ISSN 2226-7298

ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ В КОСМОС

Пилотируемые полеты в космос №1(38)/2021

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-63 при выполнении программы космического полета. *А.А. Иванишин, И.В. Вагнер, Г.Д. Орешкин, А.И. Кондрат, А.А. Медведев, П.А. Сабуров*
DOI 10.34131/MSF.21.1. 5-24

Медицинские аспекты обеспечения безопасности полета экипажа МКС-62/63 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова, Е.Г. Хорошева, В.В. Криволапов*
OI 10.34131/MSF.21.1.25-41

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

Возможности исследования операторских качеств космонавта с использованием вертолета в интересах перспективных пилотируемых программ. *П.Н. Власов, В.Н. Кислицин, М.М. Харламов, Б.И. Крючков, А.В. Солодников., В.М. Усов, Б.В. Бурдин*
DOI 10.34131/MSF.21.1.42-60

Результаты разработки исследовательского прототипа интерактивного электронного технического руководства тренажера ПКА. *А.И. Жохов*
DOI 10.34131/MSF.21.1.61-71

Направления применения технологий виртуальной реальности при подготовке космонавтов к внекорабельной деятельности. *А.А. Алтунин, П.П. Долгов, Н.Р. Жамалетдинов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной*
DOI 10.34131/MSF.21.1.72-88

Моделирование респираторных реакций организма человека при имитации падения барометрического давления в гермообъеме. *Т.В. Матюшев, М.В. Дворников, М.А. Петров*
DOI 10.34131/MSF.21.1.89-106

Анализ характеристик фотоаппаратуры, используемой на РС МКС в период 2001-2021 гг,, для выполнения визуальных наблюдений объектов земной поверхности. Особенности фотосъемки со сверхдлиннофокусной оптикой. *Г.Д. Орешкин, А.Н. Прокопенко, А.Н. Ядренцев, А.В. Кошенко, В.В. Коротких, Н.Р. Солодов*
DOI 10.34131/MSF.21.1.107-122

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

30 лет на службе космонавтике. *И.В. Бармин*
DOI 10.34131/MSF.21.1.123-127

Ассоциация участников космических полетов: история и проблемы развития *(Часть 1). Ю.М. Батурин, Л.В. Иванова, С.В. Кричевский*
DOI 10.34131/MSF.21.1.128-147

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007 DOI 10.34131/MSF.21.1.5-24

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-63 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

А.А. Иванишин, И.В. Вагнер, Г.Д. Орешкин, А.И. Кондрат, А.А. Медведев, П.А. Сабуров

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации инструктор-космонавт-испытатель отряда космонавтов Роскосмоса А.А. Иванишин; космонавт-испытатель отряда космонавтов Роскосмоса И.В. Вагнер; канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; А.И. Кондрат; А.А. Медведев; П.А. Сабуров (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье приведены состав экипажа МКС-63, основные задачи, особенности и результаты его подготовки к полету. Представлены результаты деятельности экипажа на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС-16» и Международной космической станции (МКС). Проведен предварительный анализ выполнения российской программы научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ). Кратко изложены работы по внекорабельной деятельности (ВКД) по программе американского сегмента (АС) МКС.
Ключевые слова: подготовка экипажа, космический полет, транспортный пилотируемый корабль, Международная космическая станция, деятельность экипажа, научная программа.

Main Results of Training and Activity of the ISS Crew for Expedition 63 When Carrying Out the Mission Plan.

A.A. Ivanishin, I.V. Vagner, G.D. Oreshkin, A.I. Kondrat, A.A. Medvedev, P.A. Saburov

The paper represents the ISS crew for Expedition 63, main training tasks, activity of the crew aboard the Soyuz MS-16 manned transport vehicle (MTV) and the International Space Station (ISS). It also highlights the performance of EVA under the program of the US Segment and gives a preliminary analysis of the implementation of the Russian scientific-applied research and experiments.
Keywords: crew training, space flight, manned transport vehicle, International Space Station, crew activity, scientific program.

Состав экипажа

Члены экипажа МКС-63:

Иванишин Анатолий Алексеевич	командир ТПК «Союз МС-16», бортинженер экспедиции МКС-63 (Роскосмос, Россия);
Вагнер Иван Викторович	бортинженер ТПК «Союз МС-16», бортинженер экспедиции МКС-63 (Роскосмос, Россия);
Кэссиди Кристофер Джон	бортинженер-2 ТПК «Союз МС-16», командир экспедиции МКС-63 (НАСА, США)

выполнили космический полет длительностью 195 суток 18 часов 49 минут с 9 апреля по 22 октября 2020 года. Позывной экипажа – «Иркут».

Иванишин Анатолий Алексеевич

Вагнер Иван Викторович

Кэссиди Кристофер Джон

Иванишин Анатолий Алексеевич – инструктор-космонавт-испытатель 1 класса Роскосмоса. В отряде космонавтов с 2003 года. 1-й космический полет продолжительностью 165 суток 7 часов 31 минута выполнил с 14 ноября 2011 года по 27 апреля 2012 года в составе экипажа МКС-29/30 в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-22» и бортинженера МКС; 2-й космический полет продолжительностью 115 суток 2 часа 22 минуты выполнил с 7 июля по 30 октября 2016 года в составе экипажа МКС-48/49 в качестве командира ТПК «Союз МС-01», бортинженера экспедиции МКС-48 и командира экспедиции МКС-49.

Вагнер Иван Викторович – космонавт-испытатель Роскосмоса. В отряде космонавтов с 2010 года. Опыта космических полетов не имел.

Кэссиди Кристофер Джон – астронавт НАСА (США). В отряде астронавтов с 2004 года. 1-й космический полет продолжительностью 15 суток

16 часов 44 минуты выполнил на шаттле «Атлантис» (SNS-127) с 15 по 31 июля 2009 года в качестве «специалиста полета». В ходе полета совершил 3 выхода в открытый космос. Общая продолжительность ВКД составила 18 часов 05 минут. 2-й космический полет продолжительностью 166 суток 6 часов 15 минут выполнил с 29 марта по 11 сентября 2013 года в составе экипажа МКС-35/36 в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-08М» и бортинженера МКС. В ходе полета выполнил 3 выхода в открытый космос общей продолжительностью 13 часов 09 минут.

Основные задачи программы полета экипажа МКС-63

Программа полета экипажа МКС-63 предусматривала:

1. Полет на ТПК «Союз МС-16», который включал в себя:

– выведение, маневры, сближение и стыковку к стыковочному узлу малого исследовательского модуля МИМ2 российского сегмента (РС) МКС в автоматическом режиме;

– расстыковку от МИМ2 РС МКС и возвращение на Землю спускаемого аппарата (СА).

2. Выполнение российской научной программы в соответствии с Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период шестьдесят третьей пилотируемой экспедиции МКС-63.
3. Материально-техническое обслуживание и дооснащение бортовых систем и оборудования РС МКС.
4. Ремонтно-восстановительные работы на РС МКС.
5. Стыковку и расстыковку российских транспортных пилотируемых и грузовых кораблей «Союз МС» и «Прогресс МС», американских пилотируемого корабля SpaceX DM-2 «Dragon-2» и грузовых кораблей «Cygnus NG», японского грузового корабля HTV-9.
6. Работы с тремя российскими, двумя американскими и одним японским транспортными грузовыми кораблями (ТГК).
7. Проведение ТВ-репортажей, фото- и видеосъемок.
8. Работы по программе символической деятельности.

Основные задачи, особенности и результаты подготовки экипажа к космическому полету

С июня 2018 года космонавты Анатолий Иванишин и Иван Вагнер проходили подготовку в составе дублирующего экипажа МКС-63. В составе дублирующего экипажа МКС-63 с февраля по сентябрь 2019 года в качестве бортинженера БИ-2 готовился астронавт Кристофер Кэссиди. С сентября 2019 года он был назначен в основной экипаж МКС-63, а вместо него в состав дублирующего экипажа МКС-63 назначен астронавт НАСА Стивен Боуэн. Подготовка космонавтов А.А. Иванишина и И.В. Вагнера со Стивеном Боуэном продолжалась до февраля 2020 года. В связи с изменением составов

экипажей с февраля 2020 года (за полтора месяца до старта ТПК «Союз МС-16) космонавты А.А. Иванишин и И.В. Вагнер приступили к подготовке в составе основного экипажа МКС-63. Заключительный этап подготовки проводился в условиях чрезвычайных мер безопасности, связанных с пандемией коронавируса.

Подготовка экипажа МКС-63 проводилась поочередными тренировочными сессиями: в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина – по РС МКС, ТПК и ТГК; в США (НАСА) – по американскому сегменту МКС; в Европейском центре астронавтов – по европейскому модулю «Коламбус»; в Японском космическом агентстве – по японскому космическому модулю «Кибо» и японскому грузовому кораблю HTV.

Подготовка космонавта А.А. Иванишина по космическим экспериментам (КЭ) «Плазменный кристалл», «Кинетика-1» и «Перитектика» была проведена в Европейском центре астронавтов (Германия).

Также по дополнительному договору между Государственной корпорацией «Роскосмос» и НАСА (США) проведена подготовка космонавта А.А. Иванишина в НАСА по нештатным критическим операциям ВКД в интересах АС МКС и подготовка космонавта И.В. Вагнера в НАСА и Канадском космическом агентстве по робототехнике в интересах АС МКС.

Программа подготовки экипажа в России была разработана на основе «Требований к технической подготовке экипажей», полученных из РКК «Энергия», и ряда дополнений к ним. При разработке программы подготовки были учтены задачи программы космического полета, текущий уровень подготовленности и распределение функциональных обязанностей между членами экипажа, а также объемы и результаты предыдущих этапов подготовки.

Большая часть времени была уделена подготовке по ТПК «Союз МС-16» и РС МКС.

Основными задачами подготовки являлись:

– формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз МС-16»;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при управлении бортовыми системами и оборудованием ТПК на всех этапах полета в штатных и нештатных ситуациях (НшС);

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении сближения, причаливания, стыковки и перестыковки ТПК «Союз МС-16» на все стыковочные узлы РС МКС;

– отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска ТПК «Союз МС-16»;

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в ручном режиме в аналоговом контуре спуска ТПК «Союз МС-16»;

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в ручном режиме в дискретном контуре ТПК «Союз МС-16»;

– отработка навыков построения солнечной ориентации и закрутки ТПК в режимах ручной ориентации в аналоговом и дискретном контурах;

– отработка действий по выполнению срочного спуска с орбиты в случае покидания МКС;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении расстыковки ТПК с неориентированной и нестабилизированной МКС;

– отработка навыков и умений выполнения причаливания, стыковки и расстыковки ТГК «Прогресс МС» на стыковочные узлы РС МКС в телеоператорном режиме управления (ТОРУ);

– отработка навыков контроля автоматического сближения и стыковки ТГК «Прогресс МС» с МКС;

– отработка навыков по передаче смены российского сегмента МКС и совместной работе в полете с экипажами МКС-62, DM-2 и МКС-64;

– отработка навыков и умений выполнения операций по консервации и расконсервации ТПК, операций по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;

– отработка навыков и умений эксплуатации бортовых систем РС МКС (функционально-грузового блока (ФГБ), служебного модуля (СМ), стыковочного отсека СО1, малых исследовательских модулей МИМ1 и МИМ2);

– совершенствование знаний, отработка навыков и умений выполнения российской программы НПИ на РС МКС;

– отработка навыков и умений технического обслуживания, дооснащения и ремонта бортовых систем РС МКС;

– отработка взаимодействия членов экипажа, навыков и умений парирования аварийных ситуаций на МКС (пожар, разгерметизация, выброс токсичных веществ);

– ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладкой снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении задач ВКД в объеме типовых операций и по программе ВКД-47;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах;

– повышение устойчивости организма к факторам космического полета;

– отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств.

На заключительном этапе подготовки с экипажем МКС-63 были проведены:

– экзаменационные тренировки на специализированных тренажерах по оценке готовности экипажа к выполнению ручных динамических режимов управления ТПК и ТГК;

– экзаменационные комплексные тренировки (ЭКТ) на тренажерах ТПК и РС МКС по оценке готовности экипажа к выполнению программы полета в целом.

Результаты экзаменационных тренировок экипажа МКС-63 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Экзаменационные тренировки	Иванишин Анатолий Алексеевич	Вагнер Иван Викторович	Кэссиди Кристофер Джон
ЭКТ по ТПК «Союз МС-16»	5,0		
ЭКТ по РС МКС	5,0		
По ручному сближению ТПК «Союз МС-16»	4,75		–
По ручному причаливанию и перестыковке ТПК «Союз МС-16»	5,0	4,95	–
По ТОРУ ТГК «Прогресс МС»	5,0	5,0	–
По РУС ТПК «Союз МС-16»	4,9	5,0	–

По результатам подготовки экипажа МКС-63 специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина были разработаны замечания и предложения по совершенствованию процесса подготовки космонавтов.

Решением Главной медицинской комиссии (ГМК) от 26 февраля 2020 года российские члены экипажа МКС-63 были признаны годными к космическому полету. Результаты медицинских обследований, проведенных для Кристофера Кэссиди, и заключение о состоянии его здоровья были доложены врачом НАСА на заседании ГМК. Уровень физической подготовленности всех членов экипажа находился на высоком уровне.

По итогам подготовки экипажа 20 марта 2020 года в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина состоялось заседание Межведомственной комиссии, которая, рассмотрев результаты зачетов и экзаменов и выводы ГМК, пришла к заключению:

1. Экипаж к выполнению космического полета по программе МКС-63 основной экспедиции на ТПК «Союз МС-16» и российском сегменте МКС подготовлен.

2. Экипаж может приступить к этапу предстартовой подготовки на космодроме «Байконур».

Выведение и стыковка ТПК «Союз МС-16»

В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено. Старт ТПК «Союз МС-16» (рис. 1) с экипажем в составе Анатолия Иванишина, Ивана Вагнера и Кристофера Кэссиди состоялся 9 апреля 2020 года в 11:05:06 ДМВ с космодрома «Байконур».

Рис. 1. Старт ТПК «Союз МС-16»

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно.

Сближение ТПК «Союз МС-16» с МКС осуществлялось в соответствии с программой полета по 4-витковой схеме, и в 17:13:21 ДМВ ТПК «Союз МС-16» причалил к стыковочному узлу МИМ2 РС МКС в автоматическом режиме.

После стыковки экипаж выполнил контроль герметичности отсеков корабля и стыка, ускоренное выравнивание давления между отсеками ТПК и МКС и открыл переходные люки.

Выполнив консервацию транспортного корабля, экипаж завершил первый этап программы полета ТПК «Союз МС-16».

Полет на борту МКС

В период работы экипажа МКС-63 на РС МКС были проведены запланированные работы по техническому обслуживанию бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы и дооснащение.

Наиболее трудоемкими операциями являлись:

1. По техническому обслуживанию бортовых систем РС МКС:

– диагностика приборов БФ-1М (блок фильтров) и БСШ-1М (блок сборных шин) системы электропитания СМ;

– измерение температуры корпуса и соединителей приборов ПТАБ модулей аккумуляторных батарей (АБ);

– замена шлангов изменяемой длины и клапана КЛ-3 в системе регенерации воды СРВ-К2М;

– диагностика приборов БФ-2 и БСШ-2 системы электроснабжения (СЭС) ФГБ;

– замена комплекта сменных магистралей откачки конденсата (СМОК) системы обеспечения теплового режима (СОТР) СМ;

– мониторинг состояния поверхностей элементов конструкции корпусов РС МКС с использованием прибора МВП-2К(М);

– диагностика приборов системы управления бортовым комплексом ФГБ;

– осмотр и фотографирование состояния стекол иллюминаторов РС МКС на предмет появления дефектов.

2. По ремонту и дооснащению РС МКС:

– замена монитора аудио-, видеокомплекса «Агат-2»;

– ремонтно-восстановительные работы приборов системы управления бортовой аппаратуры СМ;

– замена блока 800А и БУПТ-2 модулей АБ СЭС ФГБ;

– замена блоков ПТАБ-1М и БУПТ-1М СМ;

– замена насоса Н1 в гидроконтуре (ГК1) СОТР в МИМ1;

– замена вакуум-насоса ВН-1 в блоке вакуумирования системы СРВ-У-РС в МИМ1;

– замена извещателей дыма ИДЭ-3 на ИДЭ-3М в ФГБ;

– замена файлового сервера FS1 модели T61P на модель HP ZBook;

– установка и проверка работоспособности комплекса «Рефлеком БХК»;

– поиск места утечки атмосферы МКС. С этой целью выполнялась изоляция объемов РС МКС, осуществлялся поиск негерметичности в ПрК по периметру СтА и трубопроводов СОТР с использованием ультразвукового течеискателя ULD и ИК-камеры. Выполнена временная герметизация предполагаемого места утечки атмосферы в ПрК (VI плоскость над аппаратурой ШСС).

С 13 августа по 3 сентября 2020 года выполнены работы по восстановлению функций шлюзового отсека модуля МИМ2.

В процессе космического полета выполнены:

– расстыковка ТПК «Союз МС-15» от стыковочного узла АО СМ РС МКС (17 апреля 2020 года);

– стыковка ТГК «Прогресс МС-14» в автоматическом режиме к АО СМ РС МКС (25 апреля 2020 года). Сближение и стыковка проведены по 2-витковой схеме;

– расстыковка американского грузового корабля «Cygnus NG-13» от надирного порта модуля Node1 с помощью манипулятора SSRMS (11 мая 2020 года);

– сближение японского грузового корабля HTV-9 с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля на надирный порт модуля Node2 (25 мая 2020 года);

– стыковка американского пилотируемого корабля SpaceX DM-2 «Dragon-2» с МКС в автоматическом режиме к порту PMA-2 модуля Node2 (31 мая 2020 года) в составе экипажа Дугласа Джеральда Хёрли (командира корабля «Crew Dragon») и Роберта Луиса Бенкена (командира по совместным операциям с МКС);

– расстыковка ТГК «Прогресс МС-13» от СО1 РС МКС (8 июля 2020 года);

– стыковка ТГК «Прогресс МС-15» в автоматическом режиме к СО1 РС МКС (23 июля 2020 года). Сближение и стыковка проведены по 2-витковой схеме;

– расстыковка американского пилотируемого корабля SpaceX DM-2 «Dragon-2» от порта PMA-2 модуля Node2 (2 августа 2020 года);

– расстыковка японского грузового корабля HTV-9 от надирного порта модуля Node2 с помощью манипулятора SSRMS (18 августа 2020 года);

– сближение американского грузового корабля «Cygnus NG-14» с МКС, захват корабля манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту модуля Node1 (5 октября 2020 года);

– стыковка ТПК «Союз МС-17» в автоматическом режиме к стыковочному узлу МИМ1 РС МКС (14 октября 2020 года). Сближение и стыковка с МКС пилотируемого корабля впервые проведены по 2-витковой схеме;

– работы по разгрузке и укладке удаляемого оборудования в грузовые корабли;

– дополнительные работы по программе АС МКС;

– фото- и видеосъемки жизнедеятельности на станции экспедиций МКС-62 и МКС-63.

Много времени экипажем было уделено на мероприятия по связям с общественностью и программе символической деятельности: видеосъемки по заявкам ГК «Роскосмос»; ТВ-сеансы с Президентом Российской Федерации В.В. Путиным, с ведущими «Роскосмос ТВ», «Шахматный матч», «Доброе утро, Поморье», Центральной избирательной комиссией, участниками дистанционного урока из космоса; голосование по поправкам в Конституцию Российской Федерации; работы по ведению персональных блогов и подготовка письменных, видео- и фоторепортажей; подготовка ответов на вопросы российских и зарубежных граждан для официального сайта ГК «Роскосмос» и социальных сетей; видеосъемка для проекта «Космический урок 2.0. Перезагрузка» и аудиосеанс с его участниками и т.д.

С целью поддержания и восстановления в условиях длительного космического полета профессиональных знаний, навыков и умений, необходимых для успешного выполнения программы полета, с экипажем МКС-63 были проведены 12 бортовых тренировок и 1 консультация (табл. 2):

Таблица 2

№ п/п	Дата проведения	Наименования бортовых тренировок и консультации
1	10.04.2020	Тренировка экипажа по ознакомлению с оборудованием, используемым в аварийных ситуациях на МКС
2	22.04.2020	Тренировка бортинженеров БИ-1 и БИ-2 по телеоператорному режиму управления (ТОРУ) перед стыковкой ТГК «Прогресс МС-14» с МКС
3	19.05.2020	Интегрированная тренировка экипажа по действиям в аварийных ситуациях на МКС (сценарии: разгерметизация в Node1 и выброс аммиака в Lab)
4	27.05.2020	Тренировка по дополнительным действиям в аварийных ситуациях после прихода грузового корабля HTV-9
5	01.06.2020	Тренировка на борту по особенностям действий в аварийных ситуациях после прихода корабля SpaceX DM-2 «Dragon-2»
6	03.06.2020	Тренировка экипажа по ознакомлению с оборудованием, используемым в аварийных ситуациях на МКС для командира экипажа (КЭ) и бортинженеров БИ-1, БИ-10 и БИ-11
7	09.07.2020	Тренировка по спуску на ТПК «Союз МС-16» в случае аварии на МКС
8	14.07.2020	Обзорная тренировка для КЭ, БИ-1 и БИ-2 по использованию аварийной маски
9	20.07.2020	Тренировка БИ-1 и БИ-2 по ТОРУ перед стыковкой ТГК «Прогресс МС-15» с МКС
10	20.08.2020	Интегрированная тренировка экипажа по действиям в аварийных ситуациях (сценарии: разгерметизация РО СМ, пожар в Node2)
11	15.10.2020	Тренировка экипажа ТПК «Союз МС-16» по спуску и консультация по составу и размещению возвращаемых грузов
12	17.10.2020	Тренировка экипажа ТПК «Союз МС-16» по спуску
13	19.10.2020	Тренировка экипажа МКС-64 по ознакомлению с оборудованием, используемым в аварийной ситуации на МКС

В процессе полета большое внимание уделялось вопросам безопасности. Медицинские и санитарно-гигиенические средства, система обеспечения питанием, лечебно-профилактические мероприятия в целом обеспечили нормальную жизнедеятельность и работоспособность космонавтов на протяжении всего полета. Медицинское обеспечение осуществлялось в соответствии с требованиями по медицинским операциям МКС.

Научная программа

Научная программа в период полета космонавтов А.А. Иванишина и И.В. Вагнера в составе экипажа МКС-63 выполнялась в соответствии с Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период шестьдесят третьей пилотируемой экспедиции МКС-63, в которой было запланировано 47 КЭ.

Перечень КЭ, распределенных по направлениям российской Долгосрочной программы НПИ, приведен в таблице 3.

Таблица 3

Направления Долгосрочной программы НПИ	Наименование КЭ	Кол-во КЭ
Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	«Плазменный кристалл», «Кинетика-1», «Перитектика», «s-FLAME», «Фламенко»	5
Исследование Земли и космоса	«БТН-Нейтрон», «Ураган», «Уф атмосфера», «Терминатор», «Дубрава», «Сценарий», «Экон-М»	7
Человек в космосе	«Кардиовектор», «Профилактика-2», «Биокард», «Взаимодействие-2», «Пилот-Т», «Нейроиммунитет», «Коррекция», «ЛОР», «ОМИКи-СПК», «Матрешка-Р», «Альгометрия»	11
Космическая биология и биотехнология	«Биориск», «Феникс», «Асептик», «Биодеградация», «Каскад» (этап 2), «Биопленка», «Микровир», «Константа-2», «Биомаг-М», «Магнитный 3D-биопринтер»	10
Технологии освоения космического пространства	«Вектор-Т», «Изгиб», «Контроль», «Идентификация», «Среда МКС», «Сепарация», «Визир», «Пробой», «Биополимер», «ИМПАКТ»	10
Образование и популяризация космических исследований	«Великое начало», «О Гагарине из космоса», «EarthKAM», «Интер-МАИ-75»	4
	Итого:	47

Всего космонавты А.А. Иванишин и И.В. Вагнер принимали участие в 43 КЭ, из них:

– два КЭ: «Плазменный кристалл» и «УФ атмосфера» – совместно с ЕКА;
– два КЭ: «Перитектика» и «Кинетика-1» – совместно с ЕКА и НАСА;
– три КЭ: «s-FLAME» и «Фламенко», «EarthKAM» – совместно с НАСА.

Четыре КЭ: «Кинетика-1», «БТН-Нейтрон», «Биориск», «Изгиб» выполнялись в автоматическом режиме без участия экипажа.

На рис. 2 и 3 представлены фотоснимки космонавтов И.В. Вагнера и А.А. Иванишина в процессе выполнения КЭ «Экон-М», «s-FLAME» и «Фламенко».

В период полета экипажа МКС-63 выполнялись новые российские эксперименты по направлению «Человек в космосе», постановщиком которых является ГНЦ РФ–ИМБП РАН:

1. КЭ «ЛОР» (исследование состояния ЛОР-органов, пародонта и твердых тканей зубов у космонавтов в условиях космического полета), целью которого является получение полетных данных о состоянии ЛОР-органов (ротовой полости, носовых полостей и ушных полостей) космонавтов в целях диагностики, профилактики и лечения возможных заболеваний этих органов.

2. КЭ «ОМИКи-СПК» (оценка состояния здоровья и адаптивных резервов человека по сухим пятнам крови методами протеомики, метаболомики и липидомики) в интересах получения данных о взаимосвязях белков, пептидов, компонентов метаболического профиля, включающего липиды, формирующих индивидуальный портрет приспособления организма к условиям космического полета.

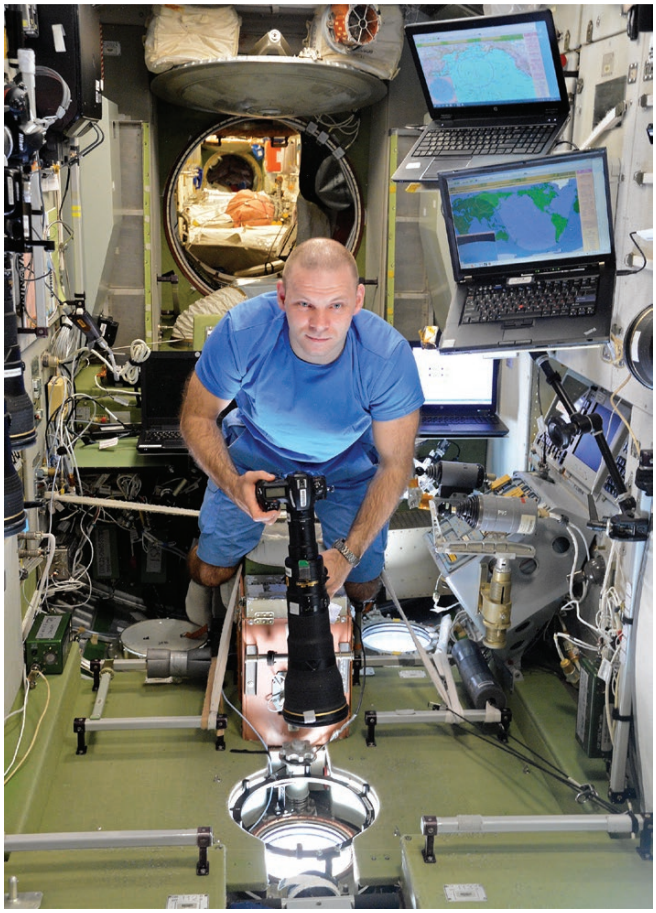

Рис. 2. Космонавт И.В. Вагнер в процессе выполнения КЭ «Экон-М»

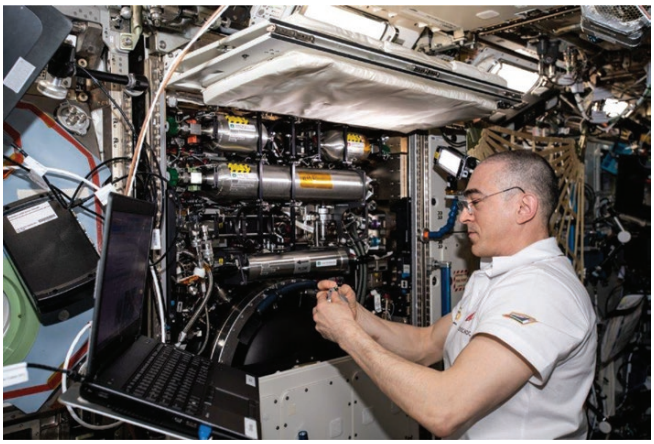

Рис. 3. Космонавт А.А. Иванишин выполняет КЭ «s-FLAME» и «Фламенко»

Следует отметить, что по прибытии на станцию космонавты А.А. Иванишин и И.В. Вагнер уже на третий день в составе экспедиции МКС-62 активно включились в работу по выполнению научной программы. Так в период экспедиции МКС-62 были проведены несколько сеансов КЭ «Магнитный 3D-биопринтер», «Биопленка», начато выполнение КЭ «Микровир», «Коррекция», «Идентификация», «Кардиовектор», «Экон-М» и др.

На выполнение российской научной программы Анатолий Иванишин и Иван Вагнер затратили 653 часа 35 минут (из них более 181 часа – по Task List). Общее фактическое рабочее время космонавтов составило 2289 часов 10 минут. Трудозатраты на выполнение научной программы на АС составили 6 *ч* 40 *мин*. По-прежнему много времени уходит на служебные операции на РС МКС. Так на техническое обслуживание РС МКС (в том числе ремонтно-восстановительные работы) за время полета экипажем было затрачено 579 часов 20 минут – это 25,3 % от общего фактического рабочего времени.

Распределение индивидуальных затрат рабочего времени космонавтов А.А. Иванишина и И.В. Вагнера на научную программу и техническое обслуживание РС МКС представлено в таблице 4.

Таблица 4

Наименование работ	А.А. Иванишин	И.В. Вагнер
Российская научная программа	213 *ч* 45 *мин*	258 *ч* 45 *мин*
Task List	106 *ч* 55 *мин*	74 *ч* 10 *мин*
Научная программа АС	5 *ч* 55 *мин*	0 *ч* 45 *мин*
Техническое обслуживание и ремонт	324 *ч* 35 *мин*	254 *ч* 45 *мин*

Космонавт А.А. Иванишин принял участие в 29 экспериментах, космонавт И.В. Вагнер – в 32.

Самыми трудоемкими экспериментами в период работы экспедиции МКС-63 были: «Экон-М» – 167 часов 25 минут; «Ураган» – 59 часов 40 минут; «Уф атмосфера» и «Сепарация» – по 28 часов 55 минут каждый; «Матрешка» – 26 часов 40 минут.

В период работы экспедиций МКС-23–МКС-51, когда на борту РС МКС находились три российских космонавта, на выполнение российской научной программы в среднем затрачивалось более 35 % их фактического рабочего времени. Наибольший объем выполнения российской научной программы, в среднем 38,5 % фактического рабочего времени, приходился на период работы экспедиций МКС-41–МКС-51.

Объем работ на выполнение российской научной программы в период экспедиций МКС-51–МКС-62 после сокращения числа российских космонавтов на борту РС МКС (каждый экипаж МКС-50/51–МКС-61/62 представлял один российский космонавт), начиная с апреля 2017 года, в среднем составил 29,5 % от общего фактического рабочего времени космонавтов (рис. 4) [1, 2].

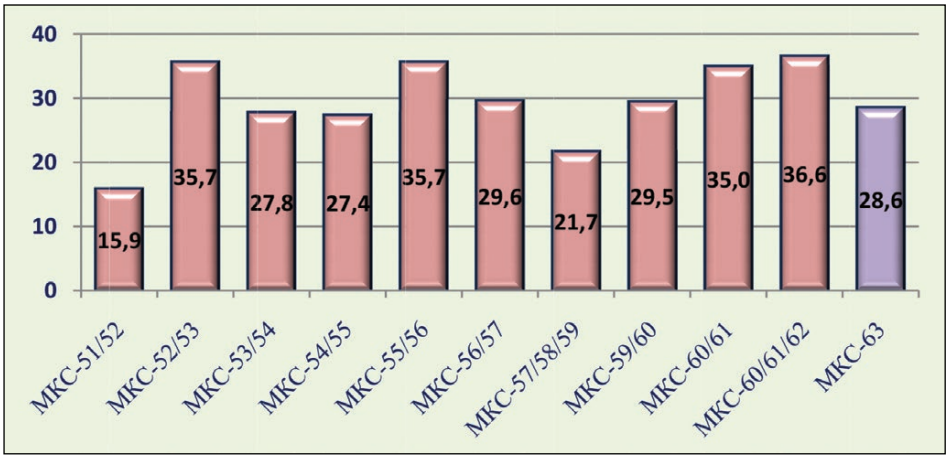

Рис. 4. Фактическое рабочее время экипажей МКС
на выполнение программы НПИ с 2017 года
(в процентах от общего фактического рабочего времени)

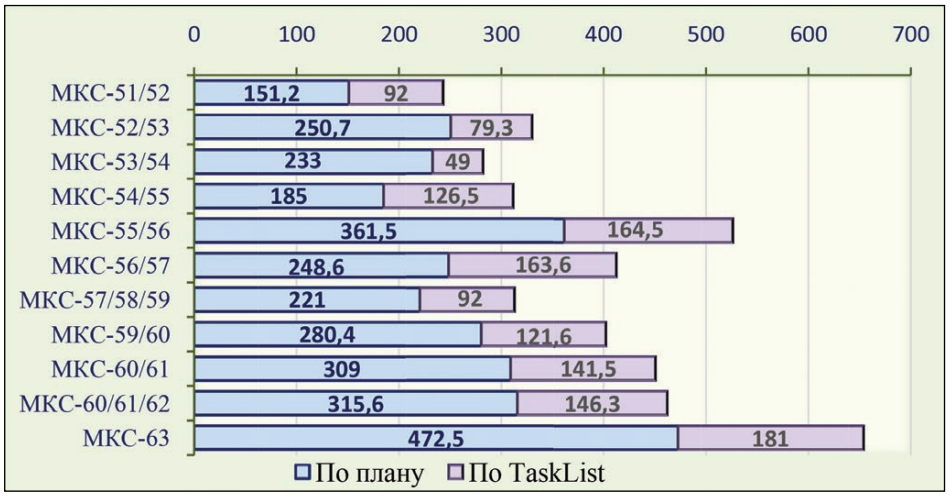

Рис. 5. Распределение планируемых трудозатрат и по Task List
на выполнение программы НПИ с 2017 года

На рис. 5 приведены временные затраты экипажей МКС-51/52–МКС-63 в личное время (по Task List) на выполнение российской научной программы [1, 2].

Экспедиция МКС-63 включала в своем составе двух российских космонавтов. Несмотря на большой объем работ по программе космического полета, включая эксплуатацию бортовых систем, разгрузочно-погрузочные работы, техническое обслуживание и дооснащение, медицинские операции, мероприятия по связи с общественностью, бортовые тренировки,

обеспечение ВКД по программе АС и др., экипаж в полном объеме выполнил научную программу, при этом затраты рабочего времени на выполнение научной программы составили 28,6 % от общего фактического рабочего времени космонавтов.

Внекорабельная деятельность

По программе РС МКС выходов в открытый космос не предусматривалось.

По программе АС МКС командиром экспедиции МКС-63 Кристофером Кэссиди и бортинженером экспедиции МКС-63 Робертом Бенкен было выполнено четыре выхода в открытый космос:

1-й – 26 июня 2020 года по программе ВКД-65. Основная задача выхода состояла в замене аккумуляторных батарей станции (рис. 6). Продолжительность «Выхода» составила 6 часов 07 минут.

2-й – 1 июля 2020 года по программе ВКД-66. Основная задача выхода заключалась в продолжении замены аккумуляторных батарей станции. Продолжительность «Выхода» составила 6 часов 01 минута.

3-й – 16 июля 2020 года по программе ВКД-67. Основная задача выхода состояла в установке новой камеры на внешней поверхности МКС и замене аккумуляторных батарей станции. Продолжительность «Выхода» составила 6 часов.

