пользователя. Структура комплекса, удобная система навигации позволяют свободно перемещаться по изучаемому материалу. Для реализации представленного ЭУМК применялись следующие технологии:

- MOODLE (от англ. Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) – модульная объективно-ориентированная среда обучения);
- HTML (от англ. Hyper Markup Language – «язык разметки гипер-текста») – стандартный язык разметки документов во Всемирной паутине);
- Минимальные требования: Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari, Yandex браузер, Opera и другие.

Разработанные автором предтекстовые, текстовые и послетекстовые задания в сочетании с динамическим видеорядом на основе оригинальных (аутентичных) источников сети Интернет эффективно вводят и активизируют тематический лексический и грамматический материал уроков, обеспечивают закрепление пройденного через визуализацию и аудирование лексических единиц и грамматических явлений при одновременной интенсификации речевой активности космонавта, изучающего английский язык.

Разработанная автором методическая система обучения представляет собой интерактивную коммуникативно ориентированную и профессионально направленную систему учебных заданий и готовит космонавтов к использованию иностранного (английского) языка в его профессиональной деятельности. Таким образом, данная система во многом отходит от принятых стереотипов в предъявлении и закреплении нового материала, в системе организации заданий и способах взаимодействий в учебной группе.

Заключение

Использование разработанного автором учебно-методического комплекса раскрывает новые возможности для интерактивного обучения иностранному языку и позволяет перейти на качественно новый уровень в профессионально направленном коммуникативно ориентированном преподавании английского языка космонавтам в ЦПК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Полат Е.С. Метод проектов на уроках иностранного языка // Иностранные языки в школе, 2000. – № 3. – С. 3–15.
- [2] Поляков О.Г. Концепция профильно-ориентированного обучения английскому языку в высшей школе. Дисс...док-ра пед. наук. – Тамбов, 2004. – 308 с.
- [3] Руженцева Т.С., Матухин П.Г. Методические аспекты применения профессионально-ориентированных электронных УМП по английскому языку. – М., 2005. – 15 с. – Деп. во ВНИИЦ, 03.07.2005в, № 50200500127.
- [4] Руженцева Т.С., Матухин П.Г. Структура и методические аспекты применения профессионально-ориентированных электронных УМП по английскому языку // Вестник РУДН. Серия: Русский и иностранный языки и методика их преподавания, 2004. – № 1(2). – С. 136–145.

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.78.072.8

ЦЕНТРИФУГА ЦФ-7 – 40 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЦЕНТРЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ имени Ю.А. ГАГАРИНА В.Н. Киршанов, А.Г. Юфкин

Киршанов В.Н., Юфкин А.Г. (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Представлена история создания и развития центрифуги ЦФ-7. Даны основные характеристики и состав центрифуги ЦФ-7. Перечислены основные направления по использованию центрифуги. Показаны перспективные планы по дальнейшей модернизации.

Ключевые слова: центрифуга, тренажер, перегрузка, электропривод.

Centrifuge TsF-7 – 40 years of operation at Yu.A. Gagarin Cosmonaut Training Center. V.N. Kirshanov, A.G. Yufkin

The history of building and development of the centrifuge TsF-7 is discussed. Main characteristics and content of the equipment of TsF-7, the list of primary tasks, and the long-term plans of further upgrading are given.

Keywords: centrifuge, simulator, g-load, electric drive

Бурное развитие космонавтики в начале 60-х годов диктовало необходимость постройки центрифуги непосредственно в Центре подготовки космонавтов. В апреле 1963 года первым заместителем Главнокомандующего ВВС маршалом авиации С.И. Руденко были утверждены тактико-технические требования на проектирование и изготовление центрифуги. По заказу Центра подготовки космонавтов центрифуга, получившая условное наименование ЦФ-7, была спроектирована и изготовлена специалистами Центрального экспериментального завода Военно-воздушных сил. После постройки в 1970 году здания для центрифуги начался монтаж ее оборудования. И уже 1 марта 1973 года центрифуга приказом начальника ЦПК была допущена к эксплуатации. Фотография центрифуги ЦФ-7 представлена на рис. 1.



Рис. 1. Современный облик центрифуги ЦФ-7

На центрифуге ЦФ-7 решаются следующие задачи:

- отбор кандидатов в космонавты в условиях воздействия перегрузок;
- медицинская экспертиза космонавтов в условиях воздействия перегрузок;
- подготовка космонавтов в условиях воздействия перегрузок;
- исследования с целью обоснования и разработки тактико-технических требований и технико-экономических показателей на создание и совершенствование специализированных динамических тренажеров на базе центрифуг для подготовки космонавтов, программ и методик испытаний этих тренажеров, а также способов и методов их безопасной эксплуатации;
- испытания объектов космической техники в условиях воздействия перегрузок.