4-й – 21 июля 2020 года по программе ВКД-68. Основными задачами выхода были: установка платформы RiTS для хранения роботизированных средств контроля газовых утечек RELL; демонтаж узла H-fixture у основания фермы солнечных батарей; подготовка к монтажу нового шлюза NanoRack

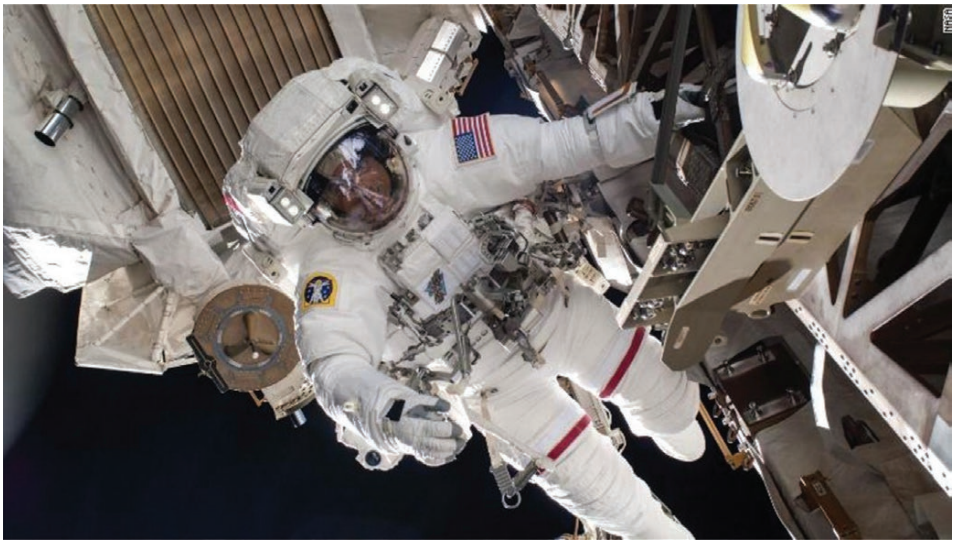

Рис. 6. Проведение плановых работ в открытом космосе по замене аккумуляторных батарей МКС

для коммерческих программ на модуле Tranquility; прокладка интернет-кабеля по корпусу станции. Продолжительность «Выхода» составила 5 часов 29 минут.

ВКД по программе АС МКС выполнялись из шлюзового отсека Airlock в скафандрах EMU.

Космонавт И.В. Вагнер оказывал поддержку астронавтам при выполнении всех четырех выходов в открытый космос по программе АС МКС.

Совместный полет с другими экипажами МКС

Экипаж экспедиции МКС-63 осуществлял совместный полет с экипажами экспедиций МКС-62, DM-2 и МКС-64.

С 9 по 17 апреля 2020 года состав экипажа МКС включал 6 человек (рис. 7): Скрипочка Олег Иванович; Меир Джессика Ульрика; Морган Эндрю Ричард; Иванишин Анатолий Алексеевич; Вагнер Иван Викторович; Кэссиди Кристофер Джон.

После расстыковки ТПК «Союз-МС-15» с 17 апреля 2020 года экипаж экспедиции МКС-63 работал по 30 мая 2020 года, а затем со 2 августа по 14 октября 2020 года в составе трех человек: командира МКС Кристофера Кэссиди и бортинженеров МКС Анатолия Иванишина и Ивана Вагнера (рис. 8).

Рис. 7. Экипаж экспедиции МКС-62 (09–17.04.2020)

Рис. 8. Экипаж экспедиции МКС-63 (17.04–30.05.2020, 02.08–14.10.2020)

Рис. 9. Экипаж экспедиции МКС-63 (31.05–02.08.2020)

С 31 мая 2020 года по 2 августа 2020 года в состав экипажа экспедиции МКС-63 входил экипаж пилотируемого корабля SpaceX DM-2 «Dragon-2» Дуглас Хёрли и Роберт Бенкен (рис. 9).

С 14 октября 2020 года, после стыковки с МКС ТПК «Союз МС-17», экипаж 63 экспедиции увеличился до 6 человек: на смену Анатолию Иванишину, Ивану Вагнеру и Кристоферу Кэссиди на МКС прибыли космонавты Сергей Рыжиков, Сергей Кудь-Сверчков (Роскосмос) и астронавт Кэтлин Рубинс (НАСА) (рис. 10).

Рис. 10. Экипаж экспедиции МКС-63 (14–21.10.2020)

Расстыковка и спуск ТПК «Союз МС-16»

Завершив программу полета на борту МКС, началась подготовка экипажа к возвращению на Землю.

17 октября 2020 года в рамках подготовки к спуску с орбиты командиром корабля и бортинженером проводился штатный «Тест СУДН № 2». Тест прошел без замечаний.

21 октября 2020 года на 11-*м* суточном витке экипаж в составе Анатолия Иванишина, Ивана Вагнера и Кристофера Кэссиди выполнил расконсервацию ТПК «Союз МС-16».

В 22:40:00 ДМВ по указанию Земли экипаж осуществил переход на автономное питание и в 23:25:27 ДМВ на 12-*м* суточном витке закрыл переходные люки. На этом же витке экипажем была проведена проверка герметичности переходных люков.

На 13-*м* суточном витке после перехода экипажа в СА и закрытия люка СА-БО (БО – бытовой отсек) экипаж выполнил проверку герметичности скафандров и люка СА-БО.

Расстыковка от МИМ2 РС МКС выполнена 22 октября 2020 года на 14-*м* суточном витке в автоматическом режиме с двумя импульсами увода. МКС находилась в дежурной ориентации. Запуск динамического режима системы управления движением и навигации ТПК для режима расстыковки выполнен экипажем в 02:25:00 ДМВ. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа-М выдана экипажем в 02:30:00 ДМВ, расстыковка произошла в 02:32:14 ДМВ.

После расстыковки при выполнении заключительных операций на пульт космонавта был передан массив цифровой информации с данными на спуск. По указанию Земли экипаж выполнил сверку данных на спуск с данными в бортовой документации.

Спуск выполнялся по штатной программе. Посадка выполнена на первом суточном витке. Включение сближающе-корректирующего двигателя для выдачи тормозного импульса произошло в 05:00:51 ДМВ. Двигатель штатно отработал тормозной импульс (128 *м*/с).

Разделение отсеков произошло в 05:28:55 ДМВ. Расчетное время входа СА в атмосферу составило 05:33:23 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме автоматического управляемого спуска. Внеатмосферный промах составил +7 секунд, максимальная перегрузка – 3,94 единицы.

Посадка СА произошла в 05:54:12 ДМВ в расчетной точке вблизи г. Жезказгана (рис. 11).

Двигатели мягкой посадки сработали штатно. СА ТПК «Союз МС-16» находился вертикально, купол парашюта погашен. Самочувствие экипажа хорошее.

По завершении космического полета в период с 28 октября по 12 ноября 2020 года в процессе встреч со специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина и заинтересованных организаций космонавтами А.А. Иванишиным и И.В. Вагнером был высказан ряд замечаний и предложений по конструкции, бортовым системам и оборудованию, организации работ на ТПК, ТГК и РС МКС, научной аппаратуре и программе НПИ, информационному обеспечению и планированию деятельности экипажа, подготовке космонавтов и т.д. в интересах дальнейшего совершенствования космической техники, организации деятельности экипажей в полете и повышения качества подготовки космонавтов.

Рис. 11. Приземление спускаемого аппарата

Выводы

Несмотря на то, что космонавты А.А. Иванишин и И.В. Вагнер приступили к подготовке в составе основного экипажа МКС-63 с февраля 2020 года (за полтора месяца до старта ТПК «Союз МС-16), их наземная подготовка по ТПК «Союз МС-16» и РС МКС, а также подготовка на борту МКС позволили экипажу экспедиции МКС-63 успешно выполнить программу космического полета, в том числе в полном объеме реализовать российскую программу НПИ.

В процессе космического полета большое внимание уделялось вопросам безопасности: проводились инструктажи по безопасности, бортовые тренировки и консультации.

Для продолжения дальнейшей эксплуатации МКС на российском сегменте выполнены работы по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем и оборудования, а также плановые ремонтно-восстановительные работы.

Тесное взаимодействие экипажа МКС-63 с экипажами МКС-62, DM-2 и МКС-64, а также персоналом Центра управления полетами способствовало их эффективной деятельности на борту МКС.

По результатам послеполетных встреч экипажа со специалистами составлен план-график мероприятий по устранению замечаний и реализации предложений космонавтов А.А. Иванишина и И.В. Вагнера.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-60/61 при выполнении программы космического полета / Скворцов А.А., Орешкин Г.Д., Кондрат А.И., Медведев А.А., Сабуров П.А. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(35). – 2020. – С. 5–22.

[2] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-60/61/62 при выполнении программы космического полета / Скрипочка О.И., Орешкин Г.Д., Кондрат А.И., Медведев А.А., Сабуров П.А. // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(36). – 2020. – С. 5–24.

REFERENCES

[1] Main results of training and activity of the ISS-60/61 crew members when carrying out the mission plan / Skvortsov A.A., Oreshkin G.D., Kondrat A.I., Medvedev A.A., Saburov P.A. // Scientific Journal Manned Spaceflight. – No 2(35). – 2020. – pp. 5–22.

[2] Main results of training and activity of the ISS crew for Expedition 60/61/62 when carrying out the mission plan / Skripochka O.I., Oreshkin G.D., Kondrat A.I., Medvedev A.A., Saburov P.A. // Scientific Journal Manned Spaceflight. – No 3(36). – 2020. – pp. 5–24.

УДК 61:629.78.007 DOI 10.34131/MSF.21.1.25-41

МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-62/63 (ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ)

В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова,
Е.Г. Хорошева, В.В. Криволапов

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; ст.н.с. Е.Г. Хорошева;
ст.н.с. В.В. Криволапов (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

В статье представлены результаты медицинского обеспечения полета экипажа МКС-63. Дается краткая характеристика системы медицинского обеспечения – приводятся основные итоги выполнения программы контроля состояния здоровья космонавтов и среды обитания РС МКС во время полета, а также, использования бортовых средств профилактики для поддержания работоспособности и здоровья космонавтов в полете.
Ключевые слова: медицинское обеспечение, медицинский контроль, система профилактики, среда обитания, режим труда и отдыха.

Aspects of Medical Support for Expedition 62/63 (Express Analysis). V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova, E.G. Khorosheva, V.V. Krivolapov

The paper presents the results of medical support for Expedition 63 crew members. It gives a brief description of the medical support system, summarizes the monitoring data of cosmonauts' health status and the ISS RS environment during the flight, as well as the application of preventive measures to maintain the performance and health of cosmonauts in flight.
Keywords: medical support, medical monitoring, preventive measures, living space, work-rest regime.

Выполнение программы полета

Полет в составе экспедиций:

– экспедиция МКС-62 – с 09.04.20 г. по 16.04.20 г. в составе 6 человек (три представителя «Роскосмоса» и три представителя NASA);

– экспедиция МКС-63 – с 17.04.20 г. по 30.05.20 г. в составе 3 человек (два представителя «Роскосмоса» и один представитель NASA);

– с 31.05.20 г. по 01.08.20 г. в составе 5 человек (с экипажем SpX Demo-2, два представителя NASA);

– с 02.08.20 г. по 13.10.20 г. в составе трех человек (два представителя «Роскосмоса» и один представитель NASA);

– с 14.10.20 г. по 21.10.20 г. в составе 6 человек (четыре представителя «Роскосмоса» и два представителя NASA).

Длительность полета двух российских и одного американского членов экипажа, прибывших на корабле «Союз МС-16», составила 196 суток.

Этапы полета экспедиции

09.04.20 г. – выведение «Союз МС-16» ТПК № 745 – 11:05 ДМВ/08:05 GMT.

Стыковка к МИМ2 – 14:13 GMT/17:13 ДМВ.

21/22.10.20 г. – расстыковка «Союз МС-16» ТПК № 745 от МИМ2 – 23:32 GMT/02:32 ДМВ.

Время посадки – ~05:54:12 ДМВ/02:54:12 GMT (22.10.20 г.).

Основные динамические операции

17.04.20 г. – расстыковка ТПК № 744 от АО СМ – 01:53 GMT/04:53 ДМВ.

25.04.20 г. – выведение ТГК № 448 – 04:51:41 ДМВ/01:51:41 GMT.

25.04.20 г. – стыковка ТГК № 448 к АО СМ – 05:11:56 GMT/08:11:56 ДМВ.

11.05.20 г. – расстыковка корабля NG-13 (Cygnus) – 16:10 GMT.

20.05.20 г. – старт корабля HTV-9 – 17:31 GMT/20:31 ДМВ.

25.05.20 г. – стыковка корабля HTV-9 к АС МКС – 15:25 GMT/18:25 ДМВ.

30.05.20 г. – выведение корабля SpX Demo-2 (Dragon-2) – 19:22:45 GMT.

31.05.20 г. – стыковка корабля SpX Demo-2 к АС – 17:16:30 GMT.

08.07.20 г. – расстыковка ТГК № 443 от СО1 – 18:23:30 GMT/21:23:30 ДМВ

23.07.20 г. – старт ТГК «Прогресс МС-15» № 444 – 17:26 ДМВ/14:26 GMT.

Стыковка ТГК «Прогресс МС-15» № 444 к СО1 – 17:45 GMT/20:45 ДМВ.

01.08.20 г. – расстыковка корабля SpX Demo-2 – 23:35 GMT/02:35 ДМВ.

02.08.20 г. – приводнение корабля SpX Demo-2 – 18:48 GMT/21:48 ДМВ.

18.08.20 г. – расстыковка HTV-9 от МКС.

03.10.20 г. – старт корабля «Cygnus» NG-14 – 01:16 GMT.

05.10.20 г. – стыковка корабля NG-14 и установка к надирному порту Node1 в 11:59 GMT.

14.10.20 г. – старт ТПК № 747 – 08:45 ДМВ/05:45 GMT.

Стыковка ТПК № 747 к МИМ1 – 08:49 GMT/11:49 ДМВ.

Внекорабельная деятельность (ВКД):

ВКД в СК «Орлан-МК» не планировалась.

ВКД в EMU:

26.06.20 г. ВКД-65 АС – КЭ, БИ-11 МКС-63. Продолжительность – 6 *ч* 07 *мин*.

01.07.20 г. ВКД-66 АС – КЭ, БИ-11. Продолжительность – 5 *ч* 59 *мин*.

16.07.20 г. ВКД-67 АС – КЭ, БИ-11. Продолжительность – 5 *ч* 59 *мин*.

21.07.20 г. ВКД-68 АС – КЭ, БИ-11. Продолжительность – 5 *ч* 29 *мин*.

Выполнение программы полета и организация режима труда и отдыха (РТО) экипажа

Старт ТПК «Союз МС-16» № 745 состоялся 09.04.2020 г. в 11:05 ДМВ. Сближение с МКС проведено по 4-витковой схеме, стыковка к МИМ2 в автоматическом режиме состоялась в 14:13 GMT/17:13 ДМВ.

БИ-1 разместился в левой каюте СМ, БИ-2 – в каюте на АС. После напряженного РТО (бодрствование в день старта около 24 часов) у обоих накопилась усталость, сон в эти сутки был полноценным, принес чувство достаточного отдыха.

В первую неделю пребывания на МКС космонавты работали вместе с экипажем предыдущей экспедиции без выходных дней. Для БИ-1 и БИ-2 по 1 часу ежедневно выделялось время на адаптацию и ознакомление со станцией. Дополнительно к плановым заданиям оба выполняли эксперименты по программе Task List, на что затрачивали в среднем от 30 до 90 минут ежедневно. 15.04.20 г. состоялась передача смены по РС МКС от КЭ МКС-62 к БИ-1 МКС-63.

Для обеспечения работ по расстыковке ТПК «Союз МС-15» РТО экипажа был изменен (рис. 1).

После расстыковки ТПК «Союз МС-15» РТО экипажа МКС стал спокойным и размеренным, БИ-2 переместился для проживания с АС в правую каюту СМ. Первые выходные дни провели по своему усмотрению, выполнили большой объем работ по уборке на станции, отдыхали.

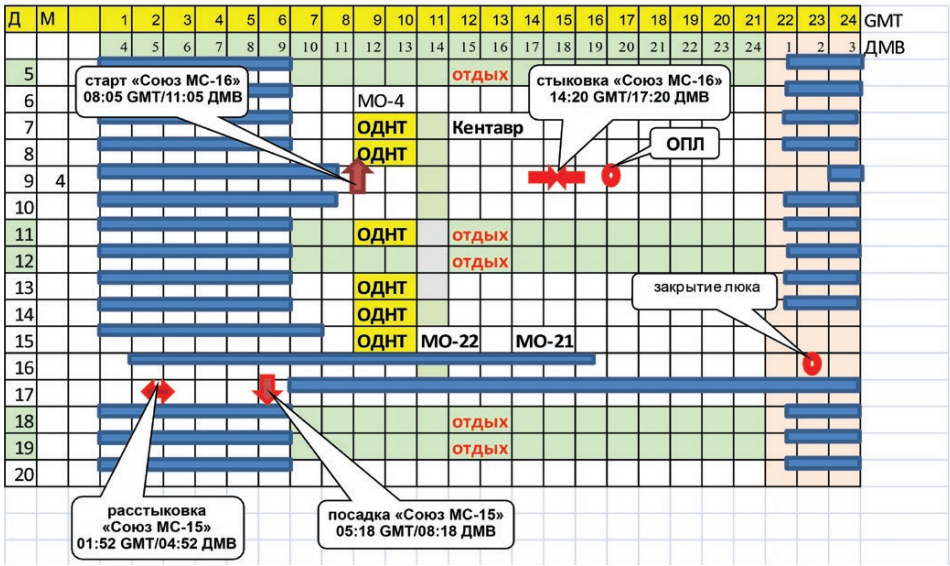

Рис. 1. РТО экипажей МКС на период старта и стыковки корабля «Союз МС-16» и расстыковки корабля «Союз МС-15»

Изменения РТО в связи со стартом и стыковкой ТГК «Прогресс МС-14» перенесли хорошо.

Планировавшийся экипажу РТО оценивается как штатный – еженедельно планировалось 5 рабочих и 2 дня отдыха. Соблюдалась штатная последовательность основных элементов бытовой зоны. В среднем время выполнения основных работ в суточном плане в рабочие дни у БИ-1 и БИ-2 не превышало 6 *ч* 30 *мин*. На сон планировалось по 8,5 часа в штатное время. Фактически при реализации детальных планов программы полета отмечалось увеличение рабочего времени как в будни, так и в дни отдыха, за счет выполнения БИ-1 и БИ-2 дополнительных внеплановых работ и увеличения времени при выполнении отдельных плановых работ. Дополнительно к этому рабочая нагрузка периодически превышала штатные нормативы из-за выполнения работ и экспериментов по программе Task List, на что ежедневно как в будни, так и в дни отдыха затрачивалось от 30 минут до 2 часов.

Напряженность РТО в отдельные периоды полета была связана с проведением погрузочно-разгрузочных работ с грузовыми и пилотируемыми кораблями, с выполнением заданий по программе Task List и дополнительных работ по указанию Земли. Большой объем дополнительных работ, выполненных в полете (мероприятия в целях определения источника бензола в атмосфере МКС, поиском места утечки атмосферы МКС) во многом обеспечивался ограничением свободного времени как в рабочие дни, так и в дни отдыха.

На заключительном этапе полета с 08.10.20 г. для БИ-1 и БИ-2 в суточном рабочем плане выделялся 1 час времени на подготовку к возвращению на Землю.

Предоставленные 10 и 11.10.20 г. выходные дни БИ-1 и БИ-2 использовали на поиск места утечки атмосферы, на подготовку возвращаемых грузов, РВР АСУ, работы по программе Task List.

Для обеспечения стыковки ТПК «Союз МС-17» изменения РТО были незначительными и не оказали заметного влияния на работоспособность экипажа МКС-63.

14.10.20 г. впервые для пилотируемого корабля успешно выполнена сверхбыстрая двухвитковая схема сближения и стыковка корабля «Союз МС-17» с модулем МИМ1 РС МКС.

В период совместной деятельности с новым экипажем экспедиции МКС-64 все дни недели планировались рабочими, т.е. без отдыха в выходные дни.

Основной вид деятельности экипажей характеризовался емкими работами по укладке возвращаемого и удаляемого оборудования в ТПК «Союз МС-16». Дополнительно к основным работам экипаж продолжал работы по поиску негерметичности в ПрК и выполнял некоторые работы по Task List.

В сутки расстыковки и посадки ТПК «Союз МС-16» (21/22.10.20 г.) РТО экипажей оценивался как напряженный, поскольку деятельность осуществ-

лялась с временным сдвигом на ночной период суток: 21.10.20 г. подъем в 12:00 GMT, расстыковка в 23:32 GMT/02:32 ДМВ (22.10.20 г.). Посадка спускаемого аппарата ТПК «Союз МС-16» в заданном районе состоялась в 05:54:12 ДМВ (22.10.20 г.).

Медицинский контроль

Медицинское обеспечение осуществлялось в соответствии с требованиями по медицинским операциям на Международной космической станции (International Space Station Medical Operations Requirements Documents – ISS MORD). В ходе полета оперативно передавались методические указания по проведению медицинских обследований и по другим вопросам, касающимся медицинского обеспечения экипажа.

БИ-1 и БИ-2 выполнили весь объем запланированных штатных операций периодического медицинского контроля состояния здоровья и среды обитания.

Оперативный медицинский контроль проводился:

– во время выведения автономного полета и стыковки с МКС ТПК № 745 (09.04.20 г.);

– при проведении ОДНТ-тренировок: 06.10.20 г., 09.10.20 г., 13.10.20 г., 16.10.20 г., 19.10.20 г., 20.10.20 г.;

– во время расстыковки и спуска ТПК № 745 (21/22.10.20 г.);

– при проведении научных экспериментов – МБИ-33 «Биокард»: у БИ-1 – 29.04.20 г., 08.05.20 г., 02.07.20 г., 03.09.20 г.; у БИ-2 – 03.09.20 г., 02.07.20 г., 03.09.20 г.

Результаты динамического медицинского контроля свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях, достаточных функциональных резервах организма и отсутствии каких-либо существенных отклонений в функциональном состоянии организма космонавта, что обеспечило сохранение высокого уровня работоспособности на всех этапах экспедиции.

Психологический климат в экипаже и взаимодействие с наземными службами сохранялись на всем протяжении полета на достаточно высоком уровне и носили благоприятный характер.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

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

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 726–734 *мм рт. ст.*

Жалоб на сухость воздуха в сеансах радиосвязи от экипажа не поступало, однако БИ-1 отметил, что периодически испытывает сухость в носу, воз-

можно, из-за пониженной относительной влажности воздуха. Для оптимизации влажностного режима в РС периодически отключались СКВ.

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

При жалобах экипажа на температурный дискомфорт проводилась перенастройка СОТР.

Повышение уровня PCO_2 (в пределах допустимых величин) отмечалось в периоды разделения межмодульной вентиляции американского и российского сегментов для поиска места утечки атмосферы МКС и нахождения на РС 3 членов экипажа в течение нескольких дней:

– с 18:52 GMT 21.08.20 г. до 08:42 GMT 25.08.20 г. в объеме СМ – МИМ-2 – ТПК № 745;

– 25–28.09.20 г. в РС при отключенной СОА «Воздух».

При повышении уровня PCO_2 выше 3 *мм рт. ст.*, а также в период отключения СОА «Воздух» (25–29.10.20 г. в соответствии с алгоритмом поиска места утечки атмосферы в РС МКС) включались поглотительные патроны на РС МКС.

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП, СРВ-К2М, СКВ1/СКВ2, СОА «Воздух», СКО «Электрон-ВМ»; УОВ «Поток 150МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 часов.

Периодически проводились наддувы станции воздухом, кислородом и азотом из ТГК, а также азотом средств АС.

В апреле 2020 года на МКС в воздухе был зафиксирован бензол. Сначала его концентрация держалась на уровне 65 микрограммов на кубический метр, после чего стала повышаться. Однако концентрация не превышала предельно допустимую норму и не угрожала экипажу.

В начале июня 2020 года от американской стороны поступила информация, что по данным газоанализатора AQM1, расположенного в LAB, в течение месяца отмечается повышение содержания бензола.

В целях определения источника бензола в атмосфере МКС проводились мероприятия в соответствии с процедурой, согласованной специалистами ЦУПа-Х и ЦУПа-М.

11.06.20 г. выполнено разделение межмодульной вентиляции американского и российского сегментов на несколько часов; после восстановления объединенной межмодульной вентиляции убран воздуховод и прикрыт люк ТГК «Прогресс МС-14».

15.06.20 г. прикрыт люк ТПК «Союз МС-16».

С 10.06.20 г. проводились замеры уровня бензола газоанализатором AQM1 в СМ; получаемые данные анализировались специалистами. Отобраны пробы воздуха пробоотборниками АК-1М в СМ во время работы AQM1 и в ФГБ.

17–18.06.20 г. проводились замеры уровня бензола газоанализатором AQM1 в СМ; затем прибор вышел из строя, был демонтирован и перенесен на АС.

18.06.20 г. (16:57 GMT) повторно выполнено разделение межмодульной вентиляции (IMV) американского и российского сегментов. Отобраны пробы воздуха пробоотборниками АК-1М в СМ в районе AQM1 сразу после разделения межмодульной вентиляции и через два часа.

19.06.20 г. утром на несколько часов включался АФОТ-2М. Отобраны пробы воздуха пробоотборниками АК-1М в СМ в районе AQM1 перед включением и после отключения АФОТ-2М. Проведено измерение вредных примесей с помощью CMS в СМ. В 19:00 GMT межмодульная вентиляция была восстановлена.

22.06.20 г. открыты люки и отобраны пробы воздуха пробоотборниками АК-1М в ТПК № 745 и ТГК № 448 перед прокладкой воздуховодов.

07.07.20 г. по запросу американской стороны отобрана проба воздуха в ТГК № 443 (перед закрытием люков) пробоотборником GSC; одновременно взята проба воздуха российским пробоотборником АК-1М.

На ТГК «Прогресс МС-15», прибывшем на станцию 23.07.2020 г., были доставлены два новых газоанализатора Draeger и 90 тест-пластинок для поиска источника бензола.

В целях получения характеристик по бензолу в атмосфере МКС проведены:

24.07.20 г. первоначальный анализ ситуации:

– измерения уровня бензола газоанализатором CMS в СМ и Lab – результаты замеров: менее 50 ppb (0,16 *мг/м*^{3});

– отбор проб воздуха пробоотборником АК-1М в СМ и Lab;

– отбор проб воздуха пробоотборником GSC в Lab.

25.07.20 г. (09:00 GMT) выполнено разделение объединенной межмодульной вентиляции и проведены:

– измерения уровня бензола газоанализатором CMS в СМ и Lab через 1, 3, 6 и 9 часов, результаты всех замеров менее 50 ppb (0,16 *мг/м*^{3}); в 19:19 GMT межмодульная вентиляция восстановлена.

30.07.20 г. НАСА сообщило, что американские газоанализаторы не обнаружили токсичный бензол в атмосфере Международной космической станции.

Замечания по работе СОЖ, СОГС и СТР

07.04.20 г. КЭ МКС-62 доложил о наличии влаги на шланге, идущем к СРВК-2М.

10.04.20 г. проведена замена МФР (мембранного фильтра-разделителя) СРВК-2М.

19.07.20 г. БИ-1 доложил, что СВО-3В долго не пил, вчера попробовал – вода с запахом резины и горьковатая на вкус. 20.07.20 г. проведена замена СВО-3В.

14.10.20 г. в 18:33 GMT зафиксировано отключение газоанализатора ГЛ 21-06.

Периодически фиксировались срабатывания датчиков дыма в РС, срабатывание пожарной сигнализации в АС. По докладам экипажа, запаха гари, дыма и других признаков возгорания обнаружено не было, проводился анализ воздуха газоанализатором CSA-CP – показания были в норме. Срабатывание сигнализации расценивалось как ложное и возможно было связано с увеличением количества пыли при работах экипажа за панелями и при чистке вентиляционных решеток.

06.08.20 г. в 19:24 GMT на АС МКС сработала пожарная сигнализация «FIRE», по докладу ЦУПа-Х были проведены отборы проб прибором CSA-CP – продукты горения и вредные примеси не обнаружены. КЭ доложил об отсутствии задымления и открытого огня. Срабатывание пожарной сигнализации признано ложным. Действий российского экипажа не потребовалось.

26.09.20 г. отмечалось ложное срабатывание двух датчиков дыма в ФГБ.

01.10.20 г. зафиксирован переход датчика дыма ИДЭ-4 № 2 в МИМ1 в состояние «неисправен». В настоящее время в МИМ1 в ТМ-режиме работают два датчика из трех. Ситуация анализируется специалистами.

01.10.20 г. сработала аварийно-предупредительная сигнализация «Пожар» в ПхО. По докладу экипажа показания газоанализатора CSA-CP в норме. Срабатывание сигнализации расценено как ложное.

21.10.20 г. в 19:15 GMT по ТМИ зафиксировано подрабатывание датчика дыма ИДЭ-3 № 9, в это же время экипаж доложил о прохождении аварийного сообщения «SMOKE» на ПСС ФГБ из-за ложного срабатывания датчиков дыма ИДЭ-3 № 8 и № 9 в ФГБ. По докладу экипажа запаха гари и дыма в ФГБ не обнаружено. Показания газоанализатора CSA-CP в норме. В настоящее время в ФГБ работает 2 датчика ИДЭ-3 № 8 и № 9, остальные 7 датчиков ИДЭ-3М отключены.

СКВ2 в начале полета МКС-63 включалась в режиме четверо суток работы/сутки выключена. 26.04.20 г.–30.05.20 г. отмечалось неоднократное нештатное самопроизвольное отключение системы по признаку – «температура хладона ниже нормы». В дальнейшем в работу не включалась.

СКВ1 с 30.05.20 г. включалась в режиме трое суток работы/трое суток выключена.

СОА «Воздух». Периодически отмечались нештатные отключения СОА «Воздух» (21.06.20 г., 21.08.20 г.). После реализации рекомендаций специалистов система включалась в работу.

В связи с обнаружением 20.08.20 г. небольшой утечки воздуха из атмосферы МКС для поиска негерметичного модуля/отсека проведена временная изоляция модулей МКС. С 21.08.20 г. (18:52 GMT) до 25.08.20 г. (08:42 GMT) все 3 члена экипажа находились на РС в объеме СМ – МИМ-2 – ТПК № 745.

24.09.20 г. в связи с продолжением утечки воздуха из АС специалистами ЦУПа-М и ЦУПа-Х принято решение о необходимости продолжения поиска места утечки.

25.09.20 г. КЭ перешел в СМ МКС и экипаж выполнил работы по изоляции объемов МИМ1, СО1+ТГК № 444 и объемов РС и АС МКС.

25–30.09.20 г. СОА «Воздух» была отключена, что требовал алгоритм поиска места утечки атмосферы в РС МКС; вместо нее был включен поглотительный патрон ВП-1.

СКО «Электрон-ВМ». Периодически отмечались нештатные отключения системы.

26.09.20 г. БИ-1 выполнил поиск места утечки атмосферы ультразвуковым прибором ULD на российском сегменте и доложил, что ничего интересного не нашли. Единственное – сзади 9-го иллюминатора в сторону задней части станции есть сектор, где достаточно сильно шумит, но это не от иллюминатора, а из-за шума от вентиляторов, прибор на вентиляторы хорошо срабатывает.

28.09.20 г. проведено открытие объема МИМ1; открытие объемов СО1+ТГК № 444; объединение объемов РС и АС. Состоялась изоляция объема ТГК № 448. Закрытие люка ПрК-СУ.

29.09.20 г. экипаж в течение дня выполнял работы по поиску места утечки воздуха ультразвуковым прибором ULD в РО-ПрК-ПхО на российском сегменте. Место утечки воздуха не было обнаружено.

30.09.20 г. закрыты люки ПрК СУ и РО ПрК, проведена проверка герметичности СОА «Воздух». По заключению специалистов СОА «Воздух» герметична, а источником утечки является ПрК. Люки ПрК СУ и РО ПрК были открыты, проводились работы по поиску места утечки в ПрК. БИ-1 сообщил, что не нашли утечку.

01.10.20 г. расконсервация ТГК «Прогресс МС-14» и демонтаж воздуховода; закрытие переходных люков ПрК-СУ и СУ-ТГК «Прогресс МС-14» и контроль герметичности.

03.10.20 г. экипаж выполнил поиск негерметичности в ПрК с использованием полиэтиленовых пакетов и ультразвукового течеискателя ULD. По согласованию ЦУПа-М с ЦУПом-Х было принято решение люк РО-ПрК не закрывать до 04.10.20 г.

04.10.20 г. экипаж обследовал подозрительные места утечек, загерметизировал липкой лентой стык стыковочного узла и шпангоута ПрК, после чего закрыли люк ПрК и оставили под контролем телекамер до утра. Результаты поиска отрицательные, а падение давления в ПрК продолжалось.

05.10.20 г. БИ-1 выполнил поиск негерметичности ультразвуковым течеискателем ULD, стетоскопом и методом «пленки» (участок корпуса или узла накрывается герметичной пленкой или скотчем с последующим контролем изменения формы) – место утечки не обнаружено.

06.10.20 г. экипаж провел поиск места утечки в ПрК с помощью измерителя потока ИП-1. Люк РО-ПрК при этом оставался открытым. Место утечки воздуха не было обнаружено. Специалистами было рекомендовано датчики потока закрепить в направлении ШСС. Люк РО-ПрК на ночь закрыт.

07.10.20 г. открытие люка РО-ПрК и продолжение поиска места негерметичности в ПрК с использованием полиэтиленовых пакетов, измерителей потока и телекамеры. Место утечки воздуха не было обнаружено.

08.10.20 г. поиск места не герметичности в ПрК с помощью американского механического индикатора утечки. Место утечки воздуха не было обнаружено. Установленный в ПрК мановакуумметр контролировался двумя телекамерами GoPro.

09.10.20 г. проведена герметизация предполагаемых мест утечки с помощью DuxSeal (легкосъемный парафиновый воск); демонтаж оборудования ШСС для герметизации гермоволновода и гермоввода; установка двух камер GoPro и индикаторов направления движения воздуха.

10.10.20 г. открытие люка РО-ПрК; монтаж волновода ШСС; герметизация скотчем и пластиковой пленкой сварочных швов оболочки ПрК. Во время вечерней DPC БИ-2 доложил, что обклеил примерно одну треть всех швов и также обклеил швы вокруг иллюминатора и КВД.

11–12.10.20 г. продолжена герметизация скотчем в ПрК.

13.10.20 г. поиск места негерметичности в ПрК продолжен.

14.10.20 г. за время изоляции ПрК отмечалось снижение давления по мановакуумметру до 610 *мм рт. ст.* После открытия люка РО-ПрК давление поднялось до 732 *мм рт. ст.* Проведена герметизация серой лентой и пластиковой пленкой гермоплаты F14 и свободного пространства под ящиком и воздуховодом по 1 плоскости в ПрК. Люк РО-ПрК оставлен открытым.

15.10.20 г. БИ-1 сообщил, что вчера нашли возможное место негерметичности. Мы распределили пакетик с чаем при закрытии РО-ПрК и БИ-2 определил, что чаинки скопились в районе ШСС.

16.10.20 г. БИ-1 доложил, что давление продолжает уменьшаться, хотя темп падения заметно уменьшился. Ситуация анализируется специалистами, готовятся рекомендации по герметизации места утечки.

СКО «Электрон-ВМ»

Периодически отмечались нештатные отключения системы.

14.10.20 г. зафиксирован отказ СКО «Электрон-ВМ». 15.10.20 г. после реализации рекомендаций специалистов система включена в работу в режиме 24А. 16.10.20 г. переведена в режим 32А.

21.10.20 г. по ТМИ зафиксировано нештатное отключение системы по признаку «повышенное давление кислорода», после чего СКО «Электрон-ВМ» отключена с продувкой без включения. Ситуация анализируется специалистами.

АСУ

01.08.20 г. БИ-1 сообщил о неисправности АСУ. По рекомендации специалистов установка была отключена. 02.08.20 г. проведены РВР.

07.10.20 г. экипажу рекомендовано заменить мочеприемник и фильтр-вставку. После реализации рекомендаций специалистов работоспособность восстановлена.

10.10.20 г. БИ-1 доложил, что АСУ не включается. Работы по устранению неисправности АСУ проведены утром 11.10.20 г. После реализации рекомендаций специалистов, замены мочеприемника, БИ-1 доложил, что все работает.

19.10.20 г. экипаж сообщил о срабатывании сигнализации «консервант некачественный» в АСУ. После проведения РВР, БИ-1 доложил о штатной работе АСУ.

По согласованию с американской стороной, в периоды неработоспособности АСУ РС российские члены экипажа пользовались WHC в АС.