Режимы работы центрифуги ЦФ-7 при выполнении задач представлены в графическом виде на рис. 2

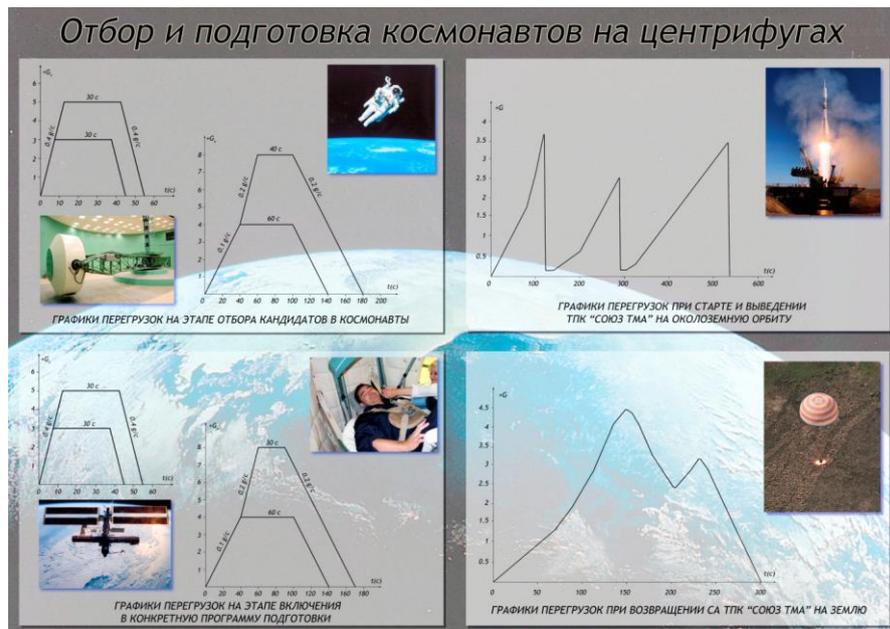


Рис. 2. Режимы работы ЦФ-7 в графическом виде

Технические характеристики центрифуги

- Диапазон создаваемых перегрузок, *ед.* 0,2–20
- Максимальная скорость изменения перегрузки, *ед./с* 7
- Радиус вращения, *м* 7
- Угловая скорость при максимальной перегрузке, *об./мин* 50,7
- Линейная скорость при максимальной перегрузке, *м/с* 37,2
- Максимальное тангенциальное ускорение, *м/с²* 21
 - Максимальное угловое ускорение, *рад/с²* 3
- Максимальный полезный груз в кабине, *кг* 200
- Вид потребляемой энергии, переменный ток 6 кВ, 50 Гц

Все оборудование центрифуги размещено в специальных помещениях, включающих: машинный зал, тиристорный зал, вентиляционное помещение, круглый зал и пультовую.

Требуемая величина перегрузки (0,2–20 *ед.*) на центрифуге ЦФ-7 достигается за счет действия центростремительного ускорения, возникающего в свободно подвешенной кабине при вращении плеча в горизонтальной плоскости. Направление перегрузки задается за счет положения тела космонавта (испытателя) относительно результирующего вектора ускорения.

Источником вращательного движения является приводной электродвигатель, с валом которого через ступицу жестко связано плечо центрифуги. Плечо центрифуги конструктивно выполнено в виде фермы и изготовлено из труб разного диаметра. На одном конце фермы подвешена кабина (длина плеча 7 м), на другом – противовес (длина плеча 3,5 м).

В кабине центрифуги изначально было установлено кресло с жесткой фиксацией в положениях «сидя» и «лежа» относительно пола кабины, находящейся в состоянии покоя (без вращения). Для перекладки кресла из одного положения в другое требовалось время, что создавало определенное неудобство в процессе подготовки космонавтов на ЦФ. По истечении трех лет эксплуатации центрифуги, после того как был приобретен определенный опыт работы с центрифугой, у специалистов отдела М.С. Мякотного (начальник отделения), И.В. Пантенкова (ведущий инженер) и Ю.Н. Померанцева (техник) появилась идея по автоматизации процесса перекладки кресла. В 1976 году силами этих специалистов предложенная идея была воплощена в практику посредством установки электромеханизма перевода кресла. Выполненная модернизация позволила сократить время и снизить трудозатраты как инженерных специалистов, так и медицинского персонала.