Радиационная обстановка (РО) на МКС

За время полета РО внутри станции в основном оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у БИ-1 составила 8,57 *сГр* (8571 мрад), у БИ-2 – 7,17 *сГр* (7169 мрад), что не превышает допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules B 14.2.2-12 и Гост 25645.215-85.

23.04.20 г. БИ-1 сообщил, что в указанном месте размещения в ТПК № 745 найден только один дозиметр ИД-3МКС – № 352 (предназначен для БИ-1), второй дозиметр не найден (№ 353 для БИ-2). Экипажу сообщены другие возможные места размещения ИД-3МКС в ТПК.

11.05.20 г. БИ-2 доложил, что его индивидуальный дозиметр ИД-3МКС (№ 353) пока не найден в ТПК № 745.

21.08.20 г. БИ-2 доложил, что индивидуальный дозиметр № 353 отсутствовал изначально. Его искали в самом начале полета в корабле, не нашли и больше его не искали.

14.09.20 г. был проведен поиск индивидуального дозиметра ИД-3МКС № 353, БИ-1 доложил: «По поиску дозиметра результат отрицательный».

18.10.20 г. во время приватной медицинской конференции БИ-1 было сделано напоминание об укладке ИД-3МКС в скафандр.

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «Пилле-МКС». Все датчики находятся в работоспособном состоянии. Значения измеренной мощности поглощенной дозы остаются в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules B 14.2.2-12).

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

08.09.20 г.–28.09.20 г. датчики «Пилле» А0154, А0307, А0313, А0314 были размещены возле блоков ДБ8 для сличения показаний датчиков «Пилле» и дозиметров ДБ8 (по рекомендации СРБ).

По результатам проверки выявлены различия в показаниях ДБ8-1 и датчика «Пилле» на панели 409, что объясняется дополнительной защитой датчика «Пилле» материалами панели. Различия в показаниях других датчиков объясняются различными ионизационными потерями в кремниевых детекторах дозиметров ДБ8 и в термолюминесцентном стекле датчиков «Пилле».

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Еженедельно экипаж проводил плановую уборку станции.

При плановом контроле качества атмосферы РС МКС (в СМ) пробоотборниками ИПД-СО монооксида углерода не обнаружено; пробоотборниками ИПД-NH3 13.04.20 г. – показания 0,25 *ppm* (0,17 *мг/м*^{3}), что ниже ПДК (1,0 *мг/м*^{3}). 29.07.20 г. и 16.10.20 г. – аммиака не обнаружено.

Замечания экипажа в сеансах радиосвязи

22.07.20 г. БИ-2 отметил наличие белых и коричневых разводов (налета) за панелями 435–436 СМ; при работе с БПК отметил, что на входе Г1 и на разъеме Х3 имеются коричневатые капли воды. При чистке датчиков дыма в МИМ2 за панелями обнаружил много пыли; убрал ее пылесосом.

23.07.20 г. после открытия переходного люка ТГК № 444 БИ-1 доложил, что стыковочный агрегат очень пыльный снаружи. В грузовике тоже много пыли, которая похожа на мелкую деревянную пыль. При работе в ТГК экипаж использовал респираторы.

10.09.20 г. БИ-2 отметил, что воздуховоды в каютах, левой и правой, можно чистить чаще. Там пыли много скапливается. И, в целом, воздуховоды организованы так, что обратный поток воздуха образуется по краям, и этот обратный поток засасывает обратно за решетку и там вся эта пыль скапливается. Если решетку поворачивать, то вся пыль начинает вылетать на голову, поэтому надо на будущее подумать с вентиляцией. В каюты затягивает крошки со стола, если дверь открыта.

15.10.20 г. экипаж сообщил, что во время работы аппаратуры «Каскад», произошло задымление БКУ. Аппаратура была обесточена, а блок БКУ удален. БИ-1 произвел измерения прибором CSA-CP.

19.10.20 г. при проведении работ с использованием пылесоса сильно нагрелся кабель и ощущался слабый запах, пылесос был выключен. БИ-1 выполнил контроль воздуха с использованием CSA-CP. Экипажу было рекомендовано включить поглотитель А-2 до проведения вечерней конференции по планированию.

На протяжении всего полета БИ-1 и БИ-2 санитарно-гигиеническую обстановку на станции оценивали в основном как комфортную.

15.08.20 г. проведена дополнительная дезинфекционная обработка с использованием комплекта «Фунгистат» левой и правой кают СМ.

Исследование акустической обстановки

Исследование проводилось в модулях АС и РС МКС с использованием акустического монитора в режиме измерений уровней шума (SLM).

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

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

Результаты анализа полученных данных показали, что:

– 09.04.20 г. в МИМ2 РС МКС уровни звука на рабочих местах превышали допустимые значения на 1,8–3,5 *дБА*. По сравнению с предыдущими замерами от 26.10.2017 г. уровни звука на рабочих местах МИМ2 повысились во всех контрольных точках на 0,9–3,6 *дБА*.

– 16.06.20 г. в СМ РС МКС уровни звука превышали допустимые значения на 3,7–7,0 *дБА* на рабочих местах и на 2,1 *дБА* в левой каюте. По сравнению с предыдущими замерами от 19.12.2019 г. уровни звука в левой каюте СМ повысились на 1,0 *дБА*, а в правой каюте понизились на 2,4 *дБА*.

– 14.07.20 г. в ФГБ МКС уровни звука на рабочих местах превышали допустимые значения на 1,9–4,7 *дБА*. По сравнению с предыдущими замерами от 10.03.2019 г. уровни звука на рабочих местах ФГБ повысились практически во всех контрольных точках на 0,7–2,3 *дБА*.

Определение индивидуальной акустической нагрузки

Проводилось для БИ-1 и БИ-2 за дневной и ночной период времени с использованием акустического монитора (АМ) в режиме акустической дозиметрии.

Места сна российских членов экипажа на момент проведения исследований:

БИ-1 – левая каюта СМ;

БИ-2 – правая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал:

– 28–30.04.20 г. у российских членов экипажа на 20–22-е сутки полета шумовая нагрузка превышала предельно допустимый уровень (ПДУ) как за дневной период, так и за ночной период на 8,9–9,8 *дБА* и 4,1–8,8 *дБА*, соответственно.

– 22–24.06.20 г. у российских членов экипажа на 75–77-е сутки полета шумовая нагрузка превышала предельно допустимый уровень (ПДУ) как за дневной период, так и за ночной период на 8,4–10,2 *дБА* и 5,5–5,6 *дБА*, соответственно.

Высокий уровень шума (85–87 *дБА*), зарегистрированный в период определения шумовой нагрузки за дневной период у БИ-2, был связан с чист-

кой вентилятора в МИМ1 пылесосом. При этом БИ-2 использовал наушники с активным шумоподавлением.

Сравнение с предыдущими замерами (от 28–30.04.2020 г.) показало отсутствие динамики шумовой нагрузки за дневной период у обоих космонавтов. Шумовая нагрузка за ночной период повысилась у БИ-1 на 1,5 *дБА*, а у БИ-2 снизилась на 3,3 *дБА*.

– 13–15.07.20 г. у российских членов экипажа на 96–98-е сутки полета шумовая нагрузка превышала предельно допустимый уровень (ПДУ) как за дневной период, так и за ночной период на 7,5–9,5 *дБА* и 2,7–4,9 *дБА*, соответственно.

Сравнение с предыдущими замерами (от 22–24.06.2020 г.) показало отсутствие существенной динамики шумовой нагрузки как за дневной, так и за ночной период у обоих космонавтов.

– 16–18.09.20 г. у российских членов экипажа на 161–163-и сутки полета шумовая нагрузка превышала предельно допустимый уровень (ПДУ) как за дневной период, так и за ночной период на 7,4–8,8 *дБА* и 6,0–6,1 *дБА*, соответственно.

Сравнение с предыдущими замерами (от 13–15.07.2020 г.) показало у БИ-1 повышение шумовой нагрузки как за дневной, так и за ночной период на 1,3 *дБА* и 1,2 *дБА*, соответственно, а у БИ-2 снижение шумовой нагрузки за дневной период на 2,1 *дБА*, при отсутствии динамики за ночной период.

Статические измерения эквивалентных уровней звука за дневной и ночной периоды

Результаты анализа полученных данных показали, что:

– в СМ РС МКС в районе ЦП эквивалентный уровень звука превышает ПДУ как за дневной, так и за ночной период на 2,8 *дБА* и на 2,2 *дБА*, соответственно.

– в МИМ2 РС МКС в центральном отсеке эквивалентный уровень звука превышает ПДУ как за дневной, так и за ночной период на 2,3 *дБА* и на 2,2 *дБА*, соответственно.

– в СМ РС МКС в районе СОА «Воздух» эквивалентный уровень звука превышает ПДУ как за дневной, так и за ночной период на 6,1 *дБА* и на 6,4 *дБА*, соответственно.

– в МИМ1 РС МКС в центральном отсеке эквивалентный уровень звука превышает ПДУ как за дневной, так и за ночной период на 10,4 *дБА* и на 8,1 *дБА*, соответственно.

– в ФГБ (п. 404) РС МКС эквивалентный уровень звука превышает ПДУ как за дневной, так и за ночной период на 13,0 *дБА* и на 12,1 *дБА*, соответственно.

Контроль микроэкосферы среды обитания

По результатам МО-21 («Контроль микроэкосферы среды обитания») проведенной 28.07.20 г. на 111-е сутки полета МКС-63 бактерии были обнаружены

в 11 из 15 исследованных зон. Количественный уровень обсемененности воздушной среды представителями бактериальной флоры колебался от 10 до 150 КОЕ в 1 $м^3$, что не превышало регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для бактерий, равный 1000 КОЕ в 1 $м^3$.

Плесневые формы грибов были обнаружены в 4 из 15 исследованных зон. Содержание микромицетов в воздушной среде находилось в пределах 10 КОЕ в 1 $м^3$, что не превышало регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для плесневых форм грибов, равный 100 КОЕ в 1 $м^3$.

Вывод: на 110-е сутки работы экипажа МКС-62/63 содержание бактерий и фрагментов плесневых грибов в воздушной среде не превышало нормативный показатель, регламентируемый SSP 50260 MORD.

Питание и водопотребление

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

14.06.20 г. БИ-1 сообщил, что постоянно рвутся упаковки с супом.

Использование средств профилактики

Для БИ-1 и БИ-2 10.04.20 г. проведен инструктаж по пользованию тренажера ARED, 12 и 13.04.20 г. – по одной ознакомительной тренировке на БД-2/ВБ-3М.

С 14.04.20 г. физические тренировки планировались по российской программе, общей продолжительностью 2,5 часа преимущественно блоком (периодически два раза в день) на БД-2 и ВБ-3М/ARED с чередованием.

С 24.09.20 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 с 06.10.20 г.

В связи с временной изоляцией модулей МКС с 21.08.20 г. до 25.08.20 г. все 3 члена экипажа находились на РС в объеме СМ – МИМ-2 – ТПК № 745. 22.08.20 г. проведен инструктаж КЭ по выполнению ФУ на БД-2 и 22, 23 и 24.08.20 г. КЭ выполнял физические тренировки на БД-2 продолжительностью по 1 часу.

Изменения в планировании физических тренировок в связи с изменением РТО:

– 16 и 17.04.20 г. ФТ не планировались (расстыковка ТПК № 744).
– 25.04.20 г. – не планировались (стыковка ТГК № 448).
– 23.07.20 г. – по одной тренировке (стыковка ТГК № 444).

Профилактическое изделие «Браслет-М» БИ-1 использовал в первые сутки полета – несколько раз по 60 минут (степень затяга 1), БИ-2 использовал с первых суток на станции практически постоянно в течение нескольких дней, на ночь снимал.

Примерка и подгонка изделия «Кентавр» у КЭ, БИ-1, БИ-2 проведена 12.10.20 г. БИ-1 сообщил, что изделие подогнано, замечаний нет. БИ-2 – шнуровку нижней трети шорт расслабил и переподогнал.

По ежедневным докладам экипажа и данным объективного контроля ФТ выполнялись в полном объеме.

Информация по работе тренажеров

16.07.20 г. БИ-1 отметил, что после ТО БД-2 работает хорошо.

18.08.20 г. БИ-1 сообщил, что левая педаль ВБ-3М уже в не очень хорошем состоянии, нужно прислать новые педали.

18.10.20 г. экипаж сообщил, что во время выполнения ФУ на ВБ-3М, было повторное соскакивание правой педали. Вернули на место, зафиксировали. БИ-2 добавил, что уже третий раз шатун соскакивает с оси после замены пружины т.е. это становится более или менее регулярным.

Выводы

Обеспечение безопасности космического полета на борту МКС определяется качеством организации медицинского обеспечения космического полета, проведением санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий. Изучение и оценка потенциальных рисков, мониторинг среды обитания космонавтов позволили нивелировать неблагоприятные факторы космического полета и снизить их влияние на организм космонавтов.

Медицинские и санитарно-гигиенические средства, система обеспечения питанием, лечебно-профилактические мероприятия в целом обеспечили нормальную жизнедеятельность и работоспособность космонавтов на протяжении всего полета.

Результаты медицинского контроля свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях и достаточных функциональных резервах организма как в ходе полета, так и на завершающем его этапе.

ГМО ГОГУ проводила комплексную оценку состояния здоровья и работоспособности космонавтов, а также основных параметров среды обитания; контролировала соблюдение РТО и использование средств профилактики; участвовала в формировании решений по медицинскому обеспечению и выдаче медицинских заключений о степени годности членов экипажа к выполнению запланированных элементов программы полета.

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

Психологический климат в экипаже на протяжении всего полета был позитивным.

Полет выполнен без медицинских проблем, влияющих на безопасность космического полета. Замечания и предложения экипажа приняты к реализации.

Уровень предполетной подготовки экипажа был достаточным и адекватным задачам полета.

Успешному завершению полета способствовали коллегиальные взаимоотношения участников полета, продуктивный деловой контакт со специалистами и операторами наземных служб и высокая ответственность космонавта и его партнеров за выполнение профессиональных задач.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

МКС – Международная космическая станция
NASA – космическое агентство США
JAXA – Японское космическое агентство
БИ – бортовой инженер
КЭ – командир экипажа
ТПК – транспортный пилотируемый корабль
ТГК – транспортный грузовой корабль
ДМВ – декретное московское время
GMT – время Гринвичского меридиана
МИМ1 – малый исследовательский модуль 1
МИМ2 – малый исследовательский модуль 2
АО СМ – агрегатный отсек служебного модуля
РС МКС – российский сегмент МКС
СК – скафандр
ВКД – внекорабельная деятельность
EMU – американский скафандр для ВКД
ОВЛ – открытие выходного люка
ЗВЛ – закрытие выходного люка
РТО – режим труда и отдыха
Task List – перечень работ, подготовленный группой планирования. Он содержит задачи, которые могут быть выполнены на усмотрение экипажа во время рабочего дня или в личное время вне рабочих часов экипажа
ФТ – физические тренировки
СА – спускаемый аппарат
БО – бытовой отсек
ГОГУ – Главная оперативная группа управления
ISS MORD – документ требований к медицинским операциям МКС
ОДНТ – отрицательное давление на низ тела
МБИ – медико-биологические исследования
ГМО – группа медицинского обеспечения
СМ – служебный модуль
ФГБ – функционально-грузовой блок
СО1 – стыковочный отсек
СОТР – система обеспечения терморегулирования
КОХ – контур охлаждения
РРЖ – регулятор расхода жидкости
СКВ – система кондиционирования воздуха
БМП – блок удаления микропримесей
СРВ-К2М – система регенерации воды из конденсата
СОА «Воздух» – система очистки атмосферы
СКО «Электрон-ВМ» – система обеспечения кислородом
УОВ «Поток 150МК» – устройство очистки воздуха
РВР – ремонтно-восстановительные работы
ТМ – телеметрия
ДРО – общее давление в рабочем отсеке служебного модуля
ДПХО – общее давление в переходном отсеке служебного модуля
РОБД – рабочий отсек большой диаметр
ДСА – давление в спускаемом аппарате
ДБО – давление в бытовом отсеке
PO_2 – парциальное давление кислорода
PCO_2 – парциальное давление углекислоты
PH_2O – парциальное давление паров воды
ОВ % – относительная влажность воздуха
ТСА – температура в спускаемом аппарате в градусах Цельсия
ТБО – температура в бытовом отсеке в градусах Цельсия
CSA-CP – американский анализатор состава атмосферы
ЕДВ – емкость для воды
БРП – блок раздачи и подогрева
БРП-М – блок раздачи и подогрева воды модернизированный
РО – радиационная обстановка
АСУ – ассенизационно-санитарное устройство
ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера
СПН – сменная панель насосов
КОБ – контур обогрева
СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности
ПДУ – предельно допустимый уровень
МО – медицинская операция
БД-2 – бегущая дорожка РС МКС
ARED – силовой тренажер АС МКС
ВБ-3М – велоэргометр бортовой
ИМБП – Институт медико-биологических проблем
ЦПК – Центр подготовки космонавтов
ТНК-У-1М – российский тренировочно-нагрузочный костюм для бегущей дорожки
Harness – американский тренировочно-нагрузочный костюм для бегущей дорожки

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.018:629.735.45:007.51 DOI 10.34131/MSF.21.1.42-60

ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКИХ КАЧЕСТВ КОСМОНАВТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРТОЛЕТА В ИНТЕРЕСАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПРОГРАММ

П.Н. Власов, В.Н. Кислицин, М.М. Харламов, Б.И. Крючков, А.В. Солодников, В.М. Усов, Б.В. Бурдин

Герой Российской Федерации, заслуженный летчик-испытатель РФ П.Н. Власов; В.Н. Кислицин; канд. экон. наук М.М. Харламов; докт. техн. наук Б.И. Крючков; А.В. Солодников; докт. мед. наук В.М. Усов; канд. техн. наук Б.В. Бурдин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье исследуются методические и организационные вопросы использования современных вертолетов для оценивания операторских качеств космонавтов в интересах перспективных пилотируемых миссий. Разработана и апробирована методика исследования влияния длительных космических полетов на качество операторской деятельности космонавтов, выполняющих управление сложной динамической человеко-машинной системой. Предлагается система объективных показателей оценивания операторских качеств космонавтов по результатам серии постановочных экспериментов.
Ключевые слова: вертолеты, имитаторы посадочного лунного модуля, космонавты, операторские качества космонавтов, глиссада, до- и послеполетные эксперименты, экстремальные факторы полета.

Possibilities of Studying the Operator Qualities of a Cosmonaut with the Help a Helicopter for the Benefit of Future Manned Space Programs. P.N. Vlasov, V.N. Kislitsin, M.M. Kharlamov, B.I. Kryuchkov, A.V. Solodnikov, V.M. Usov, B.V. Burdin

The paper investigates the methodical and organizational issues of the use of existing helicopters in order to evaluate cosmonauts' operator qualities for the benefit future manned space missions. The methodology for studying the effects of long-duration staying in space on the quality of activity of a cosmonaut-operator who controls a complex dynamic human-machine system has been designed and tested. The paper offers the system of objective indications for the evaluation of cosmonauts' operator qualities according to the results of a series of preliminary experiments.
Keywords: helicopters, lunar descent module simulator, cosmonauts, cosmonaut's control skills, glideslope, preflight and postflight experiments, extreme flight factors.

Особенности использования вертолетов при отработке лунных пилотируемых программ

При отработке задач посадки пилотируемого летательного аппарата на поверхность Луны СССР и США в 60-е годы прошлого столетия широко использовали различные летательные аппараты с технологией вертикального взлета и посадки, в том числе и вертолеты [1–3].

В США вертолеты в обязательном порядке использовались для подготовки астронавтов перед тренировками на наземных (LLRF) и летных (LLTV) аналогах лунного посадочного модуля. Программа обучения на вертолете составляла 100 часов налета, причем с отработкой навыков «висения» и последующей вертикальной посадки, незнакомых пилотам обычных самолетов.

Кроме того, на начальном этапе создания летных тренажеров для посадки на Луну, специалистами НАСА изучался вопрос использования вертолетов для отработки ручного управления спуском. При этом ставилась задача создать на этапе спуска для пилота условия, близкие к лунной гравитации, для чего было необходимо компенсировать часть веса вертолета за счет его наклонения вперед. Подобная схема была признана опасной, поскольку операции посадки выполнялись на небольших высотах и впоследствии от них отказались в пользу аппаратов типа LLTV [17–20].

В СССР в 1966 году начались тренировки на вертолетах космонавтов, отобранных в группу по программе Л-3 [3]. С высоты 70 *м* космонавты должны были при снижении по глиссаде, близкой к лунной, за 30–40 *с* выбрать место и осуществить посадку вертолета. При плане в 40–50 посадок эксперименты были приостановлены на 6–9 посадках, а затем отменены вовсе из-за их высокой опасности.

Этим эксперименты по лунной программе на вертолетах не ограничивались. На базе Летно-исследовательского института (ЛИИ) МАП СССР совместно с ОКБ-1 (ЦКБЭМ, ныне – ПАО «РКК «Энергия») был проведен цикл работ на базе серийных вертолетов МИ-4, оборудованных лунными кабинами-имитаторами. При этом использовались два типа кабин пилотов – подвижная с кардановым подвесом и неподвижная. Фактически они представляли собой динамические тренажеры и использовались космонавтами группы Л-3 для отработки посадки на Луну.

В ходе экспериментальных исследований [4–6] специалистами обеих организаций был выполнен большой объем работ по изучению динамических характеристик вертолетных имитаторов в части определения оптимальных законов управления ими, а также создания эффективных систем управления подобными комплексами. В конечном итоге были выработаны рекомендации по построению высокоточных штатных систем посадки на Луну с использованием ручного управления.

Опыт использования вертолетов в СССР и США в ходе подготовки лунных программ оказался положительным. В указанный период вертолеты стали незаменимым техническим средством для отработки различных задач обеспечения управляемого спуска посадочного модуля на поверхность Луны.

Отличие вертолетов от других типов летательных аппаратов состоит в том, что на них можно выполнять вертикальные режимы полета. К ним относятся: вертикальный набор высоты, висение, вертикальное снижение с выдерживанием места относительно земли. По технике пилотирования эти режимы относятся к наиболее сложным для летчика [11].

При выполнении полетов на вертолете у космонавтов формируются способности быстрых двигательных реакций, умения адаптироваться к изменившимся пространственным и ситуационным условиям, оценивать сложный многокомпонентный процесс полета, в ограниченное время принимать рациональные решения, адекватно реагировать на усложнение обстановки.

Полеты по маршруту на вертолете дают возможность отрабатывать выполнение совмещенной деятельности, ведение радиообмена, использование технических средств для контроля местонахождения, визуальную ориентировку по земным ориентирам, а также развивают глазомер, быструю и точную реакцию на внешние возмущения, способствуют выработке профессиональных приемов, необходимых для космонавтов как операторов в условиях безопорного пространства.

Висение, развороты и перемещения на различных высотах на вертолете вырабатывают навыки пространственной и ситуационной ориентировки, сложные операторские навыки, тренируют вестибулярный аппарат, а также вырабатывают качества, способствующие принятию оптимальных решений в нештатных ситуациях.

На современном этапе работ целесообразно, с учетом предшествующего опыта, оценить и проработать возможность создания научно-технических заделов по использованию вертолетов для исследования возможностей человека управлять сложными техническими комплексами в интересах перспективных пилотируемых космических программ.

Заметим, что в рамках выполняемой работы не ставилась задача отработки конкретных режимов предстоящих лунных миссий или подготовки космонавтов к их выполнению. Такие работы могут быть продолжением данного исследования при использовании соответствующих исходных данных на лунный взлетно-посадочный комплекс.

Постановка задачи

Для исследования влияния внешних факторов на результаты деятельности космонавтов разработать способ и методику оценивания операторских качеств космонавта с использованием вертолетного комплекса, имеющего определенные летно-технические характеристики и функционирующего в определенных условиях.

Обозначим векторы, соответственно определяющие летно-технические характеристики вертолетного комплекса как $A_{<q>}$, условия его функционирования как $B_{<l>}$, а организацию процесса как $B_{<k>}$. Тогда качество результатов, достигаемых при реализации формируемого процесса исследований, будет определяться трехкомпонентным вектором

$$Y_{рез} = Y_{рез}(A_{<q>}, B_{<l>}, B_{<k>}). \quad (1)$$

Процессы исследований на авиационных комплексах являются типичным случаем, когда на условия их функционирования и применения воздействует целый ряд априори неизвестных, а потому случайных факторов. Поэтому, в реальных условиях эксперимента векторы (1) следует рассматривать как случайные:

$$\hat{Y}_{рез} = \hat{Y}_{рез}(\hat{A}_{<q>}, \hat{B}_{<l>}\ \hat{B}_{<k>}), \quad (2)$$

где, ^ – символ случайного события.

Процесс оценивания операторских качеств космонавта с использованием вертолетного комплекса можно считать пригодным для применения, если полученные результаты будут соответствовать цели исследования.

Тогда критерий пригодности формируемого процесса примет вид

$$G_{пр} : \hat{Y}_{рез} \in \{\hat{Y}^{тр}_{рез}\}, \quad (3)$$

где $\hat{Y}^{тр}_{рез}$ – вектор требуемых результатов, т.е. соответствующих цели исследования, $\in$ – знак принадлежности множеству.

Поскольку критерии пригодности типа (3) непосредственно не могут быть применены для оценивания операторских качеств космонавтов, в условиях реального воздействия случайных факторов целесообразно использовать показатели в виде вероятности события [16]

$$P_{рез} = P\ (\ \hat{Y}_{рез} \in \{\hat{Y}^{тр}_{рез}\}\ ), \quad (4)$$

где $P_{рез}$ – вероятность получения результатов оценивания при комплексе условий, определяемых (2).

Общая схема и модель процесса исследования операторских качеств

Обзор летно-технических характеристик ($A_{<q>}$) современных гражданских вертолетов [9, 10] показывает, что некоторые из них, например, легкие многоцелевые вертолеты типа «Eurocopter», «Robinson», обладают качествами, необходимыми для решения поставленной задачи. Они надежны и безопасны в эксплуатации, имеют хорошую управляемость (реакцию на отклонение органов управления), высокую устойчивость (способность самостоятельно

выдерживать заданные пилотом параметры полета: скорость; высоту; углы тангажа, крена, рыскания, скольжения). Кроме того, они обеспечивают возможность имитации полетов по некоторым режимам лунных программ: полеты по определенным участкам глиссад, режимы «висения», выбора мест посадки и выполнения на них безопасного снижения летательного аппарата с учетом ограничений по времени и размерам площадки.

Упомянутые вертолеты имеют двойное управление – для обучаемого и инструктора, что необходимо для освоения их космонавтами-испытателями, не имеющими опыта полетов на вертолетах. Они могут быть использованы также для проведения экспериментов с участием космонавтов после длительных полетов на МКС. Эти вертолеты обеспечивают комфортное пребывание экипажа в кабине и всепогодность полетов.

В рамках работ НИИ ЦПК использовался вертолет «Eurocopter AS-350 B3», одна из достаточно надежных и проверенных моделей данного класса с 4-лопастным несущим винтом и низкой вибрацией. Крейсерская скорость полета вертолета составляет 235 *км/ч*, дальность полета 690 *км*, продолжительность полета 4,4 *ч*, полезная нагрузка 1048 *кг*, взлетная мощность 860 *л.с.*, полный взлетный вес 2250 *кг*, объем топливного бака 540 *л*.

Для решения поставленной задачи в основу разработки программы и методики полетов на вертолете положен опыт подготовки на учебно-тренировочных самолетах НИИ ЦПК [12] и авиационных учебных центров гражданской авиации, осуществляющих подготовку пилотов легких вертолетов. Кроме того, учитывался прошлый опыт подготовки астронавтов НАСА к выполнению лунных миссий.

Эксперименты при полетах на вертолете проходят в определенных условиях (вектор $B_{<l>}$), под которыми понимается совокупность объектов различного характера непосредственно не участвующих в процессе оценивания операторских качеств космонавтов, но влияющих на этот процесс. К ним могут быть отнесены погодные условия, навигационное обеспечение, ориентиры на местности, качество площадок взлета, посадки и др. При подготовке и выполнении экспериментов условия выбираются, прежде всего, исходя из требований безопасности проведения работ.

Особое влияние на качество исследований оказывают характеристики их организации (вектор $B_{<k>}$). Компоненты этого вектора определяются принятой моделью исследований $M_{<k>}$, типом циклограммы эксперимента $Z_{<k>}$, траекториями глиссад управляемого спуска $V_{<k>}$, порядком оценивания действий космонавта $O_{<k>}$, профессиональными качествами космонавтов-испытателей $K_{<k>}$, участвующих в экспериментах. Вектор $B_{<k>}$ можно представить в виде

$$B_{<k>} = B_{<k>}(M_{<k>}, Z_{<k>}, V_{<k>}, O_{<k>}, K_{<k>}). \quad (5)$$

На рис. 1 показана общая структурная схема модели исследований. В рамках аналитического блока (бл. 1) выполняется проектирование экспери-

ментов на вертолете в соответствии с поставленными целями исследований. В нем решаются следующие основные задачи: расчет глиссады, определение маршрута полетов от аэродрома базирования вертолета до зоны проведения эксперимента по спуску, общее планирование летных экспериментов, вертолетная подготовка космонавтов для допуска к пилотированию вертолета с инструктором, подготовка профессиональных пилотов к вертолетным тестам. Следующий блок (бл. 2) предусматривает проведение тестовых полетов на вертолете профессиональными пилотами с целью отработки всей циклограммы эксперимента, а также глиссады спуска. На основании результатов этих полетов разрабатываются предложения (бл. 3) по программе и методике экспериментов (бл. 4). На следующих этапах (бл. 5–7) проводятся до- и послеполетные эксперименты с экипажами МКС [7, 8]. Результаты таких экспериментов в части имитации снижения по «лунным» глиссадам могут быть использованы (бл. 8) при разработке программы специальной летной подготовки космонавтов на вертолетах (СЛПКВ).

Общий вид циклограммы проведения этих экспериментов на вертолете с участием экипажей МКС показан на рис. 2. Суммарная длительность эксперимента T_Σ складывается из продолжительности каждого этапа, т.е. $T_c = \sum_{i=1}^{8} t_i$. На практике T_c оценивается величиной около 1÷1,2 *ч*.

Рис. 1. Структурно-функциональная схема исследований с использованием вертолета

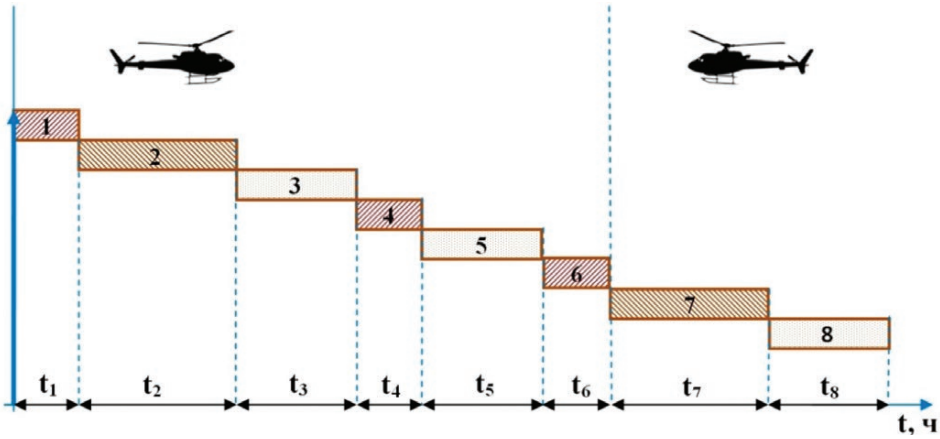

Рис. 2. Циклограмма эксперимента

(Этапы эксперимента: 1 – взлет на аэродроме базирования и набор заданной высоты; 2 – горизонтальный полет; 3 – снижение по глиссаде с зависанием на Н = 5 *м* над площадкой, посадка; 4 – взлет и набор высоты на Н = 150 *м*; 5 – спуск по глиссаде с зависанием Н = 5 *м* над площадкой (без посадки); 6 – набор заданной высоты; 7 – горизонтальный полет; 8 – посадка на аэродроме базирования)

Глиссада спуска – траектория полета летательного аппарата (самолета, вертолета, космического аппарата), по которой он снижается перед посадкой. Важнейшая характеристика глиссады – угол между плоскостью глиссады и горизонтальной плоскостью.

Все посадочные модули LM в программе «Аполлон» выполняли снижение на поверхность Луны по определенной глиссаде. Условно она делилась на два участка (коридора). Дальний начинался с высоты 2,3 *км*, ближний – с высоты 150 *м* [17, 18]. В процессе снижения пилот должен по приборам контролировать параметры глиссады – высоту над поверхностью, скорость снижения ЛА, определять визуальные ориентиры и в соответствии с ними управлять модулем для выполнения посадки в заданном районе на поверхность Луны. Все без исключения осуществленные астронавтами посадки пилотируемого модуля на Луну доказали, что только ручное пилотирование кораблем может надежно обеспечить выбор места посадки и безопасную посадку на Луну.

В рамках данного исследования в числе различных режимов полета космонавта на вертолете выполнялась имитация режима ручного управления посадкой летательного аппарата. При этом применялась глиссада спуска (рис. 3), близкая к используемой в программе «Аполлон» при 100-часовой вертолетной подготовке астронавтов (в рамках ближнего коридора глиссады).

В качестве исходных данных были приняты следующие параметры глиссады: Н = 150 *м*, Д = 600 *м*, V = 80 *км/ч*, V_y = 2 *м/с*, угол глиссады 33 *град*.

Для контроля прохождения глиссады выбраны четыре реперных точки:

– 1-й промежуточный параметр глиссады снижения: Н = 100 *м*, Д = 400 *м*, V = 80 *км/ч*, $V_у$ = 2 *м/с*;

– 2-й промежуточный параметр глиссады снижения: Н = 50 *м*, Д = 200 *м*, V = 80 *км/ч*, $V_у$ = 2 *м/с*;

– 3-й промежуточный параметр глиссады снижения: Н = 5 *м*, Д = 0 *м*, V = 0 *км/ч*, $V_у$ = 0 *м/с*, который соответствует условиям выдачи команды на отключение посадочного двигателя при касании щупа поверхности Луны;

– конечный параметр глиссады, соответствующий касанию вертолета поверхности земли: Н = 0 *м*, Д = 0 *м*, V = 0 *км/ч*, $V_у$ = 0 *м/с*.

На рис. 3 красным цветом обозначены предельно допустимые (зачетные) границы отклонений по высоте полета вертолета ($H_{зад} \pm 10$ %) при имитации спуска по рассматриваемой глиссаде.

В ходе эксперимента устанавливается определенная последовательность действий космонавта: 1) при обнаружении площадки космонавту необходимо принять решение на посадку вертолета; 2) при достижении высоты 150 *м* и удаления до точки зависания 600 *м* перевести вертолет на снижение с заданной вертикальной скоростью 400 *ф/мин* (2 *м/с*); 3) с высоты примерно 50 *м* и на удалении 200 метров до точки зависания плавно уменьшить вертикальную и горизонтальную скорости с расчетом выполнения зависания над местом посадки; 4) выполнить зависание над точкой посадки на высоте 5 метров, а затем посадку на землю (в первом заходе) или зависание (во втором заходе), набор высоты и возвращение на аэродром базирования.

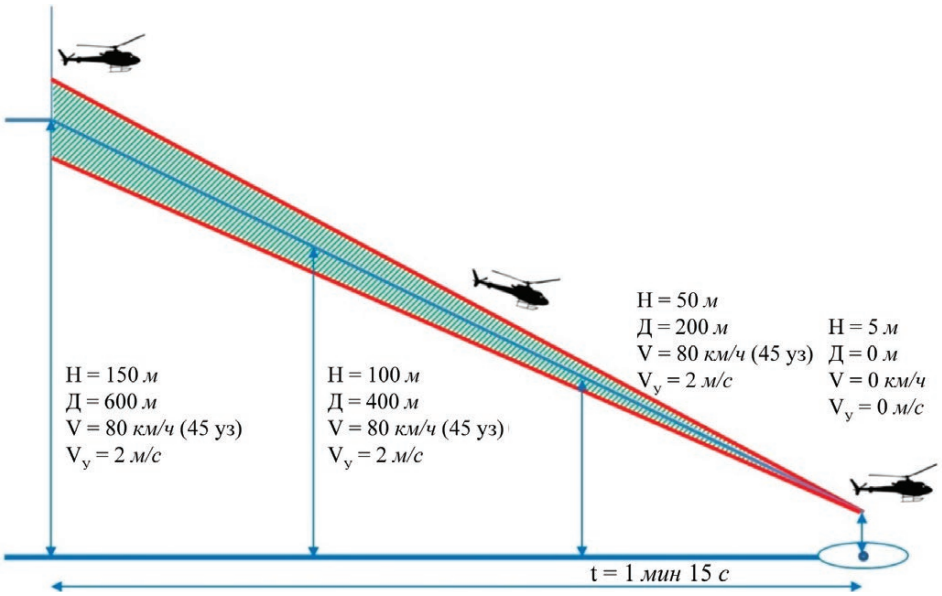

Рис. 3. Траектория полета на «ближнем участке глиссады» при ручном управлении вертолетом

При подготовке к полетам на вертолете до выполнения послеполетных космических экспериментов (ППКЭ) [7] космонавт должен изучить и знать порядок выполнения ППКЭ, местоположение площадки относительно аэродрома и близлежащих ориентиров, ее размеры и конфигурацию, наличие, характер и высоту препятствий, ограничивающих ее, условия захода на посадку с различных направлений, состояние земной поверхности.

К выполнению экспериментов допускаются космонавты, прошедшие необходимый курс подготовки к полетам на вертолете, имеющие налет на нем не менее 40 *ч* и получившие допуск на полеты по управлению вертолетом с инструктором в кабине.

Порядок выполнения ППКЭ осуществляется в соответствии с циклограммой (рис. 2) и выглядит следующим образом: космонавт выполняет вертикальный взлет на вертолете с аэродрома базирования. Набирает заданную высоту и выполняет горизонтальный полет (около 15 *км*) к месту имитации снижения по «лунной» глиссаде. Полет к площадке и выход на исходный ориентир выполняется по установленной схеме на заданных высоте и скорости полета. При достижении точки входа на глиссаду космонавт выполняет поочередно два снижения по «лунной» глиссаде. Первое с посадкой на землю, с зависанием на высоте 5 *м*, второе без посадки с дальнейшим набором заданной высоты и возвращением в горизонтальном полете к аэродрому базирования.

Одним из важнейших методических вопросов при организации до- и послеполетных экспериментов на вертолете является вопрос о сроках проведения фоновых экспериментов. Для исключения влияния перерывов между датой проведения фоновых экспериментов и датой пуска реального ПКА на результаты оценивания исследуемых после полета на МКС операторских качеств космонавтов необходимо, в общем случае, фоновые эксперименты на вертолете проводить как можно ближе к старту ПКА. Конкретные рекомендации по данному вопросу в настоящее время разрабатываются с учетом дат предстоящих стартов ПКА, возможной продолжительности полетов экипажей на МКС, результатов освоения космонавтами программы СЛПКВ.

Оценивание действий космонавта

Оценивание операторских качеств космонавта предлагается выполнять в два этапа. На первом этапе в ходе полета на вертолете инструктор, находящийся в правом кресле, обеспечивает измерение необходимых показателей (количественное и качественное), а на втором, после полета, полученные оценки обрабатываются и выносится суждение о действиях космонавта.

На каждом этапе циклограммы эксперимента (рис. 2) будет разное число оцениваемых действий m_i. В целом за эксперимент их будет m

$$m = \sum_{i=1}^{8} m_i. \qquad (6)$$

Оценивание техники пилотирования и навигации выполняется по пятибалльной системе по всем режимам полета (Su): вертикальный взлет, набор высоты, висение, горизонтальный полет, имитация снижения по «лунной» глиссаде и др. Поскольку в каждом из них содержится несколько оцениваемых действий, число m в эксперименте может достигать нескольких десятков.

Так как реальный эксперимент сопровождается воздействием множества случайных факторов (2) и случайных погрешностей измерения, в результате фиксации инструктором действий космонавта в рассмотрение вводятся m параметров в виде *системы случайных величин* или *случайного вектора*. Для дополетных экспериментов этот случайный вектор можно представить в виде m – мерного вектора – строки

$$\hat{X}^{\partial n}_{<m>} = < \hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots \hat{x}_m >, \tag{7}$$

для послеполетных экспериментов соответственно

$$\hat{Y}^{nn}_{<m>} = < \hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots \hat{y}_m >, \tag{8}$$

где $\hat{x}_i$, $\hat{y}_i$, – значения случайных величин, фиксируемые в соответствующих экспериментах, а $\hat{x}_i[i = 1(1)m]$ и $\hat{y}_i[i = 1(1)m]$ – их последовательности от 1 до m с шагом 1.

Для оценки числовых характеристик систем (7) и (8) можно найти математические ожидания

$$\begin{aligned} M_{\hat{X}^{\partial n}_{<m>}} &= < M_{\hat{x}_1}, M_{\hat{x}_2}, \dots M_{\hat{x}_m} >, \\ M_{\hat{Y}^{nn}_{<m>}} &= < M_{\hat{y}_1}, M_{\hat{y}_2}, \dots M_{\hat{y}_m} >. \end{aligned} \tag{9}$$

Тогда, рассматривая оценки $\hat{X}^{\partial n}_{<m>}$ и $\hat{Y}^{nn}_{<m>}$, сделанные для k космонавтов, участвующих в экспериментах, как k независимых равноточных наблюдений, можно воспользоваться формулами для вычисления состоятельных и несмещенных оценок системы случайных величин [15, 16]. Для дополетных (фоновых) экспериментов запишем

$$\left.\begin{aligned} M^{\partial n}_{\hat{x}_i} &= \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_{ij}, \\ D^{\partial n}_{\hat{x}_i} &= \frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^{k}\left(x_{ij} - M_{\hat{x}_i}\right)^2. \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

Аналогично можно записать эти формулы и для системы послеполетных случайных величин

$$\left.\begin{aligned} M_{\hat{y}_i}^{nn} &= \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} y_{ij}, \\ D_{y_i}^{nn} &= \frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^{k}\left(y_{ij} - M_{\hat{y}_i}\right)^2. \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

В обеих системах формул (10) и (11) $x_{ij}[i = 1(1)m, j = 1(1)k]$ и $y_{ij}[i = 1(1)m, j = 1(1)k]$ – значения, принятые случайной величиной $\hat{x}_i$ или $\hat{y}_i$ в j-м опыте (т.е. для k-го космонавта).

Для вычисления средних квадратических отношений $\sigma_{\hat{x}_i}$ и $\sigma_{\hat{y}_i}$ $[i = 1(1)m]$ можно использовать формулу [15]

$$\sigma_{\hat{x}_i,\hat{y}_i} = k_{n-1}\sqrt{D_{x_i,y_i}}, \quad (12)$$

где $k_{n\text{-}1}$ – табличный коэффициент, зависящий от объема выборки. Например, при участии 5 космонавтов в экспериментах он будет равен 1,051 [16].

Формулы (9–12) позволяют получить оценки положения и рассеяния случайных величин для каждого из m действий космонавта в любом до- и послеполетном эксперименте, что важно для детального исследования операторских качеств космонавта. При этом методы оценивания качества числовых характеристик случайных векторов будут отличаться для малых (при $k \leq 30$) и больших выборок [15, 16].

Применение зависимостей (9–12) также целесообразно при оценивании действий космонавтов при имитации снижения на вертолете по «лунным» глиссадам, поскольку значения m_i при этом не велики ($i \approx 4$–5), а значит объемы вычислений при оценках параметров (10–12), как и их сравнение для до- и послеполетных экспериментов, не будут громоздкими.

Если требуется оценивание действий космонавта в рамках отдельного этапа ($Z_{<k>}$) или режима полета (Su) на вертолете, можно воспользоваться методом ведущих компонент [16]. При этом ведущими компонентами $\hat{X}_{<z>}^{\partial n}$, $\hat{X}_{<Su>}^{\partial n}$, $\hat{Y}_{<z>}^{\partial n}$, $\hat{Y}_{<Su>}^{\partial n}$ будем называть те, которые наиболее полно отражают физическую сущность цели оценивания действий космонавта. Остальные компоненты будут ведомыми, на них накладываются ограничения и в явном виде они в дальнейших процедурах оценивания не фигурируют. В качестве примера ведущих компонент при оценивании техники пилотирования в режиме «висения» вертолета можно назвать «выдерживание высоты» и «сохранение места висения».

Для интегрального оценивания операторских качеств космонавта на всех $Z_{<k>}$ этапах циклограммы (в нашем случае их 8, см. рис. 2), формулы типа (9–12) не пригодны из-за различного физического смысла фиксируемых случайных величин, входящих в системы (7), (8). В таком случае, наиболее доступным способом оценивания будет применение пятибалльной шкалы

оценивания для каждого из m действий космонавта, вычисление среднего балла для каждого значения $\hat{x}_i$ и $\hat{y}_i$ по результатам участия в экспериментах k космонавтов и, в конечном итоге, получение средних баллов за весь эксперимент. После этого, в рамках ППКЭ, можно оценивать (сопоставлять) результаты до- и послеполетных экспериментов и делать заключение о влиянии космического полета на операторские качества космонавта.

Пятибалльная шкала формируется с учетом нормативов оценивания, принятых при обучении пилотированию вертолетов, ТТХ используемого вертолета, опыта подготовки космонавтов на тренажерах. В качестве примера в рамках данной работы в таблице 1 приведен фрагмент такой шкалы.

Таблица 1

Нормативы оценивания техники пилотирования и навигации (фрагмент)

Наименование оцениваемых действий (n_i)	Оценка			
	отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
Горизонтальный полет				
Выдерживание скорости	Заданная ±5 узлов	Заданная ±8 узлов	Заданная ±11 узлов	Отклонение от заданной более 11 узлов
Выдерживание направления	Заданное ±3°	Заданное ±5°	Заданное ±7°	Отклонение от заданного более 7°
Выдерживание высоты	Заданная ±10 *м*	Заданная ±20 *м*	Заданная ±25 *м*	Отклонение от заданной более 25 *м*
Висение				
Выдерживание высоты	Заданная ±10 %	Заданная ±15 %	Заданная ±20 %	Отклонение от заданной более 20 %
Выдерживание направления	Заданное ±2...3°	Заданное ±5°	Заданное ±7°	Отклонение от заданного более ±7°
Сохранение места висения	Смещение до ±0,5 *м*	Смещение до ±1 *м*	Смещение до ±2 *м*	Смещение более ±2 *м*

Таким образом, по совокупности результатов, полученных в экспериментах, можно оценивать операторские качества космонавтов, вероятность успешных действий по управлению сложным динамическим комплексом (4) и, изменяя исходные данные экспериментов, исследовать влияние на профессиональные качества космонавтов различных условий и факторов (1), (2).

Медицинское и психофизиологическое обеспечение экспериментов

В ходе экспериментов выполняется медицинский контроль состояния космонавта и фиксируются его психофизиологические характеристики.

По каждому сеансу экспериментальных исследований готовятся следующие документы:

– медицинское заключение о допуске космонавта к исследованиям;

– информированное согласие космонавта на испытания с участием человека;

– данные объективного контроля здоровья и психофизиологического состояния космонавта в процессе исследования;

– техническое заключение о готовности вертолета к проведению исследований;

– протокол с результатами эксперимента.

По результатам экспериментов оцениваются психофизиологические характеристики космонавтов. Их значения рассчитываются на основании контроля и регистрации ряда физиологических параметров. В частности – значений частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания (ЧД), температуры заушной (Тз), массива кардиоинтервалов. Для снятия физиологических параметров в ходе полета на вертолете целесообразно использование портативной аппаратуры, не загромождающей кабину экипажа и не стесняющей действия космонавта при управлении летательным аппаратом.

Для данной задачи наиболее пригодны портативные бортовые исследовательские средства, с помощью которых производится регистрация психофизиологических характеристик космонавта на борту вертолета, а затем их апостериорная обработка [13, 14]. Рассмотренные методики регистрации и последующей оценки состояния пилота имеют техническую реализацию в виде аппаратно-программных средств для автоматической обработки психофизиологической информации. Особенностью функционирования предлагаемых способов является синхронизация записанных параметров пилота с бортовым временем воздушного судна.

Одним из эффективных направлений исследования функционального состояния оператора на тренажерах, исследовательских стендах, а также в испытательных полетах на различных типах летательных аппаратов в настоящее время считаются технологии ай-трекинга [21]. Они представляют обширную область прикладных исследований, основанных на анализе маршрутов движения глаз, поиска релевантных признаков, которые определяют когнитивную активность человека и используются им для формирования рабочих гипотез о состоянии рабочей среды и контролируемых в ней объектов, поиска и опознания объектов в составе сложной визуальной сцены. Для целей контроля состояния космонавта с использованием технологий ай-трекинга в экспериментах на вертолетах возможна более узкая постановка задачи выявления свойств переключения внимания и перемещения фокуса внимания в ситуации поиска релевантной информации в разных условиях зрительной деятельности.

Тестовые полеты

Тестовые полеты на вертолете состояли из двух этапов. На первом этапе летную отработку методики выполняли профессиональные пилоты вертолетов. На втором – космонавты, имеющие опыт космических полетов, но не имеющие опыта полетов на вертолетах (за исключением одного человека).

Все космонавты прошли необходимый курс обучения и были допущены к управлению вертолетом с инструктором в кабине.

Экспериментальные исследования проводились с декабря 2019 года по октябрь 2020 года. К отработке экспериментальной методики привлекались 7 опытных космонавтов и три пилота-профессионала. В числе космонавтов было два участника, имеющих большой опыт летной (авиационной) работы. В табл. 2 и табл. 3 приведены данные, характеризующие квалификационный статус космонавтов и профессиональных пилотов, участвовавших в экспериментах.

Таблица 2

Статус и опыт космонавтов – участников постановочных экспериментов на вертолете

№ п\п	Статус	Опыт (авиационный)	Примечание
1	Инструктор-космонавт-испытатель	нет	Опыт полетов на Л-39 в отряде космонавтов по программе СЛПК (у всех)
2	Инструктор-космонавт-испытатель	нет	
3	Космонавт-испытатель	Ту-160	
4	Инструктор-космонавт-испытатель	нет	
5	Инструктор-космонавт-испытатель	нет	
6	Космонавт-испытатель	нет	
7	Летчик-космонавт РФ, летчик-испытатель 1 класса	Опыт полетов на 44 видах самолетов и вертолетов	

Таблица 3

Статус и опыт профессиональных пилотов – участников тестовых полетов

№ п\п	Статус	Опыт (авиационный)
1	Пилот-инструктор, командир воздушного судна	Л-39, А-50, Ил-76, Ту-134, Ту-204, R-44, AS-350B3
2	Командир воздушного судна	Л-39, R-44, AS-350B3
3	Пилот-инструктор	МИ-8, МИ-24, R-44, AS-350B3, Ансат

На рис. 4 иллюстрируется поэтапное прохождение глиссады в одном из тестовых полетов 25.01.2020 г. на вертолете «Eurocopter AS-350B3» (экипаж: К.В.Н., С.А.Н.). Погодные условия: облачность 9/7, Ннго 350 *м*, видимость 10 *км*, ветер 300°, 5/9 *м*/*с*, температура +2°, влажность 87 %.

В процессе отработки элементов глиссады снижения (табл. 4) для практической проверки расчетных параметров было выполнено более 20 полетов на оборудованную площадку приземления с различной подстилающей поверхностью. Общее время прохождения глиссады при соблюдении заданных параметров составляет 1 *ч* 15 *мин*.

Таблица 4

Заданные условия режимов глиссады

Этап	1	2	3	4
Дальность (*м*)	600	400	200	0
Высота (*м*)	150	100	50	5
Угол глиссады (град.)	33	33	33	0
Скорость снижения	80 *км/ч* (45 уз)	80 *км/ч* (45 уз)	80 *км/ч* (45 уз)	80 *км/ч* (45 уз)
Вертикальная скорость (*м/с*)	2	2	2	0
Примечание: вес воздушного судна, *кг*	2250	2250	2250	2250

Фото 1. Вход в глиссаду:
Н = 150 *м*, Д = 600 *м*, V = 80 *км/ч*,
V_y = 0 *м/с*

Фото 2. Снижение по глиссаде:
Н = 100 *м*, Д = 400 *м*, V = 80 *км/ч*,
V_y = 2 *м/с*

Фото 3. Снижение по глиссаде:
Н = 50 *м*, Д = 200 *м*, V = 80 *км/ч*,
V_y = 2 *м/с*

Фото 4. Зависание над точкой посадки:
Н = 5 *м*, Д = 0 *м*, V = 0 *км/ч*,
V_y = 0 *м/с*

Рис. 4. Поэтапное прохождение глиссады вертолетом 20.01.2020 г.

Продолжительность тестовых полетов на вертолете составляла от 20 минут до 1 часа каждый с общим налетом 38 часов 21 минута.

В итоге проведения экспериментальных исследований на вертолете ожидаются результаты, позволяющие в совокупности с данными по другим видам ППКЭ получить новые знания о влиянии экстремальных условий космических полетов на качество профессиональной деятельности космонавтов. Эти знания планируется использовать как в фундаментальных (для изучения возможностей человека), так и практических целях. В практических приложениях подобные знания необходимы при отборе и подготовке космонавтов, разработке пилотируемых космических аппаратов, бортовой документации и управлении полетами.

Выводы

В целях создания научно-технических заделов для осуществления перспективных пилотируемых полетов в настоящей работе показаны возможности оценивания операторских качеств космонавтов с использованием вертолета. Предложены модель и методика исследований, которые экспериментально отработаны в ходе тестовых полетов с участием профессиональных пилотов вертолетов и космонавтов, имеющих опыт полетов в космос. Предложен способ использования вертолета в до- и послеполетных экспериментах с экипажами МКС для исследования операторских качеств космонавтов по управлению сложной динамической человеко-машинной системой после длительного воздействия на него невесомости и др. экстремальных факторов космических полетов. Даны рекомендации по оцениванию операторских качеств космонавтов по результатам экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Анализ опыта создания специализированных технических средств подготовки космонавтов для отработки посадки на лунную поверхность / Бурдин Б.В., Крючков Б.И., Греков Н.С. // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», ФГБУ «НИИ ЦПК», Звездный городок, 13–15 ноября 2019 г. – С. 47–49.

[2] Arslan H., Batiste S., Sture S. Engineering properties of lunar soilsimulant // Journal aerospace Engeneering. – 2010. – V. 23. – No 1. – pp. 70–83.

[3] Опыт СССР и США в подготовке космонавтов и астронавтов к осуществлению посадки на Луну / Бурдин Б.В., Крючков Б.И., Солодников А.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 1(34). – С. 86–103.

[4] Филипенков С.Н. О выборе параметров системы ручного управления посадкой ПКА на поверхность Луны // Авиапанорама. – 2018. – № 4(130). – С. 18–25.

[5] Берестов Л.М. Два метода обеспечения подобия динамики движения летающего вертолетного имитатора и модели летательного аппарата. Труды ЛИИ № 177, Жуковский. – 1969. – С. 5–21.

[6] Горин В.В. Исследования по выбору некоторых параметров системы ручного управления посадкой космического аппарата на поверхность Луны. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., ЛИИ МАП, Жуковский. – 1972. – С. 4–161.
[7] Экспериментальные исследования в интересах обеспечения полетов человека в дальний космос / Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Харламов М.М., Новицкий О.В., Тарелкин Е.И., Курицын А.А., Почуев В.И., Долгов П.П., Орешкин Г.Д. // Полет. – 2013. – № 8. – С. 126–135.
[8] Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М. Пилотируемые полеты к Марсу: перспективы и результаты моделирования с участием экипажей МКС // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент. Казань, Дайтона Бич. – 2014. – № 1(38). – Т. 19. – С. 1–21.
[9] Бутов А.И. Рынок вертолетов гражданского назначения. Высшая школа экономики. – 2019. – 79 с.
[10] Электронный ресурс: http: // www.heliclub.ru/ helicopters/Eurocopter AS-350 (дата обращения 27.01.2020 г.).
[11] Онушкин Ю.П., Кочиш С.И. Аэродинамика, динамика полета и практическая аэродинамика. (Ч. 2, Вертолеты). Сызранский военный авиационный институт. Сызрань, 2004. – 162 с.
[12] Новые подходы к организации специальной летной подготовки космонавтов / Крикалёв С.К., Токарев В.И., Крючков Б.И., Сорокин В.Г., Халиков М.Р., Сохин И.Г., Рыжиков С.Н. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4(9). – С. 82–91.
[13] Кулешов С.В. Цифровой биометрический браслет контроля функционального состояния оператора // Научное приборостроение. Институт аналитического приборостроения РАН. – 2011. – № 2. – С. 63–66.
[14] Мухин И.Е., Дворников М.В., Коптев Д.С. Подсистема контроля физиологического состояния пилота как одного из звеньев биотехнической системы эргатического типа «пилот–самолет–окружающая среда» // Proseedings of southwest state university. Series: control, computer engineering, information science medical instruments ingineereeng. Изд-во: Юго-Западный государственный университет (Kursk). – 2017. – Т. 7. – № 4(25). – С. 59–69.
[15] Элементы теории испытаний и контроля технических систем / Городецкий В.И., Дмитриев А.К., Марков В.М. и др.; под ред. Юсупова Р.М. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
[16] Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. – МО СССР, 1989. – 660 с.
[17] By C.H. Woodling, Stanley Faber, John J. Vun Bockel, Cbarles C. Olasky, Wayne K. Williams, Jobn L.C. Mire, and James R. Homer // Apollo Experience Report-Simulation of Manned Space Flight For Crew Training / Manned Spacecraft Center Houcston, Texas 77058. National Aeronautics and Space Administration Washin, D.C. March 1973. NASA TN D-7112.
[18] Geller D.K., Christiansen D.R. Linear covariance analysis for powered lunar descent and landing // Journal Spacecraft and Rockets. – 2009. – V. 46. – No 6. – pp. 1231–1248.
[19] Donald E. Hewes. Studies of Piloting Problems of One-Man Flying Units Operated in Simulated Lunar Grclvity // Presented at the Second National Conference on Space Maintenance and Extravehicular Activities Las Vegas, Nevada August 6–8, 1968.

[20] Lin Qing, Kang Zhiyu, Ren Jie, Zhao Qilo, Nie Hong Investigation on soft landing impact test of scale lunar lander model // Journal Vibroengineering. – 2014. – V. 16. – No 3. – pp. 1114–1139.
[21] Бондарь Г.Г. Специализированный «ай-трекинг» без ай-трекера: экспериментальный подход к изучению когнитивных процессов / Бондарь Г.Г., Гусач Ю.И., Ивлев С.А. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12–2. – С. 324–328.

REFERENCES

[1] Analyzing the Experience of Creating Dedicated Technical Equipment to Practice Moon Landing / Burdin B.V., Kryuchkov B.I., Grekov N.S. // Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”, FSBO “Gagarin R&T CTC”, Star City, November 13–15, pp. 47–49.
[2] Arslan H., Batiste S., Sture S. Engineering Properties of Lunar Soilsimulant // Journal Aerospace Engineering. – 2010. – V. 23. – No 1. – pp. 70–83.
[3] Experience of the USSR and the USA in Training Cosmonauts and Astronauts for Landing on the Moon / Burdin B.V., Kryuchkov B.I., Solodnikov A.V. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 1 (34). – pp. 86–103.
[4] Filipenkov S.N. Defining the Parameters of Manual Moon Landing // Aviapanorama. – 2018. – No 4(130). – pp. 18–25.
[5] Berestov L.M. Two Methods of Ensuring the Similarity of the Motion Dynamics of a Flying Helicopter Simulator and an Aircraft Mock-up. Trudy LII [Proceedings of FTI], No 177, Zhukovsky. – 1969. – pp. 5–21.
[6] Gorin V.V. Studying Some Parameters of Manual Moon Landing. Dissertation for the Degree of Ph.D., LII MAP, Zhukovsky. – 1972. – pp. 4–161.
[7] Experimental Research for the Benefit of Human Deep Space Exploration / Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., Novitsky O.V., Tarelkin E.I., Kuritsyn A.A., Pochuev V.I., Dolgov P.P., Oreshkin G.D. // All-Russian Sc.-Tech. Journal Polyot [Flight]. – 2013. – No 8. – pp. 126–135.
[8] Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M. // Actual Problems of Aviation and Aerospace Systems: Processes, Models, Experiments. Kazan, Dayona Beach. – 2014. – No 1(38). – vol. 19. – pp. 1–21.
[9] Butov A.I. Civil Helicopter Market. Higher School of Economics. – 2019. – 79 p.
[10] Electronic resource: http: // www.heliclub.ru/ helicopters/Eurocopter AS-350 (accessed date 27.01.2020).
[11] Onushkin Yu.P., Kochish S.I. Aerodynamics, Flight Dynamics and Practical Aerodynamics (Part 2, Helicopters). Syzran Military Aviation Institute. Syzran, 2004. – p. 162.
[12] New Approaches to the Organization of Special Flying Training of Cosmonauts / Krikalev S.K., Tokarev V.I., Kryuchkov B.I., Sorokin V.G., Khalikov M.R., Sokhin I.G., Ryzhikov S.N. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2013. – No 4(9). – pp. 82–91.
[13] Kuleshov S.V. Digital Biometric Bracelet for Operator Functional State Monitoring // Nauchnoe Priborostroenie [Scientific Instrumentation]. Institute for Analytical Instrumentation, RAS. – 2011. – No 2. – pp. 63–66.
[14] Mukhin I.E., Dvornikov M.V., Koptev D.S. Subsystem of Monitoring Physiological State of Pilot as Any of the Links of the Biotechnical System of the Erguic Type “Pilot–Airplane–Environment” // Proceedings of Southwest State University. Series:

Control, Computer Engineering, Information Science Medical Instruments Engineering. Southwestern State University Publ. (Kursk). – 2017. – Vol. 7. – No 4(25). – pp. 59–69.
[15] Elements of the Theory of Testing and Control of Engineering Systems / Gorodetsky V.I., Dmitriev A.K., Markov V.M. et al.; edited by Yusupova R.M. – Leningrad: Energia, 1978. – p. 192.
[16] Petukhov G.B. The Theory of the Efficiency of Purposeful Processes. Part 1. – Ministry of Defense of the USSR, 1989. – p. 660.
[17] By C.H. Woodling, Stanley Faber, John J. Vun Bockel, Cbarles C. Olasky, Wayne K. Williams, Jobn L.C. Mire, and James R. Homer // Apollo Experience Report-Simulation of Manned Space Flight For Crew Training / Manned Spacecraft Center Houcston, Texas 77058. National Aeronautics and Space Administration Washin, D.C. March 1973. NASA TN D-7112.
[18] Geller D.K., Christiansen D.R. Linear Covariance Analysis for Powered Lunar Descent and Landing // Journal Spacecraft and Rockets. – 2009. – V. 46. – No 6. – pp. 1231–1248.
[19] Donald E. Hewes. Studies of Piloting Problems of One-Man Flying Units Operated in Simulated Lunar Grclvity // Presented at the Second National Conference on Space Maintenance and Extravehicular Activities Las Vegas, Nevada August 6–8, 1968.
[20] Lin Qing, Kang Zhiyu, Ren Jie, Zhao Qilo, Nie Hong Investigation on Soft Landing Impact Test of Scale Lunar Lander Model // Journal Vibroengineering. – 2014. – Vol. 16. – No 3. – pp. 1114–1139.
[21] Bondar G.G. Specialized “I-tracking” Without an I-tracker: an Experimental Approach to the Study of Cognitive Processes / Bondar G.G., Gusach Yu.I., Ivlev S.A. // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2015. – No 12–2. – pp. 324–328.

УДК 629.78.007 DOI 10.34131/MSF.21.1.61-71

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОТОТИПА ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РУКОВОДСТВА ТРЕНАЖЕРА ПКА

А.И. Жохов

Канд. техн. наук А.И. Жохов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются назначение и требования, предъявляемые к исследовательскому прототипу интерактивного электронного технического руководства тренажера пилотируемого космического аппарата (ПКА), результаты его разработки.

Ключевые слова: тренажер пилотируемого космического аппарата, интерактивное электронное техническое руководство, информационное обеспечение, информационная система, информационная технология.

Results of the Development of the Research Prototype of the Interactive Electronic Technical Guide for the MSV Simulator.

A.I. Zhokhov

The paper considers the designation and requirement for the research prototype of the interactive electronic Technical Guide for the simulator of the Manned Space Vehicle (MSV) as well as the results of its development.

Keywords: MSV simulator, interactive electronic Technical Guide, information support, information system, information technology.

Интерактивное электронное техническое руководство (ИЭТР) – это совокупность электронных документов, технических данных и программно-технических средств, предназначенная для информационного обеспечения процессов использования по назначению и технической эксплуатации изделия в интерактивном режиме с помощью интерфейса электронной системы отображения (ГОСТ Р 54088–2017).

ИЭТР, как правило, создаются для сложных изделий машиностроения, таких, как воздушные и морские суда, изделия оборонно-промышленного комплекса и т.д. Наличие ИЭТР для экспортных образцов данных отраслей сегодня становится обязательным требованием заказчика.

Разработка ИЭТР может проводиться как в процессе проектирования изделия его разработчиком, так и в процессе эксплуатации путем размещения конкурсной заявки на соответствующую услугу или силами эксплуатанта.

На поисковых сайтах по тендерам на услуги можно встретить заказы на разработку и сопровождение ИЭТР самолетов и вертолетов гражданской и военной авиации, ИЭТР отдельных систем морских судов и железнодорожного транспорта, экскаваторов и другой тяжелой техники как создаваемой, так и эксплуатирующейся.

Тренажеры ПКА в значительной мере отличаются от вышеперечисленной техники как по конструкции, так и процессом эксплуатации [1]. И требования к ИЭТР тренажера ПКА, несомненно, будут отличаться от общих требований, изложенных в соответствующих ГОСТах, и требований к ИЭТР серийной продукции машиностроения. Следует также учитывать и «человеческий фактор»: обслуживающий персонал тренажера ПКА, как правило, имеет многолетний опыт работы на конкретном тренажере, начиная от стадии его заказа и приемки; обучение новых сотрудников происходит путем личной передачи опыта и знаний в процессе работы на тренажере. При накоплении опыта частота обращений к эксплуатационной документации, естественно, снижается. А освоение любой новой программной системы требует определенных усилий и мотивации.

Для того чтобы будущее ИЭТР было востребовано персоналом тренажера, необходимы практические исследования с использованием исследовательского прототипа (ИП) ИЭТР с участием персонала тренажера. В ходе этих исследований, предусматривающих оперативную доработку ИП, должны быть выработаны требования к функционалу и интерфейсу ИЭТР, подтверждена целесообразность создания ИЭТР для конкретных типов тренажеров, выработаны рекомендации по путям создания ИЭТР.

Требования к разработке ИП ИЭТР тренажера ПКА

Данные требования можно разделить на 2 группы:

Требования назначения ИЭТР

ИЭТР тренажера ПКА должно решать следующие основные задачи:

– обеспечение пользователя справочным материалом об устройстве и принципах работы изделия;

– обучение пользователя правилам эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия;

– обеспечение пользователя справочными материалами, необходимыми для эксплуатации изделия, выполнения регламентных работ и ремонта изделия;

– обеспечение пользователя информацией о технологии выполнения операций с изделием, потребности в необходимых инструментах и материалах, о количестве и квалификации персонала;

– диагностика состояния оборудования и помощь в поиске и устранении неисправностей;

– планирование и учет проведения регламентных работ.

Главным источником данных для ИЭТР является эксплуатационная документация разработчика тренажера ПКА в бумажном и электронном виде.

Требования, связанные с исследовательским характером программного комплекса:

– ИП должен обеспечивать функционал как интерактивного отображения основного контента ИЭТР, так и его создания и редактирования;

– ИП должен позволять исследовать расширенные функции ИЭТР, свойственные электронному делу изделия на этапе эксплуатации (ГОСТ Р 54089-2018, ГОСТ 2.612-2011), в объеме данных формуляра изделия;

– ИП должен позволять исследовать дополнительные функции ИЭТР, обеспечивающие доступ к данным об изделии, содержащимся в других информационных системах эксплуатанта (данные о целевом использовании тренажера – база данных (БД) и приложение «Электронные журналы тренажеров», данные о работах и закупках в интересах модернизации и поддержания работоспособности тренажера – БД и приложение «Закупки» [2]);

– ИП должен строиться с использованием свободно распространяемого программного обеспечения с открытым исходным кодом.

При разработке ИП оправдано применение упрощений:

1. В силу того, что современные стационарные тренажеры ПКА состоят главным образом из компьютерных и электронных систем, ИП может не реализовывать 3D-контент и анимацию, основным назначением которых является представление конструкции и функционирования сложных подвижных сборочных единиц изделия. Необходимость реализации 3D-контента и анимации может быть определена на этапе исследования с использованием ИП и потребует дополнительных исследований.

2. В силу специфики отношений разработчика тренажера ПКА и его эксплуатанта (разработчик сопровождает эксплуатацию изделия в течение всего периода его использования) могут быть опущены такие функции ИЭТР, как автоматизированный заказ запчастей у их изготовителей и информационная связь ИЭТР с автоматизированными системами разработчика. Последнее обстоятельство позволяет использовать html-формат модулей данных вместо рекомендуемого SGML или XML, что значительно упрощает и разработку контента ИЭТР, и его отображение в браузере.

Главная цель создания и применения ИП состоит в определении такого технического облика ИЭТР, при котором все необходимые для эксплуатации и возникающие в процессе эксплуатации данные о тренажере ПКА хранятся консолидированно и структурированно в соответствующей базе данных и файловом хранилище и все потребности в данной информации, включая ее обработку, могут быть реализованы из одного «окна» – ИЭТР.

Организация данных ИП, хранимых в базе данных

При организации хранения в БД данных ИП использован принцип типизации данных: тип данных определяет способ отображения их в электронной системе отображения.

Основные типы модулей данных (МД):

«Разделы» – данные панелей навигации, которые отображаются в левой части окна приложения (область 1 на рис. 3), через которые ИЭТР обеспечивает доступ к функционалу ИП определенного типа;

«Ссылки» – данные иерархического оглавления содержимого разделов ИЭТР, обеспечивающего интерактивное отображение соответствующего контента ИЭТР;

«Html-контент» – МД, данные которых представлены в виде html-разметки и отображаются браузером в центральной панели окна (область 2 на рис. 3);

«Image-контент» – МД об иллюстрациях (рисунки, схемы), хранимых в виде графических файлов в файловом хранилище ИЭТР, отображаемые в центральной панели окна, в отдельной вкладке браузера или в новом окне в зависимости от расширения файла (jpeg, png, pdf и др.);

«Document-контент» – МД о документах (частные руководства, инструкции, технические задания и т.д.), файлы которых хранятся в файловом хранилище ИЭТР и отображаются в центральной панели окна, в отдельной вкладке браузера или в новом окне в зависимости от расширения файла (doc, pdf и др.).

Данные всех вышеперечисленных типов хранятся в одной таблице БД – *modules* (*см*. рис. 1).

На рисунке 1 также показана структура данных, обеспечивающая хранение основных данных электронного формуляра изделия. На рисунке 2 представлена схема данных, обеспечивающая отображение пользователю данных, необходимых для технического обслуживания изделия, поиска и устранения его возможных неисправностей.