В 1979 году начальник отдела А.В. Любимов предложил создать на базе центрифуги ЦФ-7 тренажер управляемого спуска. В 1982 году силами специалистов 31 отдела в ЦПК был построен и введен в эксплуатацию специализированный динамический тренажер ручного управляемого спуска «Пилот-732» (рис. 3). При этом была проделана большая работа. Одна из групп сотрудников отдела разработала блок-схему тренажера на базе вычислительной машины М-220М, устройства преобразования УП6-В и АВМ МН-18, а также доработанных блоков телевизионного комплекса «Бриллиант» и штатных блоков управления спуском корабля «Союз-ТМ». Исходные данные для алгоритма программы были получены в НПО «Энергия». На заводе было заказано и изготовлено оборудование для размещения блоков управляемого спуска в кабине ЦФ-7. Специалистами отдела была разработана и внедрена программа автоматизированной оценки результатов управления спуском. В отладке программ и динамических испытаниях тренажера принимали участие сотрудники 2 отделения 24 отдела Е.П. Макаров, Г.А. Полетавкин, В.В. Рябов, Ю.С. Белухин, Л.П. Аверьянова, В.А. Павлов, В.П. Степанова, В.А. Забрусов, Л.Н. Шестакова, инструкторы 1 управления М.И. Чеботарев, И.И. Сухоруков, С.В. Силков и другие. В состав испытательной бригады, кроме выше представленных специалистов, входили представители НПО «Энергия» К.П. Феоктистов, М.Х. Манаров, С.К. Крикалёв, П.В. Виноградов.

Тренажер «Пилот-732» в течение 21 года эффективно использовался для формирования и поддержания у космонавтов устойчивых навыков и умений по ручному управлению ТПК «Союз» на атмосферном участке спуска, в том числе в условиях воздействия перегрузки.

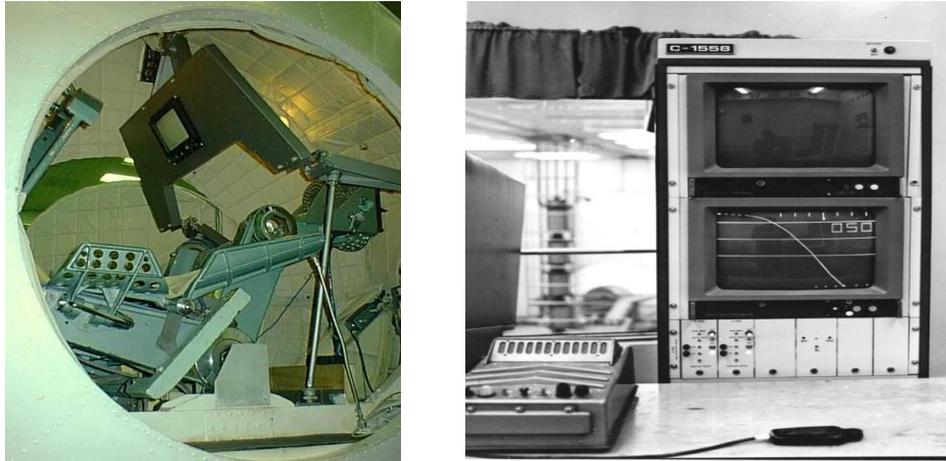


Рис. 3. Динамический тренажер ручного управляемого спуска «Пилот-732»

За период с 22 ноября 1982 года по 13 октября 2003 года на тренажере было проведено 2060 тренировок, из них 288 динамических (с воздействием на космонавта перегрузки) с наработкой 5650 часов.

Решением заместителя командира войсковой части 26266 по ТСПК от 13 октября 2003 года тренажер управляемого спуска на базе центрифуги ЦФ-7 «Пилот-732М» исключен из списка ТСПК, на которых проводится подготовка космонавтов (астронавтов) по программам МКС. На смену пришел динамический тренажер РУС ТС-18 на базе центрифуги ЦФ-18, работающий с 2002 года.

В октябре 2014 года на базе центрифуги ЦФ-7 введен в эксплуатацию тренажер спуска ТС-7 (рис. 4, 5). Это событие стало логическим продолжением развития тренажеров ЦПК на базе центрифуг.