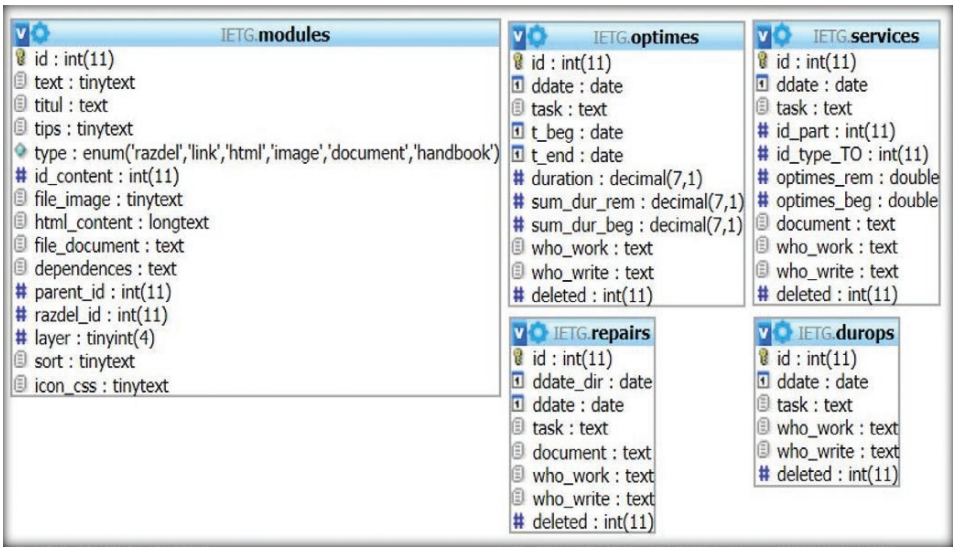

Рис. 1. Таблицы модулей данных интерактивного руководства и формуляра (*modules* – данные МД; *services* – данные записей о выполненном техническом обслуживании; *optimes* – данные записей о наработке тренажера; *durops* – данные записей о работах, выполненных при эксплуатации; *repairs* – данные записей о работах, выполненных по бюллетеням и указаниям)

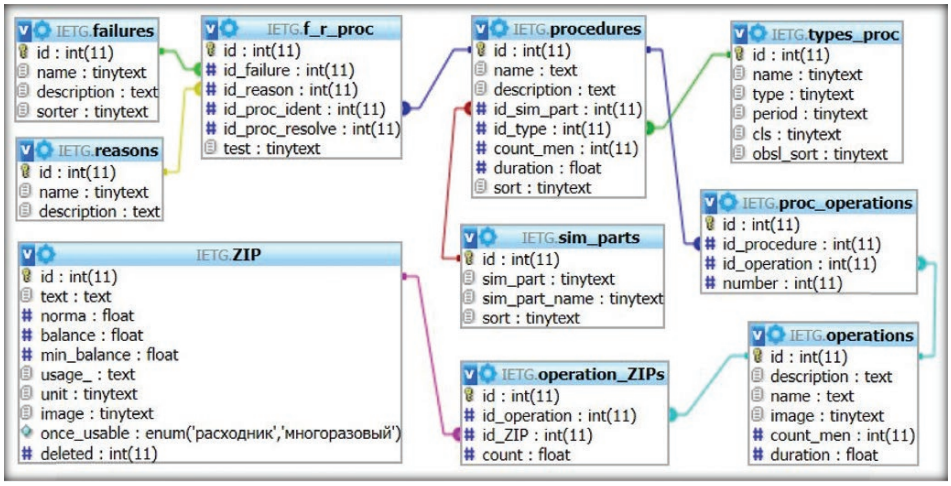

Рис. 2. Схема данных процедур интерактивного руководства

(*types_proc* – данные о типах процедур; *failures* – данные о возможных неисправностях; *reasons* – данные об их возможных причинах; *procedures* – данные процедур; *f_r_proc* – связи неисправностей, причин и процедур; *proc_operations* – связи процедур и операций; *operations* – данные операций; *operation_ZIPs* – связи операций и ЗИП; *ZIP* – данные о ЗИП; *sim_parts* – данные о системах тренажера)

Программное обеспечение и языки программирования, использованные для разработки ИП

В целях быстрой и экономной разработки и оперативной доработки ИП используемое ПО должно быть свободно распространяемым, с открытым исходным кодом, легко осваиваемым. Результат не должен использовать дополнительное программное обеспечение (ПО), инсталлируемое на ЭВМ пользователя (кроме браузера и офисного пакета для работы с распространенными типами файлов). Для разработки ИП была выбрана платформа, апробированная в других информационных системах тренажерного управления Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) [2]:

– технология построения web-приложений фирмы Sencha, ее основные элементы: Ext JS – JavaScript-библиотека основных компонентов приложения и его пользовательского интерфейса; утилита CMD – программа автоматизации процессов жизненного цикла приложения (генерация шаблона, отладка и тестирование интерфейса и логики, дистрибуция и т.д.) [3, 4];

– ПО CKEditor – графический HTML-редактор, позволяющий вставлять блоки информации из документов MS Word и Excel;

– ПО KCFinder – файл-менеджер, обеспечивающий вставку в html-разметку изображений и сохранение их файлов на сервере;

– web-сервер Apache – сервер приложения;

– MySQL – сервер управления базой данных;

– язык программирования JavaScript – язык описания логики приложения, реализуемой на стороне клиента;

– язык программирования PHP – язык описания логики взаимодействия приложения с базой данных (обработка данных на стороне сервера приложения).

Для разработки ИП ИЭТР были использованы серверные средства ЦОД (центр обработки данных) ЦПК, эксплуатационная документация тренажера информационно-управляющей системы российского сегмента Международной космической станции и тренажера ручной стыковки «Дон-Союз» в качестве тестовых данных.

Интерфейс и функционал ИП

Общий вид интерфейса ИП и его зонирование представлены на рис. 3.

Левая навигационная панель содержит 7 раскрывающихся/складывающихся по принципу аккордеона разделов ИЭТР, через которые реализуется основной функционал ИП (зона 1 на рис. 3): Руководства, Документы, Данные для эксплуатации, Формуляр, Журнал тренировок, Закупки и База данных. Выбирая элементы этих панелей, пользователь получает соответствующий контент на центральной панели (зона 2 на рис. 3).

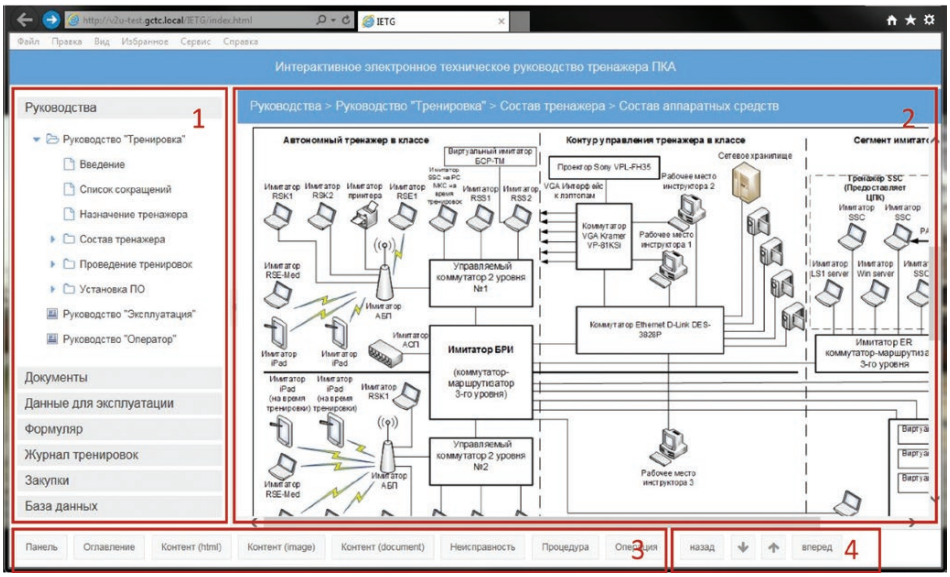

Рис. 3. Зонирование интерфейса ИЭТР

(1 – панель навигации (выбор функционала); 2 – центральная панель отображения контента; 3 – нижняя панель инициации создания новых элементов ИЭТР; 4 – кнопочная последовательная навигация внутри выбранного функционала и «история»)

Внизу окна приложения размещаются кнопочные панели:

– панель кнопок, активирующих создание новых модулей данных и объектов ИЭТР (зона 3 на рис. 3);

– панель кнопок навигации по содержимому активного раздела (стрелки «вверх» и «вниз») и кнопки перемещения по истории просмотра контента («назад» и «вперед», зона 4 на рис. 3).

Раздел «Руководства»

Данный раздел содержит как иерархическое оглавление собственно интерактивного технического руководства, так и ссылки на другие имеющиеся электронные файлы руководств (рис. 3).

Раздел «Документы»

Раздел содержит ссылки на электронные документы из хранилища ИЭТР, связанные с тренажером, сгруппированные в папки по произвольным тематикам (рис. 4).

Обеспечивается поиск документа по фразе из его титула.

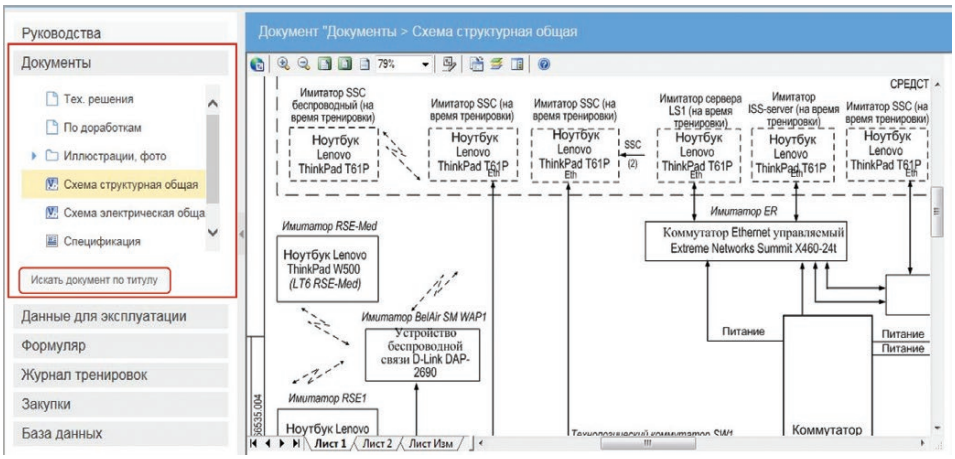

Рис. 4. Раздел «Документы»

Раздел «Данные для эксплуатации»

Раздел содержит данные для планирования технического обслуживания (ТО) систем тренажера, даты выполненных ТО (отображаются на временной ленте для удобства контроля), данные о требуемом ЗИП и ГСМ (рис. 5).

Вкладка *Типовые неисправности* содержит данные о причинах неисправностей (возможных – из эксплуатационных документов – и реально случившихся и введенных в ИЭТР пользователями), о процедурах их идентификации и устранения. Каждая процедура описывается последовательностью операций, каждая из которых представляется соответствующим описанием, иллюстрацией, потребными ЗИП, ГСМ и трудозатратами.

На вкладках ЗИП и ГСМ, кроме их характеристик, обеспечивается редактирование располагаемого остатка расходуемых материалов.

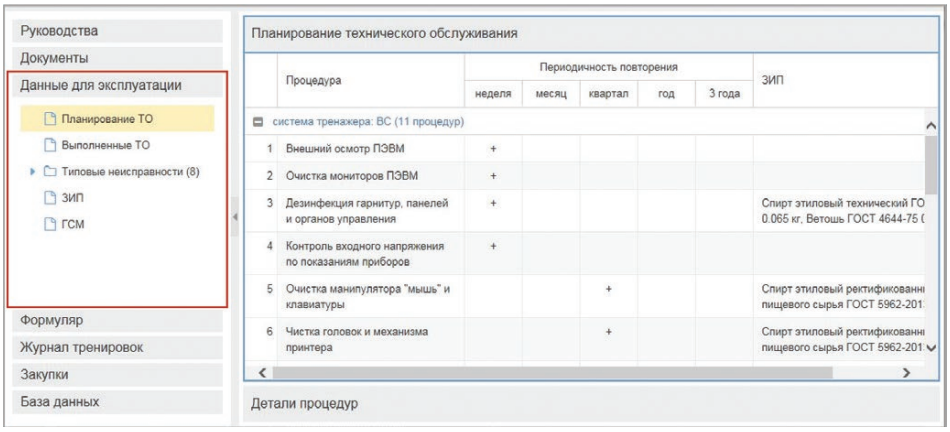

Рис. 5. Раздел «Данные для эксплуатации»

Раздел «Формуляр»

Раздел содержит основные данные и характеристики изделия, позволяет вносить записи учета работы изделия и выполненных на нем работах аналогично бумажной версии формуляра изделия. Благодаря связи ИП ИЭТР с базой данных «Электронные журналы тренажеров» обеспечивается автоматизированный ввод записи о наработке изделия за временной период из этой БД (рис. 6).

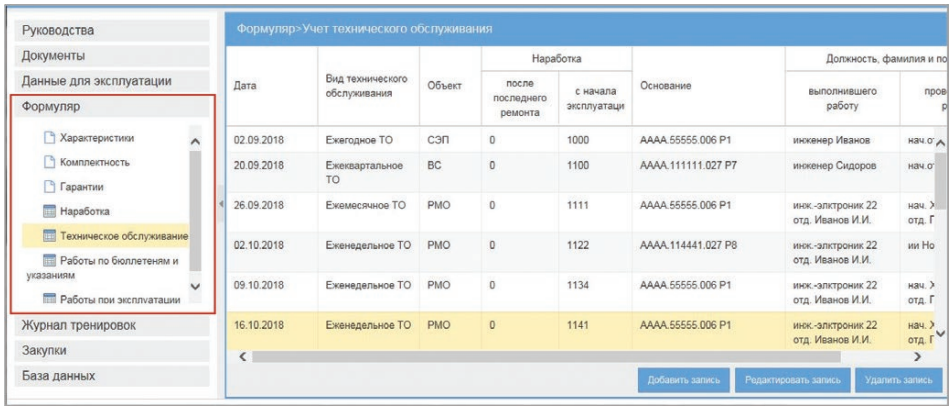

Рис. 6. Раздел «Формуляр»

Раздел «Журнал тренировок»

В разделе приведены ссылки на записи из БД «Электронные журналы тренажеров» о выполненных тренировках на тренажере в хронологическом порядке с группировкой по годам и месяцам. Из раздела предусмотрен быстрый переход к анализу этих данных в специализированной программе (рис. 7).

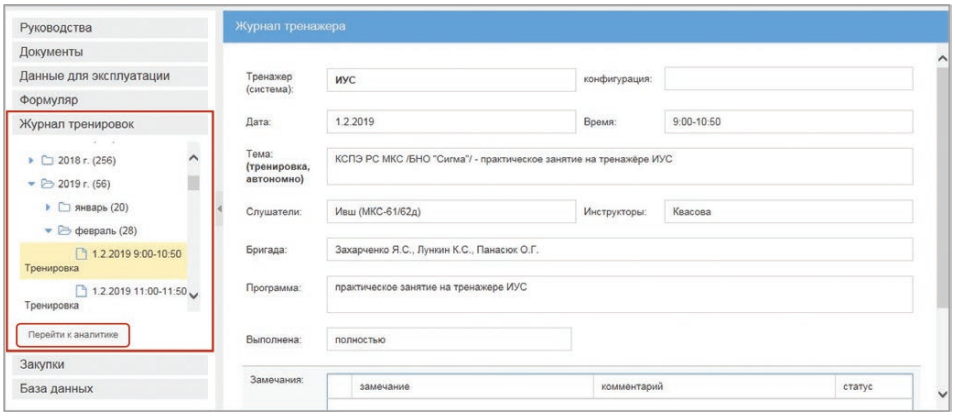

Рис. 7. Раздел «Журнал тренировок»

Раздел «Закупки»

В разделе приведены ссылки на записи из БД «Закупки» о выполненных закупках и работах в интересах модернизации и обеспечения работоспособности тренажера и его систем (рис. 8). Из раздела предусмотрен быстрый переход к анализу этих данных в специализированной программе.

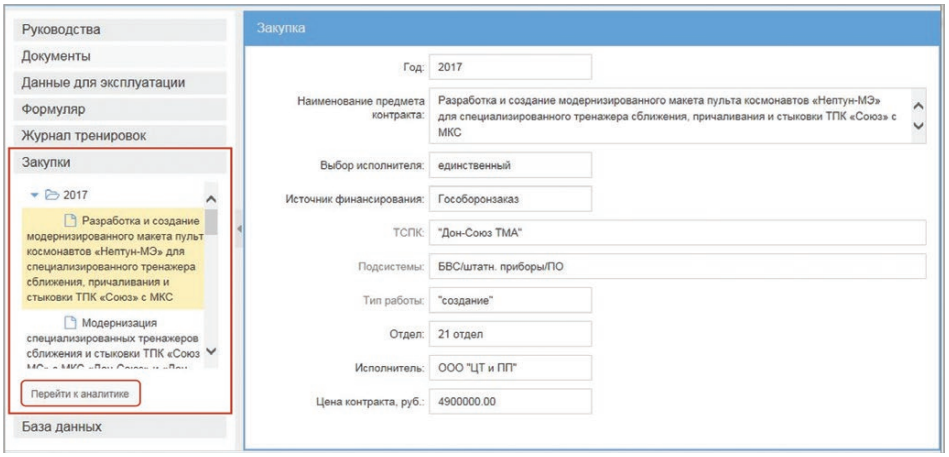

Рис. 8. Раздел «Закупки»

Раздел «База данных»

Из данного раздела обеспечивается доступ (просмотр, редактирование, удаление) ко всем информационным объектам, содержащимся в БД (рис. 9):

– модулям данных всех типов;

– типовым неисправностям и их причинам, процедурам технического обслуживания, идентификации и устранения неисправностей и операциям процедур;

– справочникам.

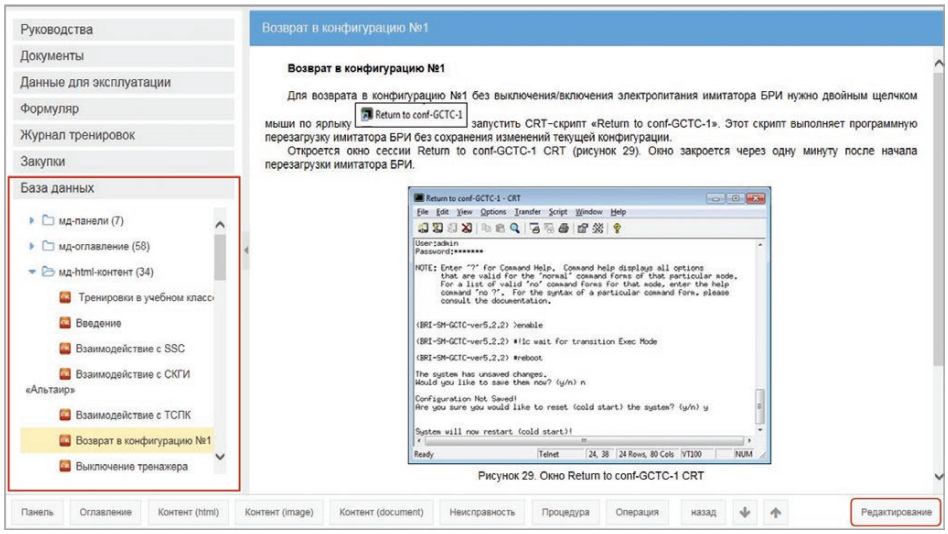

Рис. 9. Раздел «База данных»

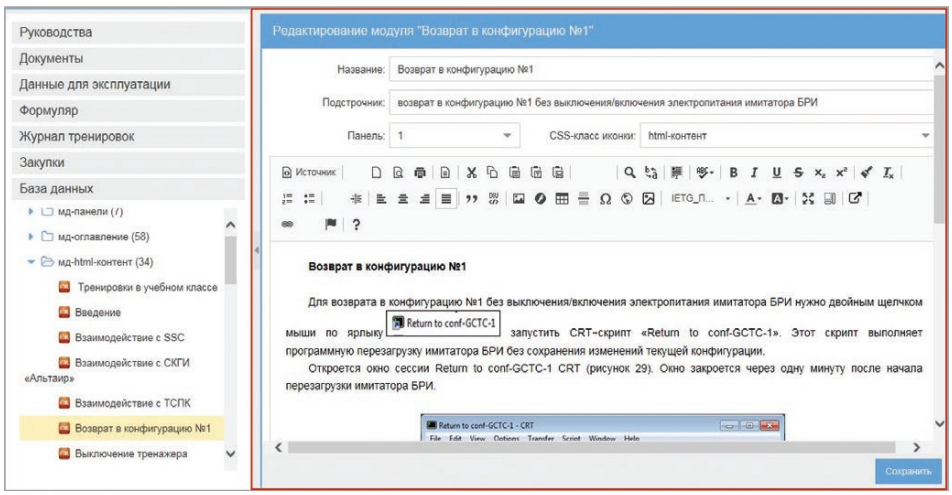

Рис. 10. Интерфейс редактирования модуля данных «html-контент»

На рисунке 10 приведен пример интерфейса редактирования данных модуля типа «html-контент».

В дальнейшем планируется провести исследования с данным ИП, включающие:

– выбор тренажера ПКА и создание контента ИЭТР по его эксплуатационной документации;

– проведение опытной эксплуатации ИЭТР этого тренажера с доводкой программного обеспечения и внесением изменений в контент;

– обобщение результатов, формирование предложений по внедрению ИЭТР в практику эксплуатации тренажеров ПКА, разработка требований к электронной интерактивной эксплуатационной документации перспективных тренажеров ПКА.

Выводы

1. Результатом выполненных работ является исследовательский прототип ИЭТР тренажера ПКА, особенностями которого являются:

– объединение в одном приложении функционала электронной системы отображения ИЭТР с функционалом среды разработки контента ИЭТР;

– обеспечение информационной связи ИЭТР с другими информационными системами, используемыми в тренажерном управлении ЦПК.

2. Технологии, используемые при разработке ИП, его архитектура могут быть использованы для решения других подобных задач без привлечения сторонних разработчиков.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Жохов А.И., Игнатьев С.В. Перспективы внедрения технологии интерактивных электронных технических руководств в практику эксплуатации тренажеров ПКА // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 3(32). – С. 47–56.
[2] Жохов А.И. Опыт разработки и применения прототипов элементов системы информационного обеспечения создания, эксплуатации и целевого использования тренажеров ПКА // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 3(24). – С. 46–57.
[3] Ext JS 6 By Example. Create powerful, real-world web applications with Ext JS 6 using sample projects / Anand Dayalan. – Packt Publishing, 2015.
[4] Ext JS Application Development Blueprints / Colin Ramsay. – Packt Publishing, 2015.

REFERENCES

[1] Zhokhov A.I. Ignatiev S.V. Prospects for the Introduction of the Interactive Electronic Technical Manuals Technology in the Practice of Operation of manned Spacecraft Simulators // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2019. – No 3(32). – pp. 47–56.
[2] Zhokhov A.I. Experience in Developing and Applying the Prototypes of Elements of the Informational Support System for Designing, Running, And Purpose-Oriented Use of Manned Spacecraft Simulators // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2017. – No 3(24). – pp. 46–57.
[3] Ext JS 6 By Example. Create Powerful, Real-World Web Applications With Ext JS 6 Using Sample Projects / Anand Dayalan. – Packt Publishing, 2015.
[4] Ext JS Application Development Blueprints / Colin Ramsay. – Pckt Publishing, 2015.

УДК 629.785 DOI 10.34131/MSF.21.1.72-88

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ К ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.А. Алтунин, П.П. Долгов, Н.Р. Жамалетдинов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной

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

В статье рассмотрены актуальные направления использования средств виртуальной реальности в процессе подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности. Сформулированы классы задач, которые могут быть решены с помощью виртуальной реальности. Представлено описание ситуаций. Разработаны сценарии сюжетов, для которых возможно использование средств виртуальной реальности. Определены этапы подготовки космонавтов, на которых целесообразно применять результаты реализации данных задач.
Ключевые слова: виртуальная реальность, подготовка космонавтов, внекорабельная деятельность, тренажер, скафандр.

Application of Virtual Reality Technologies in Training Cosmonauts for Extravehicular Activities. A.A. Altunin, P.P. Dolgov, N.R. Zhamaletdinov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy

The paper considers the topical areas of applying VR environment in the process of training cosmonauts to perform extravehicular activities. The tasks that can be solved using virtual reality are defined. The paper gives a description of operations and scenarios for which it is possible to use virtual reality systems. The stages of cosmonaut training, at which it is advisable to apply the results of the defined tasks, are determined.
Keywords: virtual reality, cosmonaut training, extravehicular activity, simulator, spacesuit.

Постановка задачи

В настоящее время активно разрабатываются средства и технологии виртуальной реальности (ВР) в интересах совершенствования технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) [1–5]. Разработчиками ТСПК предлагаются способы моделирования различных ситуаций, которые, по мнению разработчиков, будут полезны для целей подготовки космонавтов. Но значительное число разработок не находит практического применения из-за не востребованности сюжетов и задач, которые были промоделированы на уровне демонстрационных образцов и образцов для испытаний.

При создании ТСПК важен правильный выбор задач, которые могут отрабатываться на данном средстве. Поэтому обоснование задач внекорабельной деятельности (ВКД), которые могут быть промоделированы на базе средств и технологий виртуальной реальности, имеет важное практическое значение [6].

В настоящее время в зависимости от предоставляемых пользователям или операторам ЭВМ возможностей взаимодействия с искусственно создаваемой средой различаются следующие виды виртуальной реальности [7]:

– пассивная виртуальная реальность (ПВР) – графическое изображение и его звуковое сопровождение, воспроизводятся ЭВМ и никак не управляются человеком;

– обследуемая виртуальная реальность (ОВР) – существует возможность выбора вариантов сценариев изображения и звука, предоставляемых пользователям в ограниченном количестве;

– интерактивная виртуальная реальность (ИВР) – полномасштабная реализация ВР, при которой пользователю предоставляются возможности управления, которые он мог или захотел выполнить, если бы действительно находился в созданном искусственном мире.

На основе анализа задач подготовки космонавтов к ВКД и деятельности космонавтов в процессе ВКД [8] выделены классы задач, физически сложно моделируемые на ТСПК, которые могут быть решены с помощью средств виртуальной реальности. К ним относятся:

– задачи по аварийным ситуациям;
– задачи по управлению перспективными средствами;
– информационное обеспечение процесса подготовки.

В рамках данной статьи последовательно рассматриваются вопросы: 1) описание моделируемой ситуации; 2) разработка интерактивного сценария поведения активных агентов в виртуальной среде и регламентов взаимодействия пользователя с объектами виртуального мира; 3) объектов визуализации и интерактивного представления сцен; 4) совокупности дидактических требований по данной конкретной задаче; 5) определение этапов подготовки космонавтов, на которых целесообразно применять результаты реализации данных задач.

Описание ситуации и разработка сценариев

Задачи по аварийным ситуациям

1. Демонстрация ошибки не закрепления (фиксации) или обрыва страховочного фала скафандра

Данная ошибка может возникнуть по ряду причин:

– космонавт не закрепил карабин страховочного фала за поручень;
– космонавт совершил ошибку при перецепках карабинов;

– фал закреплен за поручень, имеющий специальную маркировку, и не выдержавший нагрузку;

– разрушилась конструкция поручня, произошел отрыв фала от места закрепления, обрыв мягких поручней.

После нарушения связи фала с поручнями, из-за действия различных сил, возможен отлет космонавта от станции, что оказывает сильное психологическое воздействие на космонавта.

В настоящее время эта задача не отрабатывается на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать свободные движения космонавта. В гидролаборатории (ГЛ) на динамику движения оказывает сильное влияние вязкость жидкости, на тренажере «Выход-2» – система подвески.

Для демонстрации данной задачи необходимо моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции, движение космонавта относительно станции, изменение положения космонавта из-за движения рук и ног.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, движется с небольшой скоростью, выполняет перецепку фала, не закрепляет фал за поручень, движение космонавта продолжается, космонавт руками пытается достать до поручней, пытается движением частей тела изменить свое пространственное положение, космонавт отдаляется от станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе общекосмической подготовки (ОКП) и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

2. Демонстрация последствий ошибок при выполнении операций отброса оборудования и запуска спутников

В процессе осуществления внекорабельной деятельности космонавтам приходится выполнять операции отброса в космическое пространство отработанного оборудования (агрегатов), а также запускать вручную спутники различной массы, формы и габаритов [9]. Для отброса оборудования и запуска спутников космонавты должны зафиксироваться и придать требуемый импульс скорости заданному объекту в требуемом направлении, т.е. выдержать углы и скорость отброса объекта. В процессе выполнения этих операций могут возникать определенные ошибки:

– неправильная ориентация при отбросе и запуске спутника;

– неправильная скорость отброса спутника или оборудования;

– неправильная фиксация космонавта при запуске спутника или отбросе оборудования.

Эти ошибки могут привести к следующим последствиям:

– столкновение отброшенного оборудования или спутника с отдельными элементами станции или даже с космонавтами;

– полет отброшенного оборудования и спутника долгое время рядом со станцией, что может привести к столкновению;

– непрогнозируемые движения космонавта и возможный его отрыв от мест фиксации.

В настоящее время эти задачи не отрабатываются на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать рассмотренные операции и действия космонавта в данных ситуациях.

Для демонстрации последствий ошибок при выполнении операций отброса оборудования и запуска спутников необходимо осуществлять моделирование вида из скафандра части поверхности станции, движение космонавта относительно станции, движение (полет) оборудования, спутников, обломков, инструмента.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, закрепляется в определенном месте, выполняет отброс оборудования или запуск спутника, космонавту транслируется картинка: оборудование или спутник попадает в солнечные батареи, антенны или другие элементы, расположенные на внешней поверхности станции, разлет обломков, оборудования, инструмента. Космонавт выполняет определенные действия для обеспечения собственной безопасности, минимизации повреждения конструкции станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

3. Демонстрация ограничений на работу в зонах двигателей, антенн, солнечных батарей

В соответствии с требованиями по безопасности при проведении внекорабельной деятельности член экипажа ВКД в скафандре «Орлан» должен находиться на безопасном расстоянии за пределами следующих опасных зон:

– антенны систем связи;
– антенны систем стыковки;
– панели солнечных батарей;
– двигатели малой тяги.

Существуют требования по правилам нахождения космонавтов в данных опасных зонах, местам крепления фалов, положению частей тела космонавтов.

Для демонстрации космонавтам существующих опасностей, возникающих при нарушении требований по безопасности, целесообразно моделировать возможные воздействия опасных факторов в этих зонах на космонавта в скафандре и используемое снаряжение. Существующие тренажеры не позволяют имитировать работу двигателей, перекладки и ориентации антенн, развороты солнечных батарей.

Опасными факторами, воздействующими на космонавтов в скафандре, в этих зонах являются:

– струя газов от двигателей ориентации, которая оказывает механическое, тепловое и химическое воздействие на космонавта;

– детали антенн, которые оказывают механическое воздействие на космонавта, оказавшегося в зоне перемещения антенн, и электромагнитное воздействие при излучении сигналов;

– панели солнечных батарей, которые оказывают механическое воздействие на космонавта, оказавшегося в зоне перемещения и разворота панелей.

Для демонстрации данной задачи необходимо моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции, с расположенными на ней источниками опасностей, поручней для закрепления фалов, оборудования на поверхности станции, результаты механического воздействия.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, выполняет монтаж оборудования, срабатывает двигатель ориентации, струя газов воздействует на скафандр, моделируются результаты воздействия (импульс движения, повышение температуры, химическое воздействие на материалы скафандра), развитие во времени результатов воздействия. При развороте антенны или солнечной батареи происходит механическое воздействие на скафандр, моделирование изменения параметров движения и внешнего вида в поле зрения космонавта.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

4. Демонстрация проблем, связанных с остеклением скафандра (неполадки с остеклением, ослепление от Солнца, запотевание, разлив воды в скафандре)

Все работы в процессе ВКД выполняются в скафандрах. Обзор внешней обстановки космонавт осуществляет через остекление гермошлема скафандра. Скафандр оборудован наружным светофильтром для защиты от излучения Солнца.

В процессе ВКД возможны различные ситуации, связанные с остеклением скафандра. К ним относится неработоспособность светофильтра, когда нет возможности закрыть светофильтр или открыть его. Большая освещенность при открытом светофильтре ослепляет космонавта, затрудняет ведение визуального наблюдения. На тренировках целесообразно показать космонавту влияние этой ситуации на освещенность в гермошлеме, на видимость внешних объектов, влияние светового потока на открытые части тела.

Также возможно запотевание остекления, что существенно ухудшает видимость внешней обстановки из скафандра. Поскольку механически нельзя протереть внутреннюю поверхность, то возможно продемонстрировать способы уменьшения запотевания за счет управления потоками воздуха внутри скафандра.

Возможны ситуации, связанные с попаданием воды в гермошлем, появление капель воды. Опасность этой ситуации обусловлена тем, что капли воды могут попасть в органы дыхания.

Данные модели ситуаций могут демонстрироваться во время практических занятий по дисциплине «Скафандр для ВКД» при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП.

5. Демонстрация ситуаций при пропуске аварийного сигнала

В скафандре «Орлан» на передней части корпуса размещены органы управления автономной системы обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) и пульт оператора с дисплеем для вывода параметров АСОЖ и аварийно-предупредительной сигнализации. Осуществляется индикация об отклонениях в работе систем скафандра и рекомендаций по действиям космонавта при этих отклонениях. Космонавт должен выполнить определенные действия, которые парируют возникшую нештатную ситуацию.

В случае, если космонавт не выполняет предписанных действий или выполняет их неправильно, то нештатная ситуация может развиться до аварийной, когда может возникнуть угроза жизни космонавту. Имитировать такие ситуации на существующих тренажерах практически невозможно из-за отсутствия таких режимов работы тренажера и из-за опасности возникновения угрозы здоровью и жизни космонавту при создании такого режима.

Опасными факторами являются снижение давления в скафандре, повышение концентрации углекислого газа, существенное повышение или снижение температуры.

Для демонстрации таких ситуаций необходимо создание виртуальной модели вида из скафандра, вида на пульт, вида со стороны на космонавта в скафандре, изменение изображения в зависимости от влияния опасного фактора на организм человека.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

Задачи по управлению перспективными средствами

Для решения данных задач целесообразно применение интерактивной виртуальной реальности, которая предполагает возможность предоставления пользователю возможности управления, которые он мог или захотел выполнить, если бы действительно находился в созданном искусственном мире.

1. Управление перспективными средствами перемещения космонавтов

При выполнении космонавтами ВКД существует риск отрыва космонавта в скафандре от станции. Для обеспечения безопасности ВКД проводятся работы по созданию устройства спасения космонавта (УСК) типа «Сейфер» [10]. Перед выводом устройства в космос, должна быть проведена подготовка космонавтов по управлению данным устройством в различных плановых и нештатных ситуациях.

Анализ возможностей существующих имитаторов условий космического полета показывает, что гидролаборатория, самолет-лаборатория и тре-

нажер «Выход-2» не позволяют имитировать свободные движения УСК с космонавтом из-за особенностей моделирования невесомости на этих средствах.

Целесообразно моделировать движение УСК в различных режимах и изображение представлять космонавту с помощью средств виртуальной реальности.

Для решения данной задачи необходимо:

– моделирование движения УСК в штатных и нештатных режимах функционирования;

– моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции;

– моделирование движения космонавта относительно станции;

– моделирование изменения положения УСК и космонавта при столкновении с элементами поверхности станции;

– моделирование изменения параметров относительного движения УСК после столкновения.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, управляет положением и ориентацией УСК, управляет параметрами движения УСК, движется с небольшой скоростью относительно станции, вид соответствует направлению взгляда космонавта, после облета станции космонавт выполняет операции ориентации УСК и его движения в требуемом направлении, при этом изображение в поле зрения космонавта изменяется в соответствии с параметрами его ориентации и движения.

При моделировании аварийных ситуаций необходимо дополнительно моделировать движение УСК при различных отказах двигателей, условия столкновения космонавта со станцией, движение после столкновения с различными деталями поверхности станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов в составе групп специализации и при подготовке экипажей.

2. Управление луноходами на поверхности Луны

При исследовании и освоении Луны предполагается широкое использование специальных технических средств – планетоходов (луноходов) различного функционального назначения. Луноходы могут быть необитаемыми с дистанционным или автоматическим управлением, либо с выносным пультом. Рассматривается возможность применения обитаемых луноходов как с герметичной, так и с открытой кабиной. Предполагается достаточно широкое участие космонавтов в контуре управления луноходами как при дистанционном управлении (с лунного орбитального модуля, лунной базы), так и при непосредственном (ручном) управлении. Таким образом, становится актуальной задача подготовки космонавтов к управлению этими средствами и разработка соответствующих тренажеров [11, 12].

Физическое создание на Земле всего комплекса условий деятельности космонавтов на других планетах (Луна, Марс) практически невозможно.

Для обеспечения возможности отработки задачи управления луноходами необходима визуализация следующих изображений:

– вид через остекление кабины лунохода;

– вид окружающей поверхности с телекамер, установленных на внешней поверхности лунохода;

– вид с телекамер, установленных внутри кабины лунохода;

– вид панелей управления.

Сценарии моделируемых сюжетов зависят от способа управления, реализованного в конкретном луноходе:

– дистанционное управление с борта лунной станции, с борта лунной базы, с Земли;

– непосредственное управление с рабочего места внутри лунохода.

Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах или стендах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

3. Управление робототехническими системами

Для повышения эффективности деятельности космонавтов на борту перспективных космических систем предполагается использование робототехнических систем (РТС) различного типа и назначения [13, 14]. Одним из факторов, влияющих на эффективность целевого применения РТС, является подготовленность космонавтов к управлению и обслуживанию данных систем, поэтому задачи подготовки космонавтов к работе с РТС приобретают актуальность.

Для выполнения целевых задач на внешней поверхности орбитальной станции могут быть применены роботы различного конструктивного исполнения:

– транспортно-манипуляционные роботы;

– свободнолетающие спутники;

– манипуляторы.

Для эксплуатации РТС на борту космического объекта космонавты должны уметь управлять всеми имеющимися РТС в различных режимах, в том числе в нештатных ситуациях.

Существующие ТСПК не позволяют обеспечить физическое моделирование динамики перемещения и выполнения целевых операций РТС, аналогичное условиям невесомости на орбитальной станции.

Для обеспечения возможности отработки задачи управления роботами необходима визуализация следующих изображений:

– вид панелей управления;

– вид с телекамер, установленных на роботах;

– вид поверхности станции с телекамер, установленных на внешней поверхности станции;

– вид со стороны на участок поверхности, где находится робот;

– вид со стороны на положение свободнолетающего спутника относительно станции.

Для решения задач подготовки необходимо:

– моделировать динамику движения РТС и изменения видимой поверхности станции при отработке операций, предусмотренных программами полетного задания с учетом ввода управляющих воздействий со стороны космонавта;

– осуществлять управление с имитацией частичной видимости РТС и манипулятора из гермоотсеков орбитальной станции;

– отображать в реальном масштабе времени информацию от телевизионных систем РТС, информацию о положении РТС на поверхности станции;

– формировать зоны видимости и изображения элементов поверхности станции, которые находятся в поле зрения телевизионных камер РТС;

– отображать в реальном масштабе времени изображения станции и положение спутника возле него (динамический режим);

– отображать изображения части поверхности станции, находящейся в поле зрения комплекса наблюдения спутника, которым управляет космонавт;

– моделировать развороты поля зрения комплекса наблюдения или трансфокацию объектива прибора наблюдения для повышения детальности изображения.

Сценарии сюжета: космонавт находится за пультом управления, на мониторы выводятся изображения от различных телевизионных камер, в иллюминаторы выводится изображение видимой части поверхности станции. Для наглядности необходимо синтезировать трехмерное изображение станции и РТС на ее поверхности или на определенном расстоянии от ее поверхности. Космонавт управляет перемещениями РТС, движениями манипуляторов РТС, приборами наблюдения. Изображение в поле зрения космонавта изменяется в соответствии с параметрами управления, передаваемыми на РТС.

Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах или стендах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

Информационное обеспечение процесса подготовки

Для решения данной группы задач целесообразно применение пассивной виртуальной реальности, которая предполагает возможность предоставления пользователю графического и звукового сопровождения и не предполагает управляющих воздействий от человека.

1. Демонстрация визуальной обстановки при открытии выходного люка (вид космоса в открытый люк)

Все космонавты отмечают большое эмоциональное возбуждение при первом открытии выходного люка (ВЛ) и выходе из шлюзового отсека. Открывающийся вид – глубокий черный космос, яркое солнце, вид Земли, освещенной или в тени. Первую встречу с открытым космосом каждый космонавт воспринимает по-своему, но никого она не оставляет равнодушным.

Демонстрация данных сюжетов целесообразна для психологической подготовки космонавтов к выходу, обеспечению психологической устойчивости. Вид открытого космического пространства (с элементами МКС, видами Земли, Луны, звездного неба) может оказать сильное психологическое влияние на космонавта, особенно при первом выходе в открытый космос. Также при открытии ВЛ возможна визуализация процесса выхода пыли из шлюзового отсека в космос.

В настоящее время эти задачи не отрабатываются на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать визуальную обстановку, соответствующую реальной ситуации.

Для демонстрации визуальной обстановки, которая открывается космонавту при выходе из ВЛ, необходимо осуществлять моделирование вида из скафандра части поверхности станции, расположенной рядом с ВЛ, светотеневой обстановки, приборов и оборудования, размещенных на внешней поверхности станции, звездного неба, Земли, Луны и т.д.

Сценарий сюжета: космонавт открывает люк, в поле зрения предъявляется изображение люка изнутри модуля. В проем люка космонавт видит внешнюю обстановку: глубокий космос, часть поверхности Земли, освещенную или затененную внешнюю поверхность станции, космонавт наполовину выходит из ВЛ, закрепляется с помощью страховочных фалов. Космонавту транслируется картинка: солнечные батареи, антенны, приборы и оборудование, расположенные на внешней поверхности станции, звездное небо, Земля, Луна (360° по горизонтали, 180° по вертикали). Космонавт осуществляет осмотр внешней поверхности станции в районе выходного люка, поворачиваясь на 360° по горизонтали, также осуществляет осмотр верхней полусферы.

Данные модели позволят ознакомить космонавта с возможными ситуациями, которые возникают при открытии выходного люка.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

2. Демонстрация перехода через терминатор на орбите (переход свет–тень)

Во время выполнения ВКД освещенность МКС периодически изменяется, станция то заходит в тень, то выходит на освещенную часть орбиты. Космонавты отмечают, что переход осуществляется достаточно быстро. При входе в тень необходимо включать светильники на скафандре, поднимать светофильтр. При выходе из тени осуществлять обратные операции. При невыполнении данных требований возможно совершение неправильных действий, что может привести к аварийным ситуациям и даже создать угрозу здоровью космонавтов из-за засветки лица и глаз солнечным излучением. Целесообразно для ознакомления демонстрировать космонавтам данную ситуацию и действия космонавта при входе в тень и выходе из нее.

Сценарий сюжета: космонавт выполняет монтажные операции, рабочая область освещена Солнцем, в реальном масштабе времени освещенность начинает уменьшаться до величины, соответствующей освещенности на теневом участке орбиты, включаются светильники, расположенные на скафандре, и космонавту демонстрируется данная световая обстановка. Далее космонавт находится в скафандре с поднятым светофильтром, освещенность создается только от светильников скафандра, станция выходит из зоны тени, освещенность возрастает, моделируется яркость, соответствующая солнечному участку орбиты, которая может привести к ослеплению. Космонавт опускает светофильтр и выполняет заданную целевую операцию.

Данная ситуация может демонстрироваться при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

3. Демонстрация выполнения целевых операций на внешней поверхности станции (взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор внешней поверхности модуля или места проведения работ, транспортировка неработоспособного оператора)

Внекорабельная деятельность является полетной операцией (операция «Выход»), выполняемой космонавтами, снаряженными в скафандры, в негерметичных отсеках орбитальной пилотируемой станции, открытом космосе или на поверхности планет. Для качественного выполнения целевых операций ВКД необходима тщательная и подробная подготовка к их осуществлению. В определенных случаях для качественной подготовки космонавтов к выполнению целевых операций ВКД имеет смысл рассмотреть такие операции с разных ракурсов: взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор модуля или места проведения работ.

В настоящее время эти задачи не отрабатываются на тренажерах, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать визуальную обстановку: взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор модуля или места проведения работ.

Взгляд из скафандра. В этом случае космонавту демонстрируется картинка последовательности выполнения работ в соответствии с циклограммой конкретного выхода. Осуществляется детальный показ операций, необходимая последовательность действий, перемещений космонавта, применения требуемого инструмента, использования необходимого оборудования и т.д.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о конкретном выходе в открытый космос (ОК), его особенностях, последовательности действий, используемом оборудовании и инструменте. Данная информация будет хорошим дополнением к тренировкам в ГЛ и на тренажере «Выход-2».

Взгляд со стороны. В этом случае космонавту демонстрируется картинка последовательности выполнения работ конкретного выхода. Вид картинки дается с высоты нескольких метров над работающим космонавтом, как будто съемка ведется со спутника-инспектора. Осуществляется детальный

показ действий космонавта, его перемещения, использование необходимого оборудования и инструмента, последовательность действий космонавта и т.д.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о конкретном выходе в ОК, его особенностях, последовательности действий, используемом оборудовании и инструменте.

Данная информация может также использоваться для контроля за действиями космонавта при осуществлении ВКД.

Обзор модуля или места проведения работ. В этом случае демонстрируется картинка поверхности станции с размещенными на ней солнечными батареями, антеннами, оборудованием и т.д. Вид картинки дается с высоты нескольких метров над станцией, как будто съемка ведется со спутника-инспектора. На картинку может быть выведен любой модуль МКС или участок, где будут проводиться работы, с любого ракурса и расстояния, с различной детализацией.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о состоянии внешней поверхности станции, имеющемся на ней оборудовании и агрегатах. Данная информация представляет особый интерес для космонавта, готовящегося к выполнению очередного выхода на внешнюю поверхность МКС, т.к. обстановка на внешней поверхности МКС постоянно меняется.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

4. Визуальная демонстрация правильной работы с инструментом, оборудованием

В процессе ВКД от космонавтов требуются знание и умение выполнять большое количество типовых и целевых операций, от качества которых зависят решение поставленных задач и жизнь космонавтов. Эти навыки невозможны без знания инструмента для ВКД и умения работать с ним. В связи с этим возникает необходимость качественной подготовки космонавтов к работе с инструментом для ВКД, в том числе и с применением ВР.

Инструмент и приспособления широко применяются для удобства и безопасности выполнения следующих задач ВКД: монтаж, демонтаж, замена, ремонт, крепление, и т.п. различного оборудования и агрегатов на внешней поверхности МКС; передвижение и фиксация космонавтов на поверхности МКС; перемещение оборудования к месту работы и обратно.

Данная задача отличается от рассмотренной выше задачи «Демонстрация выполнения целевых операций на внешней поверхности станции» необходимостью большей детализации в части конструкции и использования инструмента и оборудования для ВКД. Для решения этой задачи необходимо:

– 3D-моделирование конструкции и основных принципов работы инструмента и оборудования для ВКД с текстовыми и аудиопояснениями;

– демонстрация мест расположения (или хранения) инструмента и оборудования для ВКД;

– демонстрация порядка формирования транспортировочных укладок при подготовке к ВКД, извлечение, страховка, фиксация и порядок возврата инструмента в укладку при работе;

– правильные (рациональные) приемы работы с инструментом и оборудованием, включая последовательность действий (технологию применения) при работе, выбор позы, способ фиксации космонавта в скафандре (за поручни, в «якоре», выносном рабочем месте и т.д.), способы захвата инструмента рукой в перчатке, возможные опасные ситуации и т.д.

Визуальная демонстрации правильной работы с инструментом и оборудованием может быть применена при проведении подготовки космонавтов на всех этапах подготовки космонавтов, включая бортовые тренировки.

5. Подготовка шлюзового отсека к выходу в ОК

Подготовка шлюзового отсека проводится перед каждым выходом космонавтов в ОК и является важным этапом в циклограмме подготовки станции к выполнению ВКД. Особенностью подготовки шлюзового отсека к ВКД является то обстоятельство, что существующие тренажеры не обеспечивают максимального подобия интерьера шлюзового отсека и размещенного в нем оборудования, используемого при шлюзовании перед и после ВКД. Космонавты зачастую только на борту МКС в полной мере видят и выполняют комплекс мероприятий по подготовке отсека к шлюзованию в реальном интерьере. В связи с этим тренировки на виртуальном тренажере, позволяющие максимально правдоподобно ознакомиться с реальным размещением оборудования в шлюзовых отсеках и особенностями его использования, в процессе подготовки к ВКД могут значительно повысить эффективность обучения космонавтов.

При создании данного тренажера целесообразно моделировать визуальную обстановку шлюзовых отсеков с установленным внутри них оборудованием, используемым в процессе подготовки к шлюзованию и ВКД. Оборудование должно иметь возможность активации и при необходимости перемещения внутри отсеков. Осуществляется детальный показ действий космонавта от первого лица, его перемещения, использование необходимого оборудования и инструмента внутри отсека, последовательность действий космонавта и т.д.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе группы, при подготовке космонавтов в экипаже и в качестве восстановительного занятия на борту МКС.

6. Демонстрация всего цикла ВКД, включающая подготовку скафандров, подготовку шлюзового отсека, шлюзование, открытие ВЛ, выполнение операций ВКД (всего комплекса операций), закрытие ВЛ, обратное шлюзование, выполнение работ после выхода в ОК

Подготовка к ВКД занимает достаточно длительный промежуток времени. Космонавты выполняют большой объем разноплановой работы в разных модулях МКС. Интервалы времени между выполнением некоторых задач могут составлять несколько дней.

Для обеспечения возможности построения адекватной модели процесса подготовки, проведения и завершения ВКД целесообразно построить последовательный видеоряд всех операций и действий космонавтов, выполняемых в целях ВКД.

Данная информационная модель может быть использована на всех этапах подготовки космонавтов. Космонавты, имеющие опыт выходов в открытый космос, отмечали необходимость использования такой модели на борту при подготовке к очередному выходу.

Модель компьютерной имитации ВКД может объединять все предложенные выше модели аварийных и информационных задач, объединенных в единый информационный комплекс.

Выводы

1. На основе анализа задач подготовки космонавтов к ВКД и деятельности космонавтов в процессе ВКД выделены классы задач, физически сложно моделируемые на ТСПК, которые могут быть решены с помощью средств виртуальной реальности.

2. Рассмотрены задачи по аварийным ситуациям, которые могут возникать в процессе перемещения космонавтов по внешней поверхности космических объектов, при выполнении типовых или целевых операций ВКД, при работе в опасных зонах на внешней поверхности, при возникновении проблем со скафандром и снаряжением. Разработаны соответствующие модели ситуаций.

3. Рассмотрены задачи по управлению перспективными объектами: средствами перемещения космонавтов, луноходами, роботами, свободнолетающими спутниками, манипуляторами. Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

4. Рассмотрены вопросы информационного обеспечения процесса подготовки космонавтов. Основными из них является демонстрация:

– визуальной обстановки при открытии выходного люка;
– перехода через терминатор на орбите (свет–тень);
– выполнения целевых операций на внешней поверхности станции;
– правильной работы с инструментом, оборудованием;
– подготовка шлюзового отсека к выходу;
– полной циклограммы ВКД.

Предлагаемые к реализации в системе ТСПК компьютеризированные решения по построению модели отображения визуальной обстановки могут

быть использованы в ознакомительных и демонстрационных целях при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации, а также при подготовке в составе экипажей.

5. Предлагаемые ситуационные модели, сюжетные сценарии, виртуальные изображения могут быть реализованы в существующих или перспективных тренажерах (стендах) и использованы на различных этапах подготовки космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Обзор технологий визуальной имитации в тренажерных системах / А.П. Кручинина, В.В. Латонов, В.А. Чертополохов // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 3(32). – С. 56–67. DOI 10.34131/MSF.19.3.89-107.

[2] Liu, Yuqing & Chen, Shanguang & Jiang, Guohua & Zhu, Xiuqing & An, Ming & Chen, Xuewen & Zhou, Bohe & Xu, Yubin. (2010). VR Simulation System for EVA Astronaut Training. 10.2514/6.2010-8696. DOI: 10.2514/6.2010-8696. Электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/268568273_VR_Simulation_System_for_EVA_ Astronaut_Training (дата обращения 10.11.2020).

[3] Everson, Timothy, Christopher McDermott, Aaron Kain, Cesar Fernandez, and Ben Horan. 2017. “Astronaut Training Using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment”. KnE Engineering 2 (1), 319–27. Электронный ресурс https://doi.org/10.18502/keg.v2i2.632.

[4] Sandra K. Moore, Matthew A. Gast, 21st Century extravehicular activities: Synergizing past and present training methods for future spacewalking success, Acta Astronautica, Volume 67, Issues 7–8, 2010, Pages 739–752. Электронный ресурс https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.06.016 (дата обращения 25.09.2020).

[5] Smith, Jeffrey & Boyle, Richard. NASA Virtual GloveboX (VGX): Advanced Astronaut Training and Simulation System for the International Space Station. DOI: 10.2514/6.2001-5105. Электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/24328397_NASA_Virtual_GloveboX_VGX_Advanced_Astronaut_Training_and_Simulation_System_for_the_International_Space_Station (дата обращения 09.09.2020).

[6] Направления применения компьютерного моделирования при подготовке космонавтов к ВКД / Онуфриенко Ю.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Жамалетдинов Н.Р., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. Материалы XII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 219–221.

[7] Виртуальная реальность: общие понятия, системы трекинга. Мир ПК, 2008, № 04, 25.06.2008. В. Холодкова. Электронный ресурс https://www.osp.ru/pcworld/2008/04/5175003 (дата обращения 28.10.2020).

[8] Анализ основных результатов внекорабельной деятельности экипажей МКС / Крючков Б.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Ярополов В.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1(22). – С. 56–67.

[9] Статистический анализ массогабаритных характеристик научной аппаратуры, устанавливаемой космонавтами при внекорабельной деятельности / Долгов П.П.,

Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 4(17). – С. 48–55.
[10] Установки для перемещения в открытом космосе. К. Размыслович. Электронный ресурс https://kiri2ll.livejournal.com/48726.html (дата обращения 28.10.2020).
[11] Подход к проведению послеполетного эксперимента по управлению планетоходом / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 47–60.
[12] Экспериментальные исследования возможности применения систем виртуальной реальности при моделировании на центрифуге управляемого движения лунохода / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 3(36). – С. 91–108.
[13] Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 3(16). – С. 35–42.
[14] Вопросы безопасности применения робототехнической системы космического назначения в процессе осуществления внекорабельной деятельности / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 1(18). – С. 99–103.

REFERENCES

[1] Review of visual imitation technologies in simulation systems / A.P. Kruchinina, V.V. Latonov, V.A. Chertopolokhov // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2019. – No 3(32). – pp. 56–67. DOI 10.34131/MSF.19.3.89-107.
[2] Liu, Yuqing & Chen, Shanguang & Jiang, Guohua & Zhu, Xiuqing & An, Ming & Chen, Xuewen & Zhou, Bohe & Xu, Yubin. (2010). VR Simulation System for EVA Astronaut Training. 10.2514/6.2010-8696. DOI: 10.2514/6.2010-8696. Electronic source https://www.researchgate.net/publication/268568273_VR_Simulation_System_for_EVA_Astronaut_Training (accessed date 10.11.2020).
[3] Everson, Timothy, Christopher McDermott, Aaron Kain, Cesar Fernandez, and Ben Horan. 2017. “Astronaut Training Using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment”. KnE Engineering 2 (1), 319-27. Electronic source https://doi.org/10.18502/keg.v2i2.632.
[4] Sandra K. Moore, Matthew A. Gast, 21st Century extravehicular activities: Synergizing past and present training methods for future spacewalking success, Acta Astronautica, Volume 67, Issues 7–8, 2010, Pages 739–752. Electronic source https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.06.016 (accessed date 25.09.2020).
[5] Smith, Jeffrey & Boyle, Richard. NASA Virtual GloveboX (VGX): Advanced Astronaut Training and Simulation System for the International Space Station. DOI: 10.2514/6.2001-5105. Electronic source https://www.researchgate.net/publication/24328397_NASA_Virtual_GloveboX_VGX_Advanced_Astronaut_Training_and_Simulation_System_for_the_International_Space_Station (accessed date 09.09.2020).
[6] Application of computer-based simulation in training cosmonauts for EVA / Onufrienko Yu.I., Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Zhamaletdinov N.R., Korennoy V.S. // Manned Space Flights. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. – 2017. – pp. 219–221.

[7] Virtual reality: general concepts, tracking systems. PC world, 2008, No 04, 25.06.2008. V. Kholodkova. Electronic source https://www.osp.ru/pcworld/2008/04/5175003 (accessed date 28.10.2020).
[8] Main results of EVA performed by the ISS crews / Kryuchkov B.I., Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S., Yaropolov V.I. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2017. – No 1(22). – pp. 56–67.
[9] Statistical analysis of mass and dimensions parameters of scientific equipment installed by cosmonauts during extravehicular activity/ Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2015. – No 4(17). – pp. 48–55.
[10] Cosmonaut maneuvering units. K. Razmyslovich. Electronic source https://kiri2ll.livejournal.com/48726.html (accessed date 28.10.2020).
[11] An approach to carrying out a post-flight experiment on controlling an on-planet rover / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. et al. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2020. – No 2(35). – pp. 47–60.
[12] Experimental studies of the potential use of virtual reality systems when modeling the lunokhod controlled movement on the centrifuge / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. et al. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2020. – No 3(36). – pp. 91–108.
[13] Approach to the grounding of the tasks for robotic systems to work in open space / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2015. – No 3(16). – pp. 35–42.
[14] Safe use of a space robotic system during extravehicular activity / Korennoy V.S., Dolgov P.P., Irodov E.Yu. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – 2016. – No 1(18). – pp. 99–103.

УДК 612.014.464:616-001.14 DOI 10.34131/MSF.21.1.89-106

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСПИРАТОРНЫХ РЕАКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИМИТАЦИИ ПАДЕНИЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ГЕРМООБЪЕМЕ

Т.В. Матюшев, М.В. Дворников, М.А. Петров

Докт. биологических наук, профессор Т.В. Матюшев;
докт. мед. наук, профессор М.В. Дворников; М.А. Петров
(МАИ (национального исследовательского университета)

В статье представлено решение задачи моделирования динамики показателей газообмена человека в космическом полете на основе статической модели респираторной системы организма, учитывающей характер взаимосвязей между компонентами газообмена. Проведен вычислительный эксперимент по имитации показателей при подъеме на высоту, демонстрирующий возможности модели по прогнозированию состояния респираторной системы. Результаты моделирования свидетельствуют, что при понижении общего барометрического давления происходит изменение дыхательных объемов, уменьшается объем альвеолярного пространства и увеличивается мертвое пространство в соотношении от 4,7 до 0,7. Развивается некомпенсированный респираторный алкалоз, приводящий к нарушению кислотно-основных реакций организма. Применение данного методического подхода позволяет в условиях вычислительного эксперимента решить рискометрические задачи, связанные с исследованием проблем безопасности полета при имитации режимов эксплуатации систем жизнеобеспечения.
Ключевые слова: моделирование газообмена, минутный объем дыхания, респираторная система, регуляция дыхания, гипоксия.

Study of Respiratory System Response During Decompression of a Pressurized Compartment. T.V. Matyushev, M.V. Dvornikov, M.A. Petrov

The paper presents a solution for modeling the dynamics of human gas exchange indicators in space flight based on a static model of the respiratory system, taking into account the peculiarities of gas exchange process. The paper also describes a computational experiment which was carried out to simulate indicators during ascent, demonstrating the capabilities of the model to predict the state of the respiratory system. The simulation results show that a decrease in the total barometric pressure leads to the respiratory capacity changes: the volume of the alveolar space decreases and the tidal dead space volume increases in the ratio from 4.7 to 0.7. A noncompensated respiratory alkalosis leading to the acid-base disorders develops as well. The computational experiment applied under the considered methodological approach allows studying the problems related to the flight safety and risk management under various operating modes of life support systems.
Keywords: models of gas exchange, respiratory minute volume, respiratory system, control of breathing, hypoxia.

Актуальность применения современных средств и методов оценки функционального состояния организма возрастает при внедрении новых технологий на этапах проектирования, модернизации космической техники. Учет человеческого фактора определяет необходимость применения динамических полунатурных моделирующих комплексов (ДПМК), позволяющих оценивать влияние факторов полета и применяемых систем обеспечения жизнедеятельности и защитного снаряжения на качество деятельности человека. С одной стороны, это требует расширения средств и методов медицинского контроля, а с другой – разработки критериев интегральной оценки функционального состояния космонавта с учетом интенсивности моделируемых факторов, а также эффективности индивидуального снаряжения, которое фактически трансформируется из средства защиты в средство обеспечения деятельности в экстремальных ситуациях.

Внедрение методов математического моделирования и использование прогностических показателей газообмена и энерготрат организма человека существенно расширяет возможности проведения прикладных исследований. Существующие методы математического моделирования позволяют одновременно учитывать влияние как факторов полета на некоторые показатели функционального состояния человека, которые могут измеряться в условиях внешней среды и организма насыщенных парами воды с последующим перерасчетом к стандартным условиям. Однако такие рутинные перерасчеты требуют больших трудозатрат, применения большого числа формул, а результаты упрощенных расчетов могут скрывать ошибки, искажающие реальное состояние регуляторных процессов в организме.

С этим связана необходимость построения математической модели, основанной на расчетных формулах высотной физиологии [1], патофизиологии [2] и уточнения количественных параметров, определяющих характер взаимосвязей между компонентами газообмена в динамически меняющихся условиях.

Целью работы являлся анализ динамики показателей газообмена человека на основе статической модели респираторной системы организма, позволяющей проводить анализ изменений показателей функции внешнего дыхания и газообмена, и уточнение количественных параметров, определяющих характер взаимосвязей между компонентами газообмена применительно к потенциально возможным ситуациям в космическом полете.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать структуру статической модели респираторной системы и алгоритм расчета газообмена организма.
2. Уточнить количественные параметры, определяющие характер взаимосвязей между компонентами газообмена и позволяющие проводить теоретические расчеты.
3. Провести вычислительный эксперимент, имитирующий понижение давления в окружающей среде.

Структура статической модели респираторной системы и алгоритм расчета газообмена организма

При построении статической модели транспорта кислорода в организме было принято следующее допущение – альвеолы в любой момент времени имеют одинаковый состав газовой смеси, а также одинаково вентилируются и перфузируются. Значения показателей, которые могут быть определены теоретически, представлены в сводных таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Параметры дыхательных газов в воздухе и в крови здоровых людей в покое [3]

Параметры газов	Концентрация		Давление, *мм рт. ст.*			
Среда	O_2	CO_2	O_2	$F\cdot(P_B - p_{H_2O})$	CO_2	$F\cdot(P_B - p_{H_2O})$
Вдыхаемый воздух	0,209	0,0003	150	149,01	0,2	0,21
Альвеолярная смесь	0,14	0,056	100	99,82	40	39,92
Выдыхаемая смесь	0,16	0,04	114	114,08	29	28,52
Параметры газов	p_{O_2} *мм рт. ст.*	S_{O_2} %	C_{O_2} *л*O_2/ *л* крови	p_{CO_2} *мм рт. ст.*	C_{CO_2} *л*O_2/ *л* крови	pH
Артериальная кровь	95	97	0,20	40	0,48	7,40
Венозная кровь	40	73	0,15	46	0,52	7,37
Артериовенозная разница			0,05			0,04
Поглощение O_2 (STPD), л/*мин*	0,28					
Выделение CO_2 (STPD), л/*мин*		0,23				

Таблица 2

Сводные данные о концентрации и парциальном давлении кислорода и углекислого газа [4]

Среда	O_2			CO_2		
	%	*мм рт. ст.*	*мл/л*	%	*мм рт. ст.*	*мл/л*
Вдыхаемый воздух	20,93	159	209,3	0,03	0,2	0,3
Выдыхаемый воздух	16,0	121	160,0	4,5	34	45
Альвеолярный воздух	14,	100	140,0	5,5	40	55
Артериальная кровь		100–96	200,0		40	560–540
Венозная кровь		40	140–160		46	580
Ткань		10–15			60	
Около митохондрий		0,1–1			70	

Общая схема транспорта газов, определяющая взаимозависимость между компонентами газообмена в легких и позволяющая проводить теоретические расчеты, представлена на рисунке 1. Перечень исходных данных статической модели газообмена приведен в таблице 3.

Таблица 3

Перечень исходных данных статической модели газообмена

Обозначение	Наименование	Значения
D_L	диффузная способность легких, $\frac{мл}{мин.\ мм\ рт.\ ст.}$	25
Q_R	сердечный выброс, *л/мин*	5,6
p_{H_2O}	давление паров воды, *мм рт. ст.*	47
t_{H_2O}	температура паров воды, °С	37
T_0	температура абсолютного нуля по Кельвину, °К	273,15
α_{CO_2}	коэффициент растворимости диоксида углерода в крови, *мл* газа/*мл* крови	0,495
α_{O_2}	коэффициент растворимости кислорода в крови, *мл* газа/*мл* крови	0,0237
α_{N_2}	коэффициент растворимости азота в крови, *мл* газа/*мл* крови	0,012
Q_0	теплопродукция человека в состоянии относительного покоя, *Вт*	105
$F^I_{CO_2}$	концентрации CO_2 во вдыхаемой смеси, *мл* газа/*мл* смеси	0,0003
FRC	функциональная остаточная емкость легких, *л*	3
R_{O_2}	газовая постоянная O_2, *Дж/(кг·°К)*	259,8
R_{CO_2}	газовая постоянная CO_2, *Дж/(кг·°К)*	188,9
R_{N_2}	газовая постоянная N_2, *Дж/(кг·°К)*	296,8
R_{H_2O}	газовая постоянная H_2O, *Дж/(кг·°К)*	461,5
μ_{O_2}	молекулярная масса O_2, *кг·моль*	32
μ_{CO_2}	молекулярная масса CO_2, *кг·моль*	44,01
μ_{N_2}	молекулярная масса N_2, *кг·моль*	28,02
μ_{H_2O}	молекулярная масса H_2O, *кг·моль*	18,01
$V_{тела}$	объем тела, *л*	66,667
k	коэффициент приведения объема газа, измеренного в условиях организма к стандартным условиям	862,947

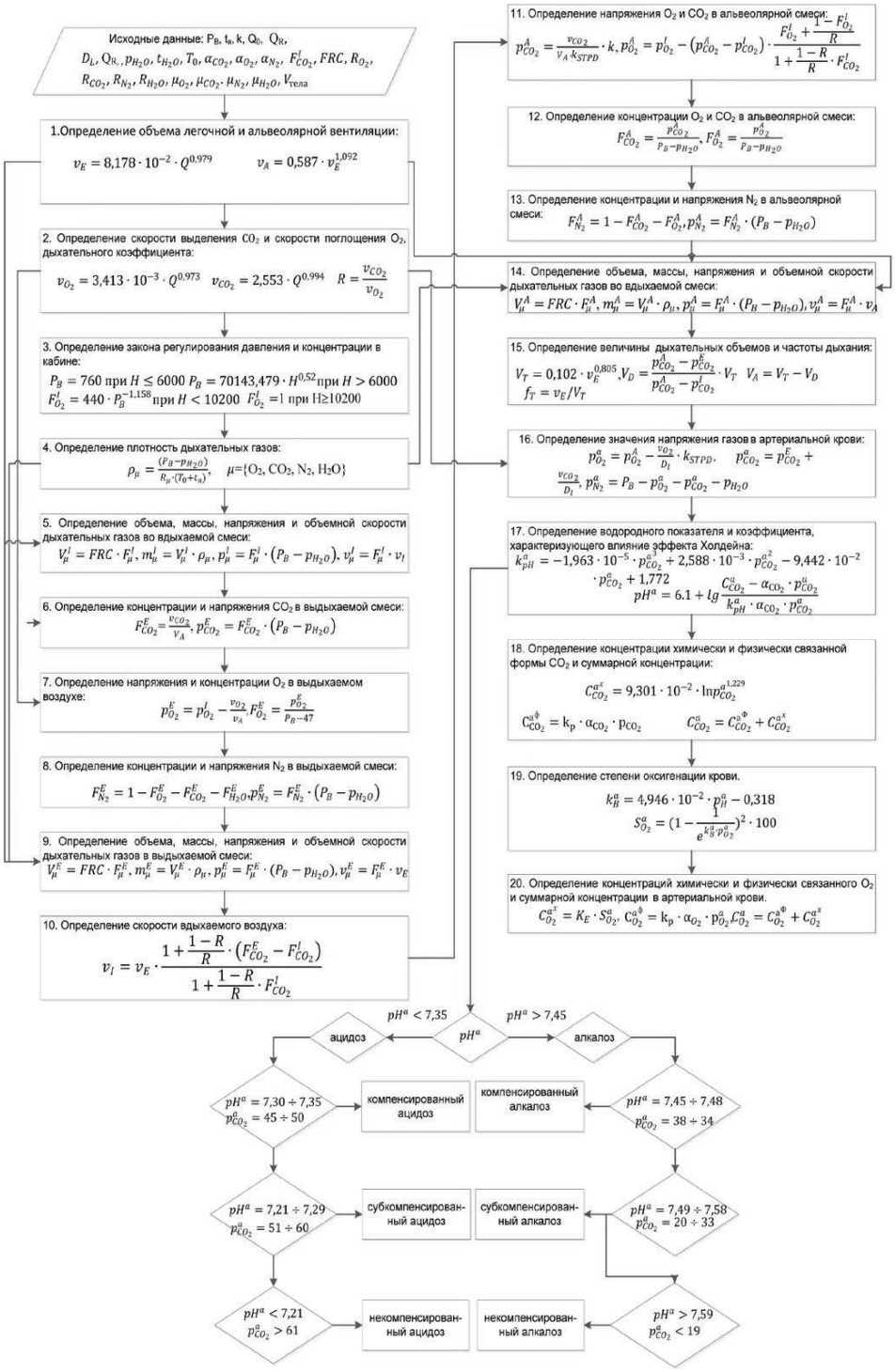

Рис. 1. Структура статической модели респираторной системы человека

Алгоритм расчета может быть представлен следующим образом. В модели транспорта газов в организме человека были выделены четыре участка: вдыхаемая, выдыхаемая, альвеолярная газовая смесь и артериальная кровь. Вычислялись напряжения, концентрации, массы газов, степень оксигенации и pH артериальной крови.

Объемы минутной и альвеолярной вентиляции, потребление O_2 и выделения CO_2 определялись соответственно по формулам, аппроксимирующим экспериментальные данные [5]:

– объем минутной вентиляции, *л/мин*:

$$v_E = 8{,}178 \cdot 10^{-2} \cdot Q^{0{,}979}, \quad (1)$$

– объем альвеолярной вентиляции, *л/мин*:

$$v_A = 0{,}587 \cdot v_E^{1{,}092}, \quad (2)$$

– скорость выделения CO_2, *мл* CO_2/ *мл* смеси:

$$v_{CO_2} = 2{,}553 \cdot Q^{0{,}994}, \quad (3)$$

– скорость поглощения O_2, *мл* O_2/ *мл* смеси:

$$v_{O_2} = 3{,}413 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{0{,}973}. \quad (4)$$

Дыхательный коэффициент (R) определялся по формуле:

$$R = \frac{v_{CO_2}}{v_{O_2}}.$$

Давление в гермокабинах летательных аппаратов поддерживается на определенном уровне, предупреждающем развитие высотной декомпрессионной болезни и кислородного голодания. В модели законы регулирования давления (P_B) и концентрации O_2 во вдыхаемой смеси ($F_{O_2}^I$) в зависимости от высоты полета были приняты соответствующими герметичным кабинам пассажирских самолетов [6, стр. 59, стр. 70]:

$$P_B = 760 \text{ при } H \leq 6000\ ,\ P_B = 70143{,}479 \cdot H^{-0{,}52} \text{при } H > 6000. \quad (5)$$

$$F_{O_2}^I = 440 \cdot P_B^{-1{,}158} \text{при } H < 10200\ ,\ F_{O_2}^I = 1 \text{ при } H \geq 10200.$$

Концентрация N_2 в сухой вдыхаемой смеси определялась по формуле: $F_{N_2}^I = 1 - F_{O_2}^I - F_{CO_2}^I$.

Плотность дыхательных газов определялась в соответствии с уравнением идеальных газов Менделеева-Клайперона, *кг/м*^{3}:

$$\rho_\mu = \frac{(P_B - p_{H_2O})}{R_\mu \cdot (T_0 + t_я)}, \quad (6)$$

где $t_я$ – температура ядра, °C, R_μ – газовая постоянная конкретного газа, *Дж*/(*кг*·°*К*), $\mu = \{O_2, CO_2, N_2, H_2O\}$.