Рис. 4. Динамическое рабочее место тренажера ручного управляемого спуска ТС-7 в кабине центрифуги ЦФ-7



Рис. 5. Статическое рабочее место тренажера ручного управляемого спуска ТС-7 в пультовой центрифуги ЦФ-7

С начала двухтысячных годов на центрифуге активно ведутся работы по ее модернизации. За период с 2000 по 2015 годы выполнено:

- заменена внутренняя обшивка в кабине центрифуги и изготовлен новый ложемент рабочего места космонавта;
- введена в эксплуатацию новая система физиологического контроля космонавта;
- заменено оборудование систем видеоконтроля и связи;
- выполнена покраска элементов фермы и кабины центрифуги;
- модернизирована система управления и силового электропривода;
- модернизирована воздушная система;
- модернизирована привязная система кресла космонавта;
- проведена реконструкция здания.

Особое внимание было уделено модернизации системы управления и силового электропривода. Работа выполнялась в несколько этапов без вывода центрифуги из процесса подготовки космонавтов, за исключением последнего этапа, на котором проходила комплексная отладка и приемо-сдаточные испытания.

После модернизации система управления и силовой электропривод центрифуги ЦФ-7 включают следующее оборудование:

1. Систему управления в составе:

- пульт главного оператора (рис. 6);
- шкаф контроллера (рис. 7);
- акселерометр А-16 с блоком питания;
- механизм стопорения кабины;
- концевые выключатели дверей кабины, круглого зала и кресла испытателя.

2. Силовой электропривод в составе:

- вертикальный электродвигатель постоянного тока (рис. 8);
- сухой силовой трансформатор (рис. 9);
- щит станции управления (рис. 10);
- тормоз колодочный с электрогидравлическим толкателем;
- тахогенератор.



Рис. 6. Пульт главного оператора центрифуги



Рис. 7. Шкаф контроллера МСУ



Рис. 8. Общий вид вертикального электродвигателя центрифуги ЦФ-7

Модернизация системы управления позволила:

- вывести из эксплуатации устаревшие морально и физически электрома-
шинные агрегаты, станции управления и защиты оборудования, станции жидкой
смазки;
- сократить время включения оборудования перед вращением;
- сократить в 1,5–2 раза расход электроэнергии;
- снизить пожароопасность оборудования;
- сократить время на обслуживание оборудования в процессе эксплуатации.



Рис. 9. Сухой силовой трансформатор



Рис. 10. Щит станции управления

В планах дальнейшей модернизации центрифуги ЦФ-7 рассматриваются проекты по созданию:

- системы управляемого подвеса кабины центрифуги;
- высокотехнологичной кабины;
- системы визуализации и звукового оформления в кабине.

Кроме того, постоянное развитие науки и техники, создание современных материалов, энергоемких технологий ставит на повестку дня задачу по проработке проекта современной центрифуги для обеспечения отбора и подготовки космонавтов. При разработке тактико-технического задания на ее создание планируется активно использовать опыт эксплуатации центрифуг Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина.

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»

В период с 10 по 12 ноября 2015 года в Центре подготовки космонавтов была проведена Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос».

Целью конференции являлась 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 работе конференции приняли участие 387 специалистов из более 50 организаций, предприятий ракетно-космической отрасли и ВУЗов. Количество участников XI-й Международной научно-практической конференции превысило количеством участников X-й Международной научно-практической конференции более чем в 2 раза. В работе конференции приняли участие 23 иностранных гражданина из 10 стран: Россия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Италия, Латвия, Словакия, США, Япония. В период работы конференции на 9 секциях и подсекциях было заслушано 216 докладов.

На Пленарном заседании конференции с приветственным словом к участникам конференции выступили дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР Б.В. Волинов, космонавт-исследователь, Герой Советского Союза, Герой Венгерской Народной Республики Фаркаш Бергалан, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, лауреат Государственной премии СССР, вице-адмирал в отставке Н.А. Северцев.

На Пленарном заседании конференции с докладами выступили: начальник ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» Ю.В. Лончаков; вице-президент по стратегии, развитию бизнеса и международной деятельности ОАО «Ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С.П. Королёва» А.Г. Деречин; директор Московского представительства Японского агентства аэрокосмических исследований JAXA Хитоши Цурума, технический директор ЗАО «РТСофт» А.Н. Ханыгин, руководитель лаборатории физики комплексной плазмы Германского космического агентства Хубертус Томас.