Объемы (V_μ^I), массы (m_μ^I), напряжения (p_μ^I) и объемные скорости (v_μ^I) дыхательных газов во вдыхаемой смеси определялись из следующих формул:

$$V_\mu^I = FRC \cdot F_\mu^I, m_\mu^I = V_\mu^I \cdot \rho_\mu, p_\mu^I = F_\mu^I \cdot \left(P_B - p_{H_2O}\right), v_\mu^I = F_\mu^I \cdot v_I. \quad (7)$$

Концентрации и напряжения CO_2, O_2, N_2 во выдыхаемой смеси определялись по формулам:

$$F_{CO_2}^E = \frac{v_{CO_2}}{V_A}, p_{CO_2}^E = F_{CO_2}^E \cdot \left(P_B - p_{H_2O}\right). \quad (8)$$

$$p_{O_2}^E = p_{O_2}^I - \frac{v_{O_2}}{v_A}, F_{O_2}^E = \frac{p_{O_2}^E}{P_B - 47}. \quad (9)$$

$$F_{N_2}^E = 1 - F_{O_2}^E - F_{CO_2}^E - F_{H_2O}^E, p_{N_2}^E = F_{N_2}^E \cdot \left(P_B - p_{H_2O}\right). \quad (10)$$

Объемы (V_μ^E), массы (m_μ^E), напряжения (p_μ^E) и объемные скорости (v_μ^E) дыхательных газов в выдыхаемой смеси определялись в соответствии с уравнениями:

$$V_\mu^E = FRC \cdot F_\mu^E, m_\mu^E = V_\mu^E \cdot \rho_\mu, p_\mu^E = F_\mu^E \cdot (P_B - p_{H_2O}), v_\mu^E = F_\mu^E \cdot v_E. \quad (11)$$

Скорость вдыхаемого воздуха определялась из уравнения:

$$v_I = v_E \cdot \frac{1 + \frac{1-R}{R} \cdot \left(F_{CO_2}^E - F_{CO_2}^I\right)}{1 + \frac{1-R}{R} \cdot F_{CO_2}^I}. \quad (12)$$

Напряжения и концентрации O_2 и CO_2 в альвеолярной смеси определялись по формулам:

$$p_{CO_2}^A = \frac{v_{CO_2}}{v_A} \cdot k, \quad (13)$$

где $k = \frac{760 \cdot (T_0 + t_{H_2O})}{T_0}$.

$$p_{O_2}^A = p_{O_2}^I - \left(p_{CO_2}^A - p_{CO_2}^I\right) \cdot \frac{F_{O_2}^I + \frac{1-F_{O_2}^I}{R}}{1+\frac{1-R}{R} \cdot F_{CO_2}^I}. \quad (14)$$

$$F_{CO_2}^A = \frac{p_{CO_2}^A}{P_B - p_{H_2O}}, F_{O_2}^A = \frac{p_{O_2}^A}{P_B - p_{H_2O}}. \quad (15)$$

$$F_{N_2}^A = 1 - F_{CO_2}^A - F_{O_2}^A, p_{N_2}^A = F_{N_2}^A \cdot (P_B - p_{H_2O}). \quad (16)$$

Объемы (V_μ^A), массы (m_μ^A), напряжения (p_μ^A) и объемные скорости (v_μ^A) дыхательных газов в альвеолярной смеси определялись в соответствии с уравнениями:

$$V_\mu^A = FRC \cdot F_\mu^A, m_\mu^A = V_\mu^A \cdot \rho_\mu, p_\mu^A = F_\mu^A \cdot (P_B - p_{H_2O}), v_\mu^A = F_\mu^A \cdot v_A. \quad (17)$$

Расчет мертвого пространства проводился по формуле Бора:

$$V_D = \frac{p_{CO_2}^A - p_{CO_2}^E}{p_{CO_2}^A - p_{CO_2}^I} \cdot V_T. \quad (18)$$

По этой формуле определяется объем отделов легких, в которых не происходит удаление CO_2 из крови; поскольку этот показатель связан с работой органа, то он определяет величину функционального (физиологического) мертвого пространства.

Кроме того, величины дыхательных объемов были нами определены аппроксимацией экспериментальных данных, представленных в работах [4, 7]:

– дыхательный объем и объем альвеолярного пространства:

$$V_T = 0{,}102 \cdot v_E^{0{,}805}, V_A = 0{,}773 \cdot v_T^{1{,}074}, \quad (19)$$

– объем дыхательного мертвого пространства:

$$V_D = 0{,}230 \cdot v_E^{0{,}745} \text{ или } V_D = V_T - V_A. \quad (20)$$

Частота сердечных сокращений определялась по формуле: $f_T = v_E / V_T$.

При определении напряжения O_2 в артериальной крови ($p_{O_2}^a$) мы исходили из того, что v_{O_2} выражается в *мл* (BTPS), а v_{CO_2} в *мл* (STPD)/*мин*, поэтому v_{O_2} нужно умножить на $\frac{(P_B - p_{H_2O})}{P_B}$, чтобы привести газ к сухому состоянию. Умножить на $\frac{P_B}{760}$, чтобы привести к стандартному давлению (760 *мм рт. ст.*) и умножить на $\frac{T_0}{(T_0 + t_{H_2O})}$, чтобы привести к стандартной температуре. В целом эти факторы составляют:

$$k_{STPD} = \frac{(P_B - p_{H_2O})}{P_B} \cdot \frac{P_B}{760} \cdot \frac{T_0}{(T_0 + t_{H_2O})} = \frac{(P_B - p_{H_2O}) \cdot T_0}{760 \cdot (T_0 + t_{H_2O})}. \quad (21)$$

При P_B=760 *мм рт. ст.* k_{STRD} = 0,826.

Таким образом, с учетом (21) напряжения газов в артериальной крови определялись из системы уравнений:

$$p^a_{O_2} = p^A_{O_2} - \frac{v_{O_2}}{D_l} \cdot k_{STPD},\ p^a_{CO_2} = p^E_{CO_2} + \frac{v_{CO_2}}{D_l},\ p^a_{N_2} = P_B - p^a_{O_2} - p^a_{CO_2} - p_{H_2O}. \quad (22)$$

Водородный показатель артериальной крови определялся согласно уравнению Гендерсона-Гассельбаха:

$$pH^a = 6.1 + lg\,\frac{C^a_{CO_2} - \alpha_{CO_2} \cdot p^a_{CO_2}}{k^a_{pH} \cdot \alpha_{CO_2} \cdot p^a_{CO_2}}, \quad (23)$$

где k^a_{pH} – коэффициент, характеризующий влияние эффекта Холдейна, который определялся следующий образом [6]:

$$k^a_{pH} = -1{,}963 \cdot 10^{-5} \cdot p^{a^3}_{CO_2} + 2{,}588 \cdot 10^{-3} \cdot p^{a^2}_{CO_2} - 9{,}442 \cdot 10^{-2} \cdot p^a_{CO_2} + 1{,}772. \quad (24)$$

Концентрация O_2 и CO_2 в артериальной крови определялась как сумма физической (растворенной в плазме) и химической (связанной с гемоглобином) формах: $C^a_\mu = C^{a^ф}_\mu + C^{a^x}_\mu$.

Концентрация физически связанной формы газа определялась по формуле: $C^{a^ф}_\mu = k_p \cdot \alpha_\mu \cdot p_\mu$, где α_μ – коэффициент растворимости, *мл* газа/*мл* крови, k_p – фактор размерности.

Концентрация химически связанной формы CO_2 определялась по формуле [6]:

$$C^{a^x}_{CO_2} = 9{,}301 \cdot 10^{-2} \cdot ln p^{a^{1,229}}_{CO_2}. \quad (25)$$

Степень оксигенации артериальной крови, в свою очередь, рассчитывалась по уравнению:

$$S^a_{O_2} = (1 - \frac{1}{e^{k^a_B \cdot p^a_{O_2}}})^2 \cdot 100, \quad (26)$$

где k^a_B – коэффициент, характеризующий действие эффекта Бора, определялся по формуле [8]: $k^a_B = 4{,}946 \cdot 10^{-2} \cdot p^a_H - 0{,}318.$

Концентрация химически связанного O_2 в артериальной крови определялась по формуле:

$$C^{a^x}_{O_2} = K_E \cdot S^a_{O_2}, \quad (27)$$

где K_E – кислородная емкость крови.

Эффективность газообмена можно определить по следующим показателям:

– концентрации и напряжения газов в дыхательных смесях и артериальной крови;

– альвеолярно-артериальной разности по кислороду:

$$p_{O_2}^{Aa} = p_{O_2}^{A} - p_{O_2}^{a};$$

– степени оксигенации и pH в артериальной крови;

– артериовенозной разности по O_2:

$$C_{O_2}^{av} = \frac{\left(p_{O_2}^{I} - p_{O_2}^{E}\right) \cdot v_A}{Q_R \cdot k} \cdot 100;$$

– коэффициенту оксигенации (K_{O_2}), являющему параметром, отражающим потребление O_2 тканями и качественным признаком, для определения степени острой дыхательной недостаточности: $K_{O_2} = \frac{p_{O_2}^{a}}{F_{O_2}^{I}}$;

– величине вентиляционно-перфузионных отношений:

$$v_{AQ} = \frac{C_{O_2}^{av} \cdot k}{\left(p_{O_2}^{I} - p_{O_2}^{E}\right) \cdot 100} = \frac{k \cdot R \cdot C_{O_2}^{av}}{100 \cdot p_{CO_2}^{A}}.$$

Уточнение количественных взаимосвязей между показателями газообмена

При определении величины параметров модели были использованы данные, представленные в работе [3].

В соответствии с классической теорией величина легочной вентиляции в покое составляет 7 *л* [9]. Но выведенная при обработке экспериментальных данных [5] зависимость (1) определила величину легочной вентиляции, соответствующей 7,794 *л/мин*. Для уточнения исходных показателей были проведены расчеты. Сопоставление результатов вычисления с экспериментальными данными, представленными в работе [3], для различных показателей газообмена приведено в таблице 4.

При v_E = 7,79 *л/мин*, $p_{CO_2}^{A}$ = 40,73 *мм рт. ст.*, v_E = 7 *л/мин*, $p_{CO_2}^{A}$= 45,81 *мм рт. ст.*

Проведенный качественный анализ сопоставления теоретических величин с результатами расчета показал, что оптимальный вариант параметров модели по кислороду v_E = 7,79 *л/мин*.

Таблица 4

Напряжение кислорода, концентрация кислорода и диоксида углерода в альвеолах при дыхании окружающим воздухом в зависимости от высоты при различных значениях легочной вентиляции

H, *км*	Напряжение кислорода, *мм рт. ст.*			Концентрация кислорода, *мл* O_2/*мл* газа			Концентрация диоксида углерода, *мл* CO_2/*мл* газа		
	$v_E = 7$	$v_E = 7{,}79$	[3]	$v_E = 7$	$v_E = 7{,}79$	[7]	$v_E = 7$	$v_E = 7{,}79$	[3]
0	95,89	101,8	109	0,119	0,145	0,143	0,134	0,057	0,049
0,3	90,32	96,23	102	0,116	0,142	0,139	0,132	0,059	0,05
0,9	79,65	85,56	89	0,108	0,137	0,13	0,125	0,064	0,052
1,5	69,59	75,50	82	0,100	0,131	0,13	0,118	0,069	0,057
1,8	64,77	70,69	74	0,096	0,128	0,122	0,115	0,072	0,059
2,4	55,57	61,49	70	0,086	0,121	0,124	0,107	0,078	0,064
2,7	51,18	57,09	61	0,081	0,117	0,112	0,102	0,082	0,064
3	46,92	52,83	61	0,076	0,113	0,117	0,098	0,085	0,067
3,6	38,78	44,69	51	0,064	0,105	0,106	0,088	0,093	0,072
4,5	27,49	33,40	44	0,043	0,090	0,103	0,071	0,105	0,077
5,4	17,23	23,14	38	0,019	0,073	0,1	0,051	0,121	0,084
6	10,93	16,84	35	0,001	0,060	0,1	0,036	0,133	0,083
6,6	5,04	10,95	30	0	0,045	0,093	0,018	0,146	0,087

Вычислительный эксперимент по имитации понижения давления в окружающей среде

С падением общего барометрического давления растет парциальное давление и в участках системы растет парциальное давление и концентрация, масса O_2, степень окигенации, pH артериальной крови, падает парциальное давление, концентрация и масса O_2 и N_2. С ростом высоты увеличивается мертвый объем в легких и уменьшается альвеолярное пространство. Результаты вычислительного эксперимента имитации понижения давления в окружающей среде при $v_E = 7{,}79$ л/*мин* представлены на графиках рисунков 2–4. Напряжения газов – на графиках 2а, 2б, 2в, концентрации – на графиках 3а, 3б, 3в, массоперенос – на графиках 4а, 4б, 4в. Степень оксигенации – на графике 2г, pH – на графике 3г и дыхательные объемы – на графике 4г.

Как видно из рисунков, при имитации подъема на высоту установившийся режим привел:

– к насыщению артериальной крови O_2;
– удалению CO_2 из артериальной крови;
– росту pH в артериальной крови.

Кроме того, в литературных источниках приводятся различные значения диффузионной способности легких от 25 [9] до 30 [10]. Для уточнения исходных параметров модели нами были приведены расчеты. Сопоставление расчетных данных для различных режимов представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Напряжение дыхательных газов в артериальной крови
в зависимости от высоты при различных значениях легочной вентиляции
и диффузионной способности

Высота, *км*	Напряжение кислорода в артериальной крови, *мм рт. ст.*				Напряжение диоксида углерода в артериальной крови, *мм рт. ст.*			
	$v_E = 7$		$v_E = 7{,}79$		$v_E = 7$		$v_E = 7{,}79$	
	$D_L = 25$	$D_L = 30$	$D_L = 25$	$D_L = 30$	$D_L = 25$	$D_L = 30$	$D_L = 25$	$D_L = 30$
0	80,81	82,55	86,73	88,47	48,30	46,55	44,10	42,36
2	80,81	82,55	86,73	88,47	48,30	46,55	44,10	42,36
4	80,81	82,55	86,73	88,47	48,30	46,55	44,10	42,36
6	80,81	82,55	86,73	88,47	48,30	46,55	44,10	42,36
8	84,62	86,10	90,50	91,97	42,63	40,89	39,06	37,32
10	87,26	88,57	93,11	94,41	38,83	37,09	35,68	33,94
12	89,25	90,42	95,05	96,23	36,03	34,29	33,20	31,46
14	90,79	91,86	96,56	97,64	33,87	32,13	31,27	29,53
16	92,02	93,02	97,77	98,76	32,13	30,39	29,73	27,99
18	93,03	93,96	98,74	99,67	30,69	28,95	28,45	26,71
20	93,86	94,73	99,55	100,42	29,48	27,74	27,37	25,63

Таблица 6

pH артериальной крови в зависимости от высоты
при различных значениях легочной вентиляции и диффузионной способности

		H, *км*	0	4	8	12	14	16	18	20
pH	$v_E = 7$	$D_L = 25$	7,26	7,26	7,35	7,46	7,49	7,52	7,54	7,56
		$D_L = 30$	7,29	7,29	7,38	7,48	7,52	7,54	7,56	7,58
	$v_E = 7{,}79$	$D_L = 25$	7,33	7,33	7,41	7,50	7,53	7,55	7,57	7,58
		$D_L = 30$	7,35	7,35	7,44	7,53	7,56	7,58	7,59	7,60

Анализ сопоставления теоретических величин с результатами расчета показал, что наиболее оптимальный вариант по напряжению кислорода и pH артериальной крови $v_E = 7{,}79$ *л*, $D_L = 30\ \frac{мл}{мин.\ мм\ рт.\ ст.}$.

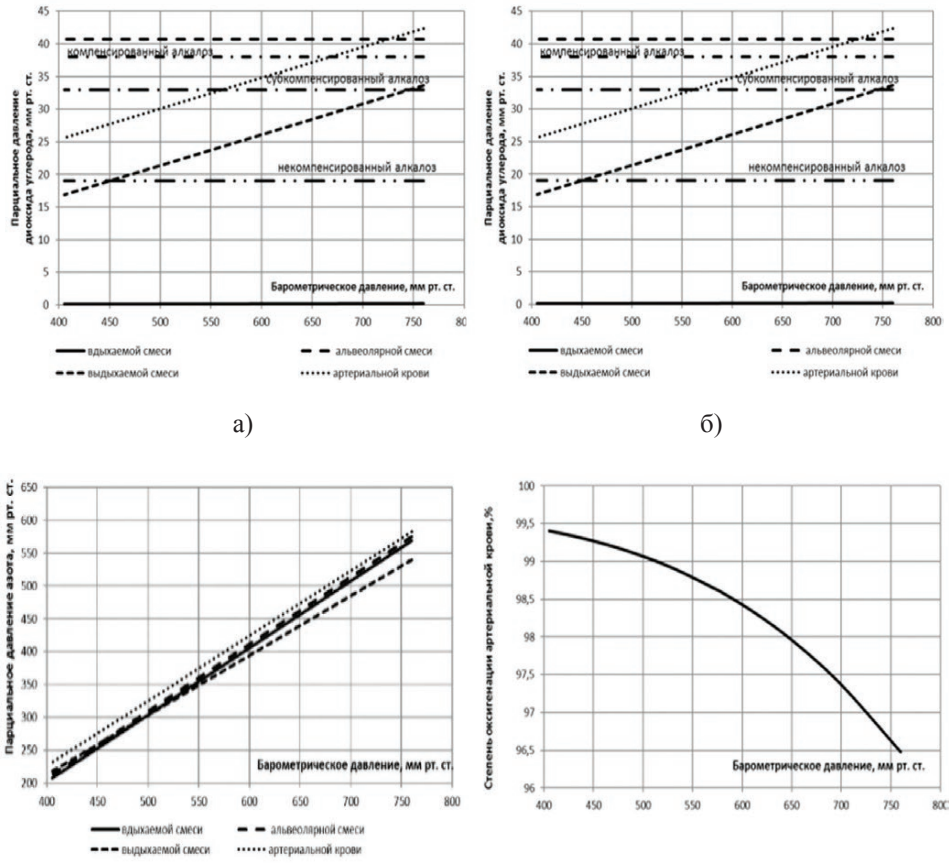

Рис. 2. Динамика парциального давления дыхательных газов и степени оксигенации артериальной крови в зависимости от барометрического давления: а) парциальное давление кислорода; б) парциальное давление диоксида углерода; в) парциальное давление азота; г) степень оксигенации артериальной крови

Анализ величин напряжения CO_2 и pH в артериальной крови при выбранных параметрах модели показал, что компенсированный алкалоз поддерживается, начиная с величины барометрического давления 550 *мм рт. ст.*, субкомпенсированный алкалоз – с 450 *мм рт. ст.*, а с 450 *мм рт. ст.* развивается некомпенсированный алкалоз.

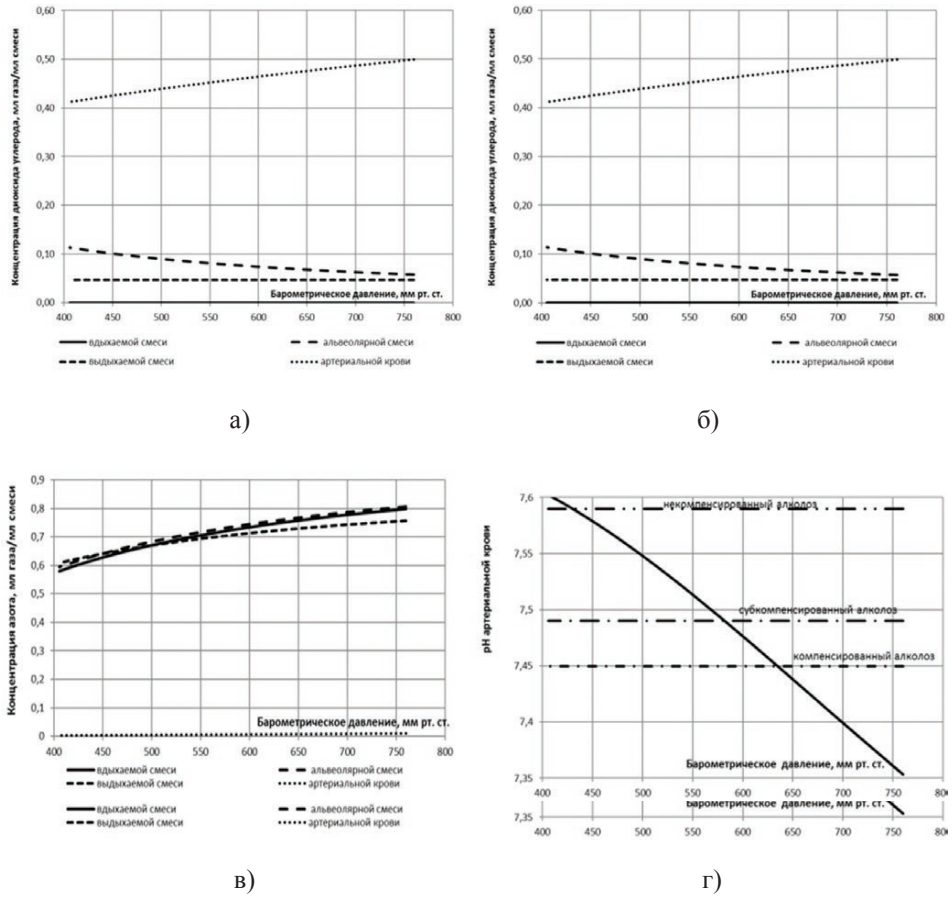

Рис. 3. Динамика концентрации дыхательных газов и pH артериальной крови в зависимости от барометрического давления: а) концентрация кислорода; б) концентрация диоксида углерода; в) концентрация азота; г) водородный показатель артериальной крови

Поэтому, несмотря на то, что уровень p_{O_2} в альвеолярной смеси поддерживает величину гемоглобина в артериальной крови O_2 на высоком уровне, возникшие нарушения приводят к некомпенсированному респираторному алкалозу, который вызывает сдвиг кривой диссоциации оксимиоглобина влево. Этот сдвиг способствует связыванию O_2 в легких, но мешает его выделению в тканях и может вызвать спазм сосудов головного мозга, приводящий к симптомам психических расстройств.

На рисунке 4г отображено изменение дыхательных объемов в зависимости от давления. Расчет величины мертвого пространства проводился по формуле Бора. При уменьшении барометрического давления уменьшается объем альвеолярного пространства и увеличивается мертвое пространство в соотношении от 4,7 до 0,7.

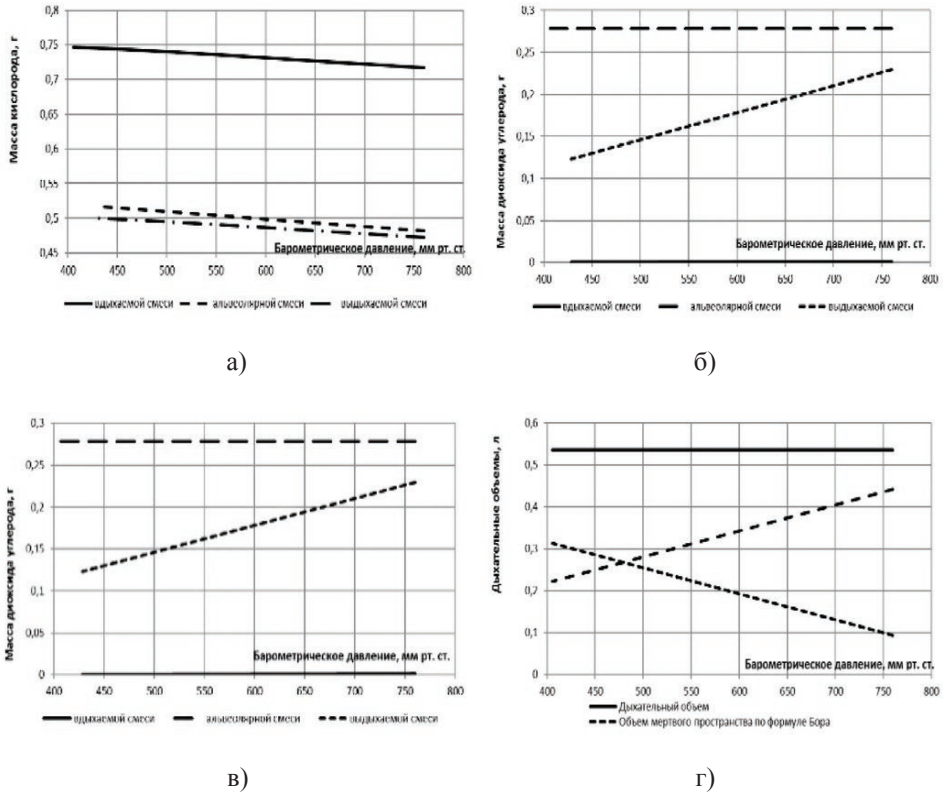

Рис. 4. Динамика массопереноса дыхательных газов и дыхательных объемов в зависимости от барометрического давления: а) концентрация кислорода; б) концентрация диоксида углерода; в) концентрация азота; г) водородный показатель артериальной крови

Обсуждение полученных результатов

Математическая модель газообмена, представленная в работе, существенно расширяет возможности проведения прикладных исследований, поскольку позволяет учитывать комплексное влияние факторов полета на показатели функционального состояния человека.

Выполненные расчеты показателей газообмена при имитации подъема на высоту позволили уточнить количественные параметры, определяющие характер взаимосвязей между компонентами газообмена. Результаты имитации показали, что при подъеме человека на высоту с падением давления:

– происходит изменение дыхательных объемов, уменьшается объем альвеолярного пространства и увеличивается мертвое пространство в соотношении от 4,7 до 0,7;

– развивается некомпенсированный респираторный алкалоз, приводящий к нарушению кислотно-основных реакций организма.

Безопасность всегда будет являться главным требованием космических полетов, успех которых в значительной степени зависит от того, в какой мере будет обеспечена безопасность экипажа на всех этапах полета, в том числе и на стратосферном участке на этапах старта и посадки. Одной из наиболее серьезных проблем является декомпрессия при разгерметизации кабины, а следовательно, развитие явлений кислородного голодания (гипоксии) и высотно-декомпрессионной болезни (ВДБ). Так как основным и эффективным средством защиты от декомпрессии и перепада давления на этапах старта и посадки является аварийно-спасательный скафандр, то дальнейшее направление исследований будет ориентировано на анализ функционирования системы автоматического регулирования давления в нештатных и аварийных ситуациях на основе представленной модели.

Представленная модель может быть положена в основу разработки методик оценки функционального состояния, использующих преимущества математического моделирования и оценку отдельных наиболее информативных показателей, дополнительно к натурному эксперименту.

Применение таких методик может стать перспективным вариантом дополнительного самостоятельного этапа эргономической оценки новой космической техники, а также создания ДПМК для испытания защитных, физиолого-гигиенических и эргономических характеристик индивидуальных систем жизнеобеспечения. Более того, при испытаниях систем диагностики опасных состояний человека такие методики предварительной виртуальной оценки могут выполнять функцию антропоморфного манекена человека, а также оценки алгоритмов систем активной безопасности полетов. Это приведет к расширению диагностических возможностей физиологических средств мониторинга, а также усовершенствованию методов экспресс обработки не только после воздействия, но и в онлайн режиме. В рамках усовершенствования методов экспресс-обработки методический подход, основанный на цифровом моделировании известных физиологических закономерностей, позволит решить задачи оптимизации процедур регистрации и обработки первичных технических и физиологических показателей в реальном масштабе времени, а также расчета вторичных показателей оценки функционального состояния человека.

Выводы

1. Проведенные на модели вычислительные эксперименты показали ее адекватность данным физиологических исследований, пригодность для анализа достаточно сложных процессов регуляции газообмена человека в условиях пониженного барометрического давления.

2. Результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными. Модель можно использовать при теоретическом прогнозировании динамики респираторных реакций организма человека в условиях измененной газовой среды.

3. Выполненные расчеты показателей газообмена при имитации подъема на высоту позволили уточнить количественные изменения дыхательных объемов, уменьшение объема альвеолярного пространства и увеличение мертвого пространства в соотношение от 4,7 до 0,7.

4. Расчеты показали, что различие значений диффузионной способности легких, полученных из доступных литературных источников, незначительно влияет на парциальное давление газов в респираторной системе на всех этапах полета.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов. Метрологические аспекты. В 2-х томах / Под ред. Исаева Л.К. – Том II. – М.: ПАИМС, 1997. – 496 с.
[2] Гриппи М.А. Патофизиология легких, изд. 2-е испр. – М., Спб.: ЗАО «Издательство БИНОМ», «Невский Диалект», 1999. – 344 с., ил.
[3] Коэнчи Е.Б. Декомпрессионные явления на искусственных спутниках с живыми существами на борту // Человек в условиях высотного космического полета. Сб. пер. из иностранной периодической литературы / Под ред. В.И. Иванова. – М.: Иностранная литература, 1960. – С. 349–416.
[4] Человек в условиях гипокапнии и гиперкапнии / Агаджанян Н.А., Полунин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. – Астрахань-Москва: Астраханская государственная медицинская академия, 2001. – 340 с.
[5] Определение вида зависимости энерготрат от показателей функции внешнего дыхания / Матюшев Т.В., Дворников М.В., Рыженков С.П., Гуськов С.Г., Дворников С.М. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50. – № 5. – С. 144–145.
[6] Авиационная медицина: Руководство / Под ред. И.М. Рудного, П.В. Васильева, С.А. Гозулова. – М.: Медицина, 1986. – 580 с.
[7] Степанов В.К. К вопросу об определении энерготрат по некоторым показателям физиологических функций // Влияние факторов высотного полета на организм и методы изучения некоторых физиологических функций. – М.: ВВС; 1972. – С. 34–36.
[8] Матюшев Т.В., Дворников М.В. Анализ респираторных реакций человека в условиях изменений газовой среды на математической модели // Компьютерные исследования и моделирование. – 2017. – Т. № 9. – № 2. – С. 281–296.
[9] Тевс Г. Транспорт газов кровью и кислотно-щелочное равновесие // Физиология человека: В 3-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса, 3-е изд. – Т. 2. – М.: Мир, 2004. – С. 605–625.
[10] Физиология дыхания. Руководство по физиологии. – М.: Наука, 1973. – 352 с.

REFERENCES

[1] The Impact on the Human Body of Dangerous and Harmful Environmental Factors. Metrological Aspects. in 2 Volumes. Edited by Isaeva L.K. Vol. II. – Moscow: PAIMS, 1997. – p. 496.
[2] Fluppy M.A. Pathophysiology of the Lungs, ed. 2nd ed. – Moscow, St. Petersburg: CJSC Publishing House BINOM, Nevsky Dialect, 1999. – p. 344, Ill.

[3] Cohenchi Ye.B. Decompression Phenomena on Artificial Satellites with Living Creatures on Board. // Man in High-Altitude Space Flight. Collection of Translations from Foreign Periodicals. Edited by V.I. Ivanova. – Moscow: Foreign Literature, 1960. – pp. 349–416.
[4] Agadzhanyan N.A., Polunin I.N., Stepanov V.K., Polyakov V.N. A Person in Conditions of Hypocapnia and Hypercapnia. – Astrakhan-Moscow: Astrakhan State Medical Academy, 2001. – p. 340.
[5] Matyushev T.V., Dvornikov M.V., Ryzhenkov S.P., Guskov S.G., Dvornikov S.M. Determination of the Type of Dependence of Energy Expenditures on Indicators of the Function of External Respiration // Aerospace and Environmental Medicine. – 2016. – Vol. 50. – No 5. – pp. 144–145.
[6] Aviation Medicine: Manual / Ed. I.M. Rudny, P.V. Vasiliev, S.A. Gozulov. – Moscow: Medicine, 1986. – p. 580.
[7] Stepanov V.K. To the Question of Determining Energy Expenditures by Some Indicators of Physiological Functions // Influence of Altitude Flight Factors on the Body and Methods of Studying Some Physiological Functions. – Moscow: Air Force; 1972. – pp. 34–36.
[8] Matyushev T.V., Dvornikov M.V. Analysis of Human Respiratory Reactions Under Conditions of Changes in the Gas Environment in a Mathematical Model // Computer Research and Modeling. – 2017. – Vol. 9. – No 2. – pp. 281–296.
[9] Tevs G. Transport of Gases by Blood and Acid-Base Balance // Human Physiology: In 3 volumes. Per. from English / Ed. R. Schmidt and G. Tevs. 3rd ed. – V. 2. – Moscow: Mir, 2004. – pp. 605–625.
[10] Physiology of Respiration. Physiology Guide. – Moscow: Nauka, 1973. – p. 352.

681.772.2:629.786.2 DOI 10.34131/MSF.21.1.107-122

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОАППАРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ НА РС МКС В ПЕРИОД 2001–2021 гг., ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ОСОБЕННОСТИ ФОТОСЪЕМКИ СО СВЕРХДЛИННОФОКУСНОЙ ОПТИКОЙ

Г.Д. Орешкин, А.Н. Прокопенко, А.Н. Ядренцев, А.В. Кошенко, В.В. Коротких, Н.Р. Солодов

Канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; А.Н. Прокопенко; А.Н. Ядренцев; А.В. Кошенко; В.В. Коротких; Н.Р. Солодов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье выполнен анализ характеристик цифровых фотокамер (ЦФК) с набором сменных объективов и телеконвертеров, которые входят в состав штатного оборудования РС МКС и используются с 2001 года по 2021 год российскими космонавтами для выполнения визуальных наблюдений за поверхностью Земли в интересах экологического обследования районов деятельности различных объектов, отработки методов наблюдения, оценки и прогноза развития потенциально опасных и катастрофических явлений. Представлены особенности фотосъемки наземных объектов со сверхдлиннофокусной оптикой.

Ключевые слова: Международная космическая станция, фотоаппаратура, объекты земной поверхности, длиннофокусная оптика, экспозиция, апертура, светочувствительность, выдержка затвора, разрешение фотоматрицы.

Performance Analysis of Photographic Equipment Used on the ISS RS from 2001 to 2021 to Perform Visual Observations of the Earth's Surface. Features of Photographic Recording Using Ultra-Long Focus Optics. G.D. Oreshkin, A.N. Prokopenko, A.N. Yadrentsev, A.V. Koshenko, V.V. Korotkikh, N.R. Solodov

The paper analyzes the characteristics of digital cameras with a set of interchangeable lenses and extenders, which were part of the ISS RS standard equipment from 2001 to 2020 and were used by Russian cosmonauts to perform visual observations of the Earth's surface in the interests of environmental examination of various areas and objects, improvement of methods of observation, evaluation and forecast of potentially hazardous or catastrophic phenomena. The paper also presents the features of photographic recording of ground objects using ultra-long focus optics.

Keywords: International Space Station, photographic equipment, objects on the Earth's surface, long-focal-length optics, exposure, aperture, photosensitivity, shutter speed, photomatrix resolution.

Выполнение российскими космонавтами визуальных наблюдений за поверхностью Земли с использованием оптико-электронной аппаратуры методами дистанционного зондирования (ДЗ) для экологического обследования районов деятельности различных объектов, отработки методов наблюдения, оценки и прогноза развития потенциально опасных и катастрофических явлений является составной частью российской научной программы, выполняемой на РС МКС.

Для выполнения данных задач одним из видов оптико-электронной аппаратуры являются цифровые фотокамеры (ЦФК), которые входят в состав штатного оборудования РС МКС. Космонавты пользуются фотокамерами фирмы *Nikon* еще со времен орбитальной станции «Мир», которая функционировала с 1986 года по 2001 год.

В настоящее время на РС МКС находится профессиональная фотоаппаратура (ФА), состоящая из ЦФК с набором сменных объективов и телеконвертеров и позволяющая выполнять фотосъемку объектов земной поверхности с высоким разрешением через иллюминаторы РС МКС.

Постоянное совершенствование характеристик ФА для выполнения визуальных наблюдений объектов земной поверхности позволило расширить круг задач и значительно улучшить качество получаемых фотоснимков.

Анализ характеристик фотоаппаратуры

С 2001 года на борту РС МКС используются ЦФК серийного производства фирмы *Nikon*. ЦФК оснащаются самыми современными объективами типа *Nikkor* с фокусным расстоянием от 14 до 800 *мм*, которые имеют превосходные оптические характеристики и исключительно надежны в сложных условиях съемок. При использовании телеконвертеров фокусное расстояние фотографической системы можно увеличить до 1600 *мм*.

1. Цифровые фотокамеры

Первой моделью, находившаяся в эксплуатации на РС МКС с 2001 года по 2004 год, была профессиональная цифровая однообъективная зеркальная фотокамера *Nikon D1*. Ее особенностью является самая короткая отрабатываемая выдержка, составляющая 1/16000 *с*.

На смену этой камеры в конце 2004 года на борт РС МКС была доставлена фотокамера *Nikon D1x*. В ней было реализовано пространство цветов *sRGB* и *AdobeRGB*, что являлось значительным улучшением характеристик цветопередачи.