В рамках работы конференции был проведен круглый стол на тему «Настоящее и будущее пилотируемой космонавтики» с участием Героя РФ, летчика-космонавта РФ, космонавта-испытателя отряда космонавтов Роскосмоса О.В. Котова, космонавта-испытателя отряда космонавтов Роскосмоса Е.О. Серовой, Ге-

роя РФ, летчика-космонавта РФ, инструктора-космонавта-испытателя 1-го класса – заместителя командира отряда космонавтов Роскосмоса М.В. Тюрина.

**ВОСЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС IAC'15**
28–31 августа 2015 года, г. Москва

The 8th International Aerospace Congress IAC'15
August 28–31, 2015, Moscow

28–31 августа 2015 года в Москве, в МГУ имени М.В. Ломоносова прошел Восьмой Международный аэрокосмический конгресс IAC'15, посвященный 50-летию первого выхода человека в открытый космос и 70-летию Организации Объединенных Наций. В его работе приняли участие специалисты из 12 стран: России, Венгрии, Казахстана и др., которые сотрудничают в областях, связанных с аэрокосмической тематикой.

Цель конгресса:

- обсуждение новых достижений в аэрокосмической области, определение приоритетных направлений развития космической деятельности;
- укрепление международного сотрудничества в области аэрокосмических исследований и использования космического пространства в мирных целях.

На конгрессе было зарегистрировано около 700 участников, которые приняли участие в работе 21 секции и выступили с 290 докладами.

С пленарным докладом «Основные направления инновационной деятельности ЦПК имени Ю.А. Гагарина в обеспечении перспектив развития отечественной пилотируемой космонавтики» от Центра подготовки космонавтов выступил заместитель начальника Центра (по научной работе), кандидат технических наук В.А. Сиволап. В качестве почетного гостя конгресса присутствовал и выступил с пленарным докладом летчик-космонавт СССР, Дважды Герой Советского Союза А.А. Леонов.

Центр подготовки космонавтов на конгрессе вел свою секцию «Профессиональная деятельность экипажей пилотируемых космических и авиационных комплексов (отбор, подготовка, полет, реабилитация)», руководство которой осуществлял начальник 5 управления, доктор технических наук, доцент А.А. Курицын.

29 августа в рамках работы конгресса был проведен круглый стол «Журналисты о космосе» с участием летчиков-космонавтов России и Венгрии.

В работе конгресса приняли активное участие: летчик-космонавт РФ, Герой Российской Федерации, начальник 3 управления Ю.И. Онуфриенко; летчик-космонавт РФ, космонавт-испытатель Роскосмоса, Герой Российской Федерации М.В. Сураев; летчик-космонавт РФ, космонавт-испытатель Роскосмоса, Герой Российской Федерации С.Н. Ревин; летчик-космонавт РФ, космонавт-испытатель Роскосмоса, Герой Российской Федерации С.Н. Рязанский; космонавт-испытатель Роскосмоса А.Н. Бабкин; космонавт-испытатель Роскосмоса Е.О. Серова, а также сотрудники Центра подготовки космонавтов.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

8–9 октября 2015 года, г. Санкт-Петербург

International Scientific & Technical Conference “Extreme Robotics”

October 8–9, 2015, St. Petersburg

Ежегодная конференция «Экстремальная робототехника» проводилась в этом году 8–9 октября, в г. Санкт-Петербург.

Бессменным организатором конференции по экстремальной робототехнике выступил ГНЦ РФ «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург).

Как обычно, тематика конференции ЭР2015 охватывала многие направления современных исследований и разработок в области робототехники, мехатроники, моделирования сложных систем:

- Теория и методы проектирования робототехнических систем. Методы проектирования и моделирования робототехнических систем. Модульные роботы. Мехатроника в экстремальной робототехнике.

- Робототехника для экстремальных условий. Мониторинг, инспекция, технологические операции. Ликвидация последствий аварий и катастроф.

- Космическая робототехника.

- Морская робототехника.

- Специальная мини- и микроробототехника. Военная и антитеррористическая робототехника. Боевые, боевого обеспечения и антитеррористические робототехнические системы. Разведка, разминирование, охрана, спасательные и транспортные операции.

- Робототехника в медицине. Оказание первой помощи. Обслуживание больных и инвалидов, их реабилитация. Микророботы для обследования и лечения внутренних органов.

Работа конференции широко освещалась в изданиях Санкт-Петербурга. В прессе отмечалось значение этого события для научной жизни города и публиковались интервью видных специалистов отрасли.

Специалисты Роскосмоса и смежных организаций достойно представляли направление космической робототехники, среди выступлений особое внимание аудитории привлекли следующие доклады:

1. *С.Р. Лысый (ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев, Моск. обл.)* Научно-технические проблемы и перспективы развития робототехники специального (космического) назначения.

2. *А.В. Васильев (ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург)* Обоснование требований к мобильной робототехнической системе для геологической разведки на поверхности Луны.

3. *Ю.В. Лончаков, В.А. Сиволап, И.Г. Сохин (ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Моск. обл.)* Эргономические проблемы создания и применения антропоморфных роботов-помощников экипажей перспективных космических миссий.

4. С.В. Середин, С.Р. Лысый, В.В. Семенов, О.Ю. Абалихин, О.В. Емельдяцева, В.В. Фомина, А.С. Кондратьев, А.А. Градовцев, В.А. Коньшев (ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев, Моск. обл.; ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург) Космические робототехнические системы поддержки деятельности экипажа орбитальных и напланетных модулей.

5. А.В. Бахшиев, Д.Н. Степанов (ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург) Применение систем технического зрения для автоматического определения относительного положения роботизированных аппаратов в ходе их сближения и стыковки с объектами известной конфигурации.

6. О.В. Толстель, С.С. Орешков, М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.М. Усов (Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград; Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, г. Москва; Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Россия) Электронное прототипирование и интерактивная 3d-визуализация, как инструмент эргономического проектирования «напланетной» деятельности космонавтов с использованием космических роботов.

Руководителя секций отмечена высокая активность работ в данном направлении космической робототехники.

Среди других современных актуальных проблем организаторы конференции выделили тематику управления распределенным коллективом роботов, управления групповым поведением автономных роботов в динамических средах, представления знаний в задачах согласованного перемещения группы роботов, построения экспериментов с групповым взаимодействием в форме соревнований – игра «футбол роботов» и др. Наша страна принимает участие в RoboCup – международных соревнований среди роботов, что позволяет реально оценить уровень исследований, поскольку игры проходят на одинаковой технической базе.

Можно констатировать, что сегодня на первый план выходит проблема «коллективного разума», «роевого интеллекта» и т.д., когда в группе активных агентов каждый отдельно взятый элемент обладает минимальным интеллектом, а большая, особым образом организованная группа (примеры: «рой», «муравейник», группа БПЛА и др.) демонстрирует удивительные свойства высоко адаптивного поведения, способствующего выживанию группы в экстремальных ситуациях, воспроизведению в следующих поколениях и др.

Современных исследователей интересует построение управления для групп роботов, когда их система в целом характеризуется некоторым новым качеством (способностью, параметром), не являющимся простой суммой свойств исходных элементов системы, в частности, в отношении интеллектуальности.

Соответственно, возникают новые вопросы, каким образом можно управлять такими системами извне, что может иметь непосредственное отношение к ситуации массового применения роботов. Достаточно очевидно, что это направление ждет большое внимание исследователей и в будущем.

Можно констатировать, что участие специалистов ЦПК в подобных конференциях позволяет укреплять научный авторитет коллектива и способствует установлению творческих контактов среди участников из многих ведущих центров робототехники.

**ПЕРВОЕ ЗАСЕДАНИЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**

The First Meeting of the Joint Dissertation Committee

26 ноября 2015 года состоялось первое заседание объединенного диссертационного совета, созданного приказом Минобрнауки России от 17 августа 2015 года № 937нк. В объединенный диссертационный совет вошли сотрудники четырех организаций:

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна».

Объединенный диссертационный совет создан для рассмотрения диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальностям:

05.07.10 Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности.

05.26.02 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям).

От Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина в объединенный диссертационный совет вошли:

Лончаков Ю.В. – начальник Центра подготовки космонавтов;

Курицын А.А. – начальник научного управления;

Крючков Б.И. – главный научный сотрудник;

Наумов Б.А. – главный научный сотрудник;

Ярополов В.И. – главный научный сотрудник.

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 – подрисовочную подпись. Рисунки, диаграммы, схемы, таблицы делать в черно-белом варианте, если цвет на них не несет нагрузку.

Список литературы

Набирается шрифтом «Times New Roman», 9 пунктов, интервал между строками «одинарный». Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

За автором сохраняется право копирования своей публикации.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в двух экземплярах. На первом экземпляре располагается подпись автора статьи. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Материалы, предоставленные для публикации в редакцию журнала, авторам не возвращаются.

Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.

Вниманию читателей

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редколлегия вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

To the Attention of Readers

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

Наши координаты для контактов

(по вопросам публикации, рекламы, и деловых предложений)

Кальмин Андрей Валентинович (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>