В начале 2007 года в бортовой комплект фотооборудования РС МКС была введена очередная модель ЦФК *Nikon D2x* – это однообъективная цифровая зеркальная камера (*DSLR*) со светочувствительной матрицей типа *CMOS* (КМОП).

В 2008 году на смену модели *Nikon D2x* поступила фотокамера *Nikon D3*, которая является первой полнокадровой ЦФК. Она была оборудована новой

системой автофокусировки по 51 точке и позволяла сохранять фотоснимки в форматах *JPEG*, *TIFF* и *NEF* (*Raw*).

Фотокамера поддерживала возможность просмотра изображений на экране в режиме реального времени.

В том же 2008 году на борт РС МКС была доставлена вторая полноформатная фотокамера *Nikon D3x*. Ее отличительными особенностями стали новый *CMOS* (КМОП) датчик, увеличенный диапазон *ISO*, новый блок автофокуса, система обработки изображений, 3-дюймовый ЖКИ монитор, режим *LiveView* с автофокусом.

В 2010 году на борту РС МКС была введена в эксплуатацию фотокамера *Nikon D3s*. Ее основной особенностью являлось доработанная матрица от *Nikon D3* с очень низкими показателями шумов на высоких *ISO*.

Эта фотокамера стала первой репортажной камерой от *Nikon* с возможностью съемки *HD*-видео.

В средине 2014 года на борт РС МКС была доставлена фотокамера *Nikon D 800E*. Она обладала наибольшим разрешением среди малоформатных фотокамер. При этом увеличение разрешения привело к уменьшению скорости съемки. Эта фотокамера стала первой фотокамерой с разъемом *USB 3.0*.

В этом же 2014 году бортовой комплект фотоаппаратуры РС МКС пополнился цифровой зеркальной фотокамерой *Nikon D4*. Это репортажная профессиональная ЦФК со скоростью съемки до 11 кадров/*с*. Она стала первой в мире фотокамерой, поддерживающей карты памяти стандарта *XQD*.

В апреле 2017 года на борт МКС была доставлена фотокамера нового поколения *Nikon D5*. Для этой модели абсолютным рекордом стала максимальная светочувствительность для серийных фотокамер.

Матрица фотокамеры генерирует файлы фотоизображений с максимальным разрешением и позволяет записывать видео сверхвысокой четкости формата *4K*. Система автофокуса нового поколения обеспечивает фокусировку по 153 точкам.

К своему 100-летию фирма «*Nikon*» в сентябре 2017 года выпустила новую модель фотокамеры – *Nikon D850* (рис. 1), в которую вложила все лучшее, что накопилось за последние годы. В средине 2018 года эта фотокамера была доставлена на борт РС МКС.

Рис. 1. Фотокамера *Nikon D850*

Таким образом, в период с 2001 года по 2021 год на борту РС МКС были использованы 10 моделей ЦФК серийного производства фирмы «*Nikon*». Их основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики ЦФК *Nikon*, используемых на борту РС МКС в период 2001–2021 гг.

ЦФК *Nikon*	Размер матрицы, *мм*	Разрешение матрицы, *Mn*	Размер фотоснимка, pixel	Диапазон регулировки чувствительности, *ISO*	Скорость серийной съемки, кадров/*с*	Наличие видео-режима
D1	23,7×15,5	2,6	2000×1312	200–1600	3	–
D1x	23,7×15,5	5,3	3008×1960	125–800	3	–
D2x	23,7×15,5	12,2	4288×2848	50–800	3	–
D3	35,9×24	12,1	4259×2839	200–6400	9	–
D3x	35,9×24	24,5	6048×4032	200–1600	6	–
D3s	35,9×24	12,1	4259×2839	200–12 800 («*Hi-3*» – 102 800)	9	–
D800E	35,9×24	36	7360×4912	50–6400 («*Hi-3*» – 25 600)	6	*HD*
D4	35,9×24	16,2	4928×3280	50–12 800 («*Hi-3*» – 102 800)	11	*HD*
D5	35,9×24	20,8	5568×3712	50–25 600 («*Hi-5*» – 3 280 000)	12	*4K*
D850	35,9×24	45,7	8256×5504	50–25 600 (Expanded *ISO* – 102 400)	9	*4K*

На диаграммах (рис. 2–4) представлены изменения одних из основных характеристик ЦФК за указанный период, которые существенно влияют на качество получаемых фотоснимков. К ним относятся максимальная чувствительность матрицы, максимальное разрешение матрицы и максимальная скорость съемки.

Анализ тенденций роста максимальной чувствительности матриц показал, что относительно плавное увеличение этого параметра в период 2001–2014 гг. сменилось четырехкратным увеличением за относительно короткий трехгодичный период (2014–2017 гг.).

Уровень 100 000 единиц *ISO* уже сейчас покрывает все запросы космонавтов-операторов, выполняющих визуальные наблюдения с использованием длиннофокусной оптики.

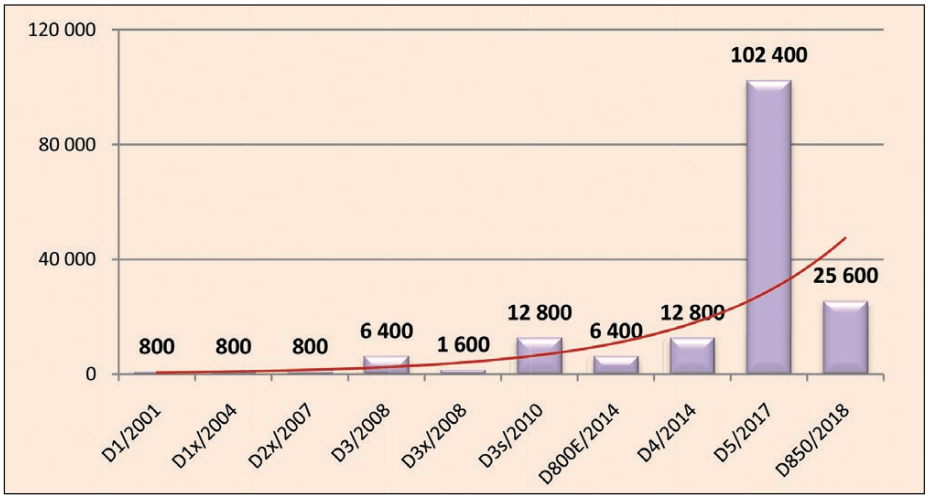

Рис. 2. Изменения максимальной чувствительности матриц бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

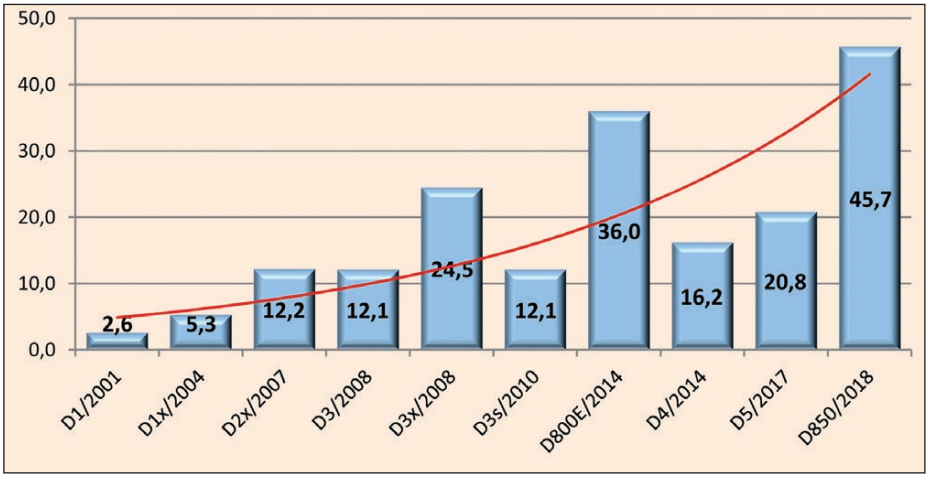

Рис. 3. Изменения максимального разрешения матриц бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

Однако, учитывая тенденцию увеличения главного фокусного расстояния объективов, используемых при выполнении дистанционного зондирования, дальнейший рост этого параметра более чем желателен.

С 2001 года по 2018 год максимальное разрешение матриц росло ступенчато (рис. 3). При этом полный цикл развития (рост – стабилизация) занимал от 4 до 5 лет, а величина максимального разрешения матриц вырастала в 1,5–2 раза. Если данная тенденция сохранится, то к 2024 году будет реализован очередной цикл прироста этого параметра (приблизительно в 2 раза).

С 2001 года по 2018 год изменения максимальной скорости в серии (кадр/*с*) происходило практически линейно (рис. 4). К 2017 году этот параметр вырос более чем в четыре раза. Это позволяет надеяться, что в последующие полтора десятилетия тенденция роста сохранится и следует ожидать появления ЦФК с максимальной скоростью в серии до 24 кадр/*с*.

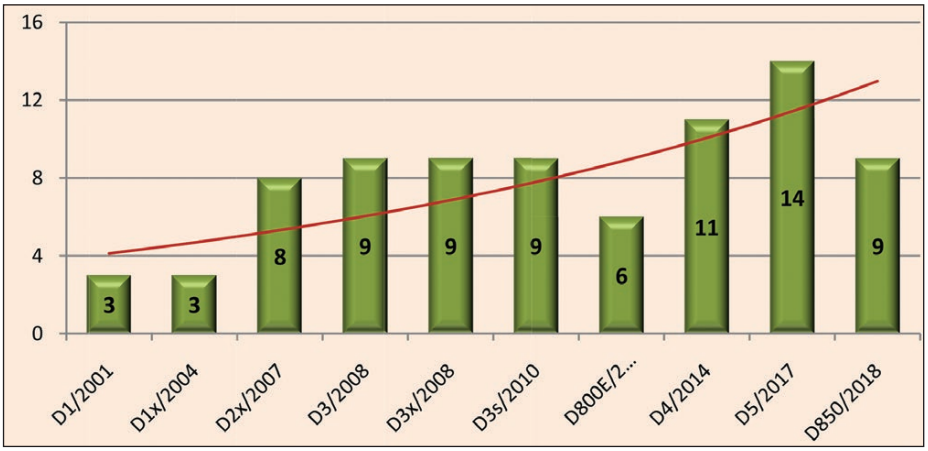

Рис. 4. Изменения максимальной скорости в серии (кадр/*с*) бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

2. Фотообъективы и телеконвертеры

В настоящее время особенностью выполнения визуальных наблюдений наземных объектов экипажами МКС является преимущественное использование длиннофокусной и сверхдлиннофокусной оптики.

Первым длиннофокусным фотообъективом, примененным для фотосъемки наземных объектов, был объектив *Nikon AF-S Nikkor 400 mm f/2.8 D* (рис. 5, а). В «связке» с телеконвертером *Nikon TC-20E* (рис. 6, в) фокусное расстояние фотографической системы увеличивается до 800 *мм*.

С 2008 года на борту РС МКС в эксплуатацию был введен сверхдлиннофокусный объектив с переменным фокусным расстоянием *Sigma DG APO 300-800 mm f/ 5.6 EX HSM 9* (рис. 5, б).

В 2010 году на борт РС МКС был доставлен сверхдлиннофокусный объектив *Nikon AF-S Nikkor 600 mm f/ 4 G ED VR* (рис. 5, в). В «связке» с телеконвертером *Nikon TC-20E* фокусное расстояние фотографической системы увеличивалось до 1200 *мм*.

С 2017 году на борту РС МКС используется сверхлиннофокусный объектив *Nikon AF-S Nikkor 800 мм f/ 5.6 G ED VR* (рис. 5, г). В комплекте с телеконвертером *Nikon TC 800-1,25E* фокусное расстояние фотографической системы составляет 1000 *мм*, при использовании телеконвертера *Nikon TC-20E* фокусное расстояние увеличивается до 1600 *мм*. При этом фокусировка такой системы возможна только в ручном режиме.

а) *AF-S Nikkor 400 mm f/2.8 D*

б) *Sigma DG APO 300-800 mm f/ 5.6 EX HSM 9*

в) *AF-S Nikkor 600 mm f/ 4 G ED VR*

г) AF-S Nikkor 800 mm f/ 5.6 G ED VR

Рис. 5. Объективы из съемочного комплекта РС МКС

Телеконвертеры (рис. 6) используются на борту РС МКС еще со времен «пленочных» фотокамер. Они предназначены для увеличения фокусного расстояния объективов, в «связке» с которыми они работают. Побочным эффектом (недостатком) такой «связки» является падение светосилы. Оно происходит в той же пропорции, что и увеличение фокусного расстояния.

В настоящее время на борту РС МКС для выполнения визуальных наблюдений используются следующие телеконвертеры:

1. *Nikon TC 800-1,25E* (рис. 6, а).
2. *Nikon TC-17E* (рис. 6, б).
3. *Nikon TC-20E* (рис. 6, в).

а) *TC 800-1,25E*

б) *TC-17E*

в) *TC-20E*

Рис. 6. Телеконвертеры *Nikon*

Особенности фотосъемки ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой

При выполнении фотосъемки космонавт должен обеспечить оптимальное экспонирование матрицы ЦФК [1].

Согласно закону Бунзена-Роско, оптимальная фотографическая экспозиция H_{opt} определяется следующей зависимостью:

$$H_{opt} = S_M \times E_M \left(\frac{1}{d^2} \right) \times t, \quad (1)$$

где S_M – эквивалентная светочувствительность матрицы в ед. *ISO*; E_M – освещенность фотоматрицы; d – относительное отверстие объектива; t – выдержка затвора фотоаппарата в секундах.

Если текущая экспозиция H равна оптимальной H_{opt}, то динамический диапазон (ДД) D_R (E_V) матрицы максимален для данных условий фотосъемки и, как следствие, оптимальны разрешающая способность матрицы R_M, яркость, контраст и цветопередача фотоснимка в полутонах (рис. 7) [2, 3].

Величина ДД D_R непосредственно зависит от текущего значения эквивалентной светочувствительности матрицы S_M (рис. 8).

Рис. 7. Оптимально экспонированный фотоснимок ($H = H_{opt}$)

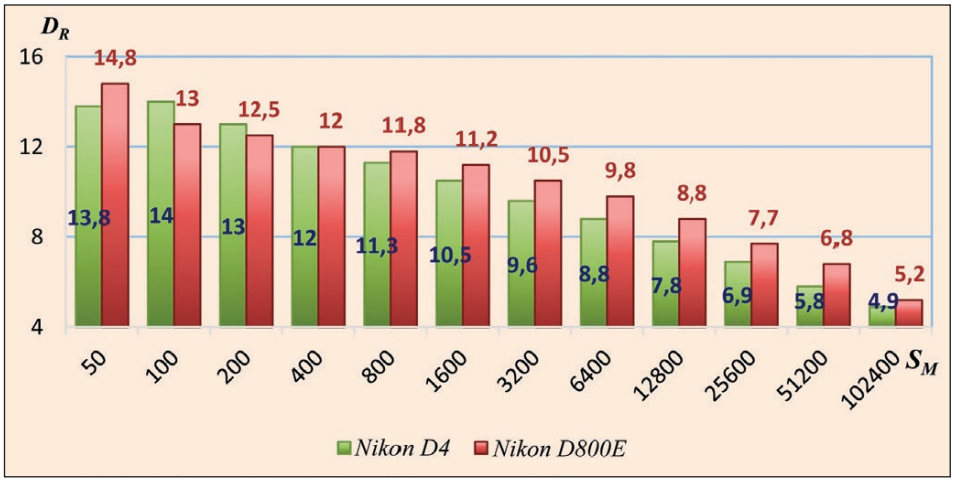

Рис. 8. Зависимость ДД D_R фотоматриц ЦФК *Nikon D4* и *Nikon D800E* от эквивалентной светочувствительности S_M

Помимо этого, от текущего значения эквивалентной светочувствительности матрицы S_M зависит еще один важный параметр – уровень ее собственных шумов N_M (*dB*) (рис. 9). Он непосредственно влияет на разрешающую способность матрицы R_M [4].

Таким образом, из представленных диаграмм (рис. 8 и 9) следует, что немотивированное увеличение параметра S_M неизбежно приводит к уменьшению параметра ДД D_R и увеличению параметра N_M и, как следствие, уменьшению прямо или косвенно связанных с ним базовых характеристик, влияющих на качество конечного изображения – разрешающей способности матрицы R_M, яркости, контраста и цветопередачи фотоснимка в полутонах.

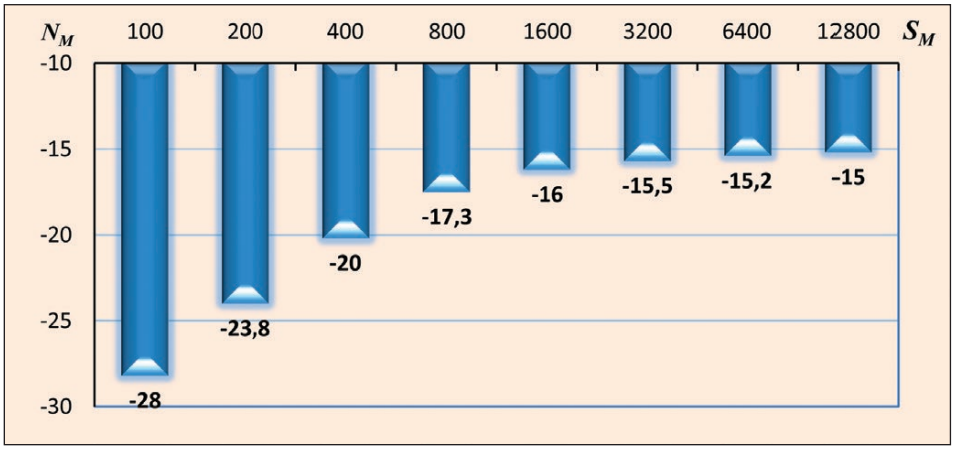

Рис. 9. Зависимость уровня собственных шумов фотоматрицы N_M (*dB*) ЦФК *Nikon D4* от эквивалентной светочувствительности S_M

Как правило, ДД D_R матрицы заведомо меньше (15–20 E_V) ДД объектов снимаемого сюжета, и задача оператора при выборе экспозиционных параметров заключается в обеспечении текущего значения ДД D_R максимально приближенного к паспортным значениям ЦФК. Это позволяет максимально использовать технические возможности ЦФК, что достигается при $H = H_{opt}$.

В случае, если $H < H_{opt}$, то ДД D_R матрицы уменьшается на величину арифметической разницы между H и H_{opt}. В этой ситуации не оптимальными будут яркость фотоснимка в тенях, его контраст и цветопередача (рис. 10).

При избыточной экспозиции $H > H_{opt}$ ситуация меняется зеркально – не оптимальны будут яркость фотоснимка в светах, его цветопередача и разрешающая способность, а уровень шумов выше нормы (рис. 11).

Рис. 10. Фотоснимок с недостаточной экспозицией ($H < H_{opt}$)

Рис. 11. Фотоснимок с избыточной экспозицией ($H > H_{opt}$)

Фотосъемка с борта РС МКС ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой имеет свои особенности [5]:

1. Предельно малый угол поля зрения (3–2°) приводит к усложнению процесса поиска объектов фотосъемки и, соответственно, увеличению времени на выполнение этой процедуры.

2. Увеличение фокусного расстояния объективов требует пропорционального уменьшения выдержки затвора ЦФК (для уменьшения «смаза»).

3. Фотосъемка в безопорной среде требует особых навыков для комфортной и стабильной фиксации ЦФК при поиске и фотосъемке объектов.

4. Ограниченное время нахождения объекта в зоне уверенного наблюдения (не более 30 *с*) требует устойчивых навыков поиска, опознавания и регистрации объектов.

5. Отсутствие устройств компенсации сдвига изображения требует навыков фотосъемки «с проводкой».

6. Неустойчивая работа САФ при больших углах отклонения от надира требует устойчивых навыков фокусировки объективов вручную.

Очевидно, что фотосъемка с использованием сверхдлиннофокусной оптики значительно усложняет получение качественных фотоснимков, что приводит к повышению требований к подготовке космонавтов к выполнению фотосъемки наземных объектов с борта РС МКС.

За период с 2001 года по настоящее время фокусное расстояние фотографической системы выросло с 400 до 1600 *мм*.

Одним из способов уменьшения «смаза» изображения является максимальное уменьшение выдержки t затвора ЦФК.

Существует эмпирическая формула для определения выдержки при фотосъемке неподвижных объектов длиннофокусной оптикой с рук [6]:

$$t = \frac{1}{f}, \tag{2}$$

где t – выдержка затвора фотоаппарата в секундах; f – текущее фокусное расстояние объектива.

Таким образом, для фотографической системы с фокусным расстоянием 1200 *мм* выдержка должна быть не длиннее 1/1200 *с*, а для 1600 *мм* – 1/1600 *с*.

В современных профессиональных ЦФК приоритет выдержки затвора t обеспечивает режим работы системы автоматического экспонирования (САЭ) – S (приоритет скорости затвора камеры – режим «полуавтомат»). Логика функционирования этого режима заключается в том, что оператор устанавливает вручную значение выдержки t, определенное по формуле (2). Вычислитель ЦФК по формуле (1) рассчитывает оптимальное значение относительного отверстия объектива d при текущих значениях эквивалентной светочувствительности S_M (устанавливается вручную) и освещенности фотоматрицы E_M (измеряется экспонометром ЦФК).

Однако на борту МКС космонавты используют другой режим работы САЭ ЦФК – *A* (приоритет диафрагмы – режим «полуавтомат») [7, 8]. В этом случае относительное отверстие объектива *d* задается оператором, а вычислитель ЦФК автоматически подбирает «оптимальную» выдержку затвора *t*, исходя из заданной эквивалентной светочувствительности S_M и освещенности фотоматрицы E_M. В качестве примера на рис. 12 приведен фотоснимок, выполненный в режиме *A*.

Использование этого режима обусловлено тем, что применяемые на борту РС МКС сверхдлиннофокусные объективы *Sigma DG APO 300-800 mm f/5.6 EX HSM 9, AF-S Nikkor 600 mm f/4* и *AF-S Nikkor 800mm f/5.6* предназначены для работы при низких уровнях освещенности снимаемого объекта, что предполагает фотосъемку при полностью открытой диафрагме. В этих объективах все типы аберраций сведены к минимуму для значений относительного отверстия объектива *d* близкого к светосиле.

Недостатком этих настроек является необходимость постоянного контроля текущего значения выдержки затвора *t* и необходимость ее оперативной ручной регулировки изменением эквивалентной светочувствительности S_M ЦФК. В условиях цейтнота, это снижает вероятность получения качественного фотоснимка исследуемого объекта.

Рис. 12. Вулкан Рейнер (США, шт. Калифорния, р-н Сиэтла), МКС-56/57 (С.В. Прокопьев)

Device: Nikon D5, Lens: Sigma 300-800 mm, Focal Length: 360 mm, Aperture: F/8, Shutter Speed: 1/1000s, Exposure Mode: Aperture Priority, ISO Sensitivity: Auto (200)

В 2014 году специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина были предложены настройки бортовых ЦФК для работы со сверхдлиннофокусными объективами [9]. Съемку предлагается вести не в режиме *A* САЭ ЦФК, а в режиме *M*. Космонавт перед фотосъемкой объекта должен установить оптимальные значения выдержки t (определяется по формуле 2) и диафрагмы d (диафрагма полностью открыта), а регулятор эквивалентной светочувствительности матрицы ЦФК перевести в положение *Auto* (*ISO*). Таким образом оптимальное значение экспозиции H_{opt} достигается автоматическим увеличением (или уменьшением) значения S_M (*ISO*) согласно формуле (1) в зависимости от текущих значений съемочных параметров E_M, d и t.

В качестве примера на рис. 13 и 14 приведены фотоснимки, выполненные с данными параметрами.

Достоинствами новых настроек являются:

1. Автоматическая регулировка эквивалентной светочувствительности матрицы ЦФК S_M (*ISO*), которая уменьшает количество бракованных фотоснимков.

2. Автоматизация процесса регулировки эквивалентной светочувствительности матрицы S_M (*ISO*), позволяющая космонавту сократить время на рутинные подготовительные операции и сосредоточиться на процессе поиска и, собственно, фотосъемки наземных объектов.

Рис. 13. Пожар в районе Сан-Диего (США, шт. Калифорния), МКС-63 (И.В. Вагнер)

Device: Nikon D5, Lens: Nikkor VR 800 mm f 5,6; Focal Length: 1600 mm, Aperture: F/11, Shutter Speed: 1/3200s, Exposure Mode: Manual, ISO Auto (1400)

Рис. 14. Вынос р. Мзымта (г. Сочи), МКС-54/55 (А.Н. Шкаплеров)

Device: Nikon D5, Lens: Nikkor VR 800 mm f 5,6; Focal Length: 1600 mm, Aperture: F/11, Shutter Speed: 1/5000s, Exposure Mode: Manual, ISO Auto (2500)

К недостаткам новых настроек следует отнести следующие:

1. Настройки позволяют получать качественные фотоснимки лишь в ситуациях, когда интегральный коэффициент отражения снимаемого сюжета близок к 18 % (фотоприемники современных экспонометров откалиброваны для выполнения корректных измерений освещенности снимаемого объекта с эталонной «средне серой» поверхности с коэффициентом отражения 18 %).

2. При низкой освещенности снимаемого сюжета вычислитель ЦФК увеличивает эквивалентную светочувствительность матрицы S_M *(ISO)* до значений, приводящих к большим уровням собственных шумов и, как следствие, к полной деградации получаемого изображения. В этих условиях полноценный анализ фотоснимка становится невозможным.

Выводы

1. Анализ характеристик ЦФК с набором сменных объективов и телеконвертеров, используемых на борту РС МКС в период с 2001 года по 2021 год, показал, что их характеристики значительно улучшились:

– максимальное значение светочувствительности матрицы ЦФК (при приемлемом уровне собственных шумов матрицы) увеличилось в 128 раз;

– максимальное разрешение матрицы (при приемлемом уровне собственных шумов матрицы) увеличилось в 17,7 раза;

– максимальное значение скорости съемки в серии (кадр/*с*) увеличилось в 4,7 раза.

Улучшение характеристик ЦФК позволило значительно повысить качество фотоснимков, полученных при выполнении визуальных наблюдений поверхности Земли с использованием сверхдлиннофокусной оптики.

2. Фотосъемка ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой с борта РС МКС накладывает свои особенности:

– предельно малый угол поля зрения (3–2°) приводит к усложнению процесса поиска объектов фотосъемки;

– увеличение фокусного расстояния объективов требует пропорционального уменьшения выдержки затвора ЦФК;

– фотосъемка в безопорной среде требует особых навыков для комфортной и стабильной фиксации ЦФК при поиске и фотосъемке объектов;

– ограниченное время нахождения объекта в зоне уверенного наблюдения требует устойчивых навыков поиска, опознавания и регистрации объектов;

– отсутствие устройств компенсации сдвига изображения требует навыков фотосъемки «с проводкой»;

– неустойчивая работа САФ при больших углах отклонения от надира требует устойчивых навыков ручной фокусировки объективов.

3. Постоянное совершенствование фотоаппаратуры и особенности фотосъемки наземных объектов с борта РС МКС с использованием сверхдлиннофокусной оптики накладывают соответствующие требования к уровню подготовленности космонавтов, что, в свою очередь, требует постоянного и своевременного обновления методической и учебной документации для их подготовки.

4. Своевременно разработанные специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина методики организации и проведения фотосъемки, учебные пособия, а также предложения по корректировке бортовой документации позволяют успешно решать задачи визуальных наблюдений наземных объектов с борта РС МКС.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических выражений. – М.: Недра, 1980. – 253 с.

[2] Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Научный мир, 2003. – 186 с.

[3] Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.

[4] Веселов Ю.Г., Глушко В.А., Молчанов А.С. Математическая модель аэрофотосистемы, построенной на основе фоточувствительных приборов с переносом заряда // Наука и образование. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – Вып. 10.

[5] Особенности фотосъемки земной поверхности длиннофокусными объективами. Методические подходы / Солодов Н.Р., Степанов Э.Н., Прокопенко А.Н., Ядренцев А.Н. // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2015.

[6] Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И. Анализ факторов, влияющих на эффективность оптико-электронных комплексов получения видовой информации // Сборник статей XXV Всероссийской конф. «Прием, передача, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах» (Сочи, 6–10 октября 2014 г.). – М.: РПА «АПР», 2014.

[7] Орешкин Г.Д., Ядренцев А.Н., Севериненко А.В. Результаты выполнения КЭ «Экон-М» космонавтом Мисуркиным А.А. в составе экипажа МКС-53/54 // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 3(28). – С. 34–44.
[8] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-60/61 при выполнении программы космического полета / Скворцов А.А., Орешкин Г.Д., Кондрат А.И., Медведев А.А., Сабуров П.А. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 5–22.
[9] Анализ деятельности космонавтов при выполнении фотосъемки земной поверхности в рамках КЭ «Экон-М» / Солодов Н.Р., Прокопенко А.Н., Орешкин Г.Д., Ядренцев А.Н., Коротких А.Н. // Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2017.

REFERENCES

[1] Zhivichin A.N., Sokolov V.S. Interpretation of Photographic Expressions. – Moscow: “Nedra” Publishing House, 1980. – p. 253.
[2] Lurie I.K., Kosikov A.G. Theory and Practice of Digital Image Processing / Remote Sensing and Geographic Information Systems. – Moscow: “Nauchny Mir” Publishing House, 2003. – p. 186.
[3] Ris.U.G. Remote Sensing Basics. – Moscow: “Tekhnosfera” Publishing House, 2006. – p. 336.
[4] Veselov Yu.G., Glushko V.A., Molchanov A.S. Mathematical Model of an Aerial Photosystem Built Upon the Photosensitive Charge-Transfer Devices // Science and Education. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2013. – Issue. 10.
[5] Features of Photographing the Eearth’s Surface with Long-Focal-Length Cameras. Methodological Approaches / Solodov N.R., Stepanov E.N., Prokopenko A.N., Yadrentsev A.N. // Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”. – Star City, 2015.
[6] Veselov Yu.G., Ostrovsky A.S., Selvesyuk N.I. Analysis of Factors Affecting the Efficiency of Optoelectronic Systems for Obtaining Imagery Information // Proceedings of the XXV All-Russian Conference. Reception, Transmission, Processing and Display of Information About Fast Processes (Sochi, October 6–10, 2014). – Moscow: RPA “APR”, 2014.
[7] Oreshkin G.D., Yadrentsev A.N., Severinenko A.V. Results of Implementing the “Ekon-M” Space Experiment Program by A.A. Misurkin, a Member of the ISS Crew for Expedition 53/54 // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2018. – No 3(28). – pp. 34–44.
[8] Main Results of Training and Activity of the ISS-60/61 Crew Members When Carrying Out the Mission Plan / Skvortsov A.A., Oreshkin G.D., Kondrat A.I., Medvedev A.A., Saburov P.A. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 2(35). – pp. 5–22.
[9] Analysis of the Cosmonauts’ Activities When Photographing the Earth’s Surface Within the Framework of the SE “Ekon-M” / Solodov N.R., Prokopenko A.N., Oreshkin G.D., Yadrentsev A.N., Korotkikh A.N. // Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”. – Star City, 2017.

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.78 DOI 10.34131/MSF.21.1.123-127

30 ЛЕТ НА СЛУЖБЕ КОСМОНАВТИКЕ

И.В. Бармин

Член-корр. РАН, докт. техн. наук, профессор И.В. Бармин
(президент Российской академии космонавтики)

Статья посвящена 30-летию научной и общественной деятельности Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского. Обсуждаются дискуссионные вопросы авторства идеи и инициативы создания Академии. Напоминаются основные этапы работы РАКЦ. Перечисляются президенты и почетные президенты РАКЦ. Описывается состав РАКЦ. Приводятся основные достижения Академии.
Ключевые слова: космонавтика, академия, РАКЦ, руководство, достижения.

30 Years for the Benefit of Cosmonautics. I.V. Barmin

The paper is devoted to the 30th anniversary of scientific and public activity of K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics. Debatable questions regarding an initiator of establishing the Academy are discussed. The main stages of TRAC's activity are mentioned. The presidents and honorary presidents of TRAC are listed. The stuff members of TRAC are presented. The main achievements of the Academy are described.
Keywords: cosmonautics, Academy, TRAC, executive board, achievements.

Есть версия, что идея создания отраслевой ракетно-космической академии принадлежит С.П. Королеву, которую он высказал еще в 1960-х годах. После первых громких космических побед он добился присуждения ряду своих конструкторов ученых степеней кандидатов и докторов наук без защиты диссертаций. Кто-то из них задал академику АН СССР С.П. Королеву вопрос: «А кто-то из разработчиков может ли рассчитывать на звание академика?». Сергей Павлович обратился с этим предложением к президенту АН СССР М.В. Келдышу, но получил вежливый отказ: «Пока рано. Можно проходить конкурс в установленном порядке в АН СССР». Тогда Королев сказал: «Надо подумать о создании отраслевой ракетно-космической академии» [1].

Прошла четверть века. Космонавтика набирала силу и опыт. И вот в 1990 году на заседании Оргкомитета Научных чтений К.Э. Циолковского с идеей создать общественную научную организацию по космонавтике выступил Ф.П. Космолинский [2].

Член Оргкомитета Чтений К.Э. Циолковского В.И. Флоров вспоминал, что на XXV Чтениях в сентябре 1990 года после пленарного заседания в кулуарах Ф.П. Космолинский, В.П. Казневский и И.А. Меркулов обсуждали какую-то проблему с американским астронавтом Б. Олдрином и его сыном. Присутствовавший при этом В.И. Флоров слышал, как на вопрос, на какой адрес можно написать американцам, последовал ответ – на адрес Национальной академии астронавтики. Вероятно, считает Флоров, это вселило в Космолинского уверенность в правильность его идеи, и он на заключительном пленарном заседании выступил с предложением о создании Академии космонавтики в стране, что и одобрили участники Чтений, но среди членов Оргкомитета Чтений мнения разделились. Большинство идею поддержали, однако И.А. Меркулов и В.Н. Сокольский выступили против и предложили создать Общество Циолковского. Л.В. Лесков вообще эту идею не одобрил [1].

Тем не менее, учредительное собрание по созданию Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского состоялось 28 марта 1991 года в малом зале Московского планетария. Присутствовали 23 человека. Эта дата и является днем создания Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского.

В учреждении Академии активное участие приняли А.Д. Урсул, Ф.П. Космолинский, Б.И. Романенко, А.Н. Мельников, Е.И. Кузнец, В.Б. Малкин, В.П. Казневский, А.М. Воробьев, А.М. Никулин, В.В. Балашов, Б.Н. Кантемиров и др. Первым президентом Академии космонавтики был избран академик Молдавской АН СССР Аркадий Дмитриевич Урсул. Под его руководством была проведена большая организационная работа по учреждению и регистрации Академии, сформулированы основные направления ее деятельности, структура и состав тематических отделений. А.Д. Урсул известен своими философскими работами по информатизации, ноосфере, космологии, проблемам внеземной житии и многим другим. Полный список его работ тогда составлял более 1000 наименований и включал десяток монографий.

Изначально Академия космонавтики создавалась как, преимущественно, гуманитарная с включением некоторых естественно-научных направлений (экология, экзобиология, медико-биологические проблемы пребывания человека в космическом пространстве), и А.Д. Урсул, как философ, вполне естественным образом руководил ею. Однако численно членов Академии было мало. Известный специалист в области ракетостроения и проектирования космических систем И.А. Меркулов, сподвижник К.Э. Циолковского, скончался накануне учредительного собрания и был избран в состав Академии посмертно. По разным причинам отсутствовали приглашенные на это первое заседание учредителей космонавты И.П. Волк, В.В. Горбатко и В.И. Севастьянов. В итоге на собрании оказался 21 человек, которые и стали учредителями и одновременно первыми членами новой Академии. Это были действительные члены, а отсутствовавшие космонавты заочно были избраны почетными академиками нашей организации. Таким образом, первых членов Академии (по списку) было 25 человек.

Естественно, численность была очень мала для серьезной Академии. Поэтому было принято решение провести еще одна заседание, которое фактически стало собранием по приему новых членов. Оно состоялось 13 сентября 1991 года. Затем 29 ноября 1991 года было проведено еще одно, третье по счету, общее собрание Академии. В результате в новую организацию вошли 296 специалистов космической отрасли и смежных областей. Из них почетных академиков было 69, действительных членов – 11, членкоров – 105 и иностранных членов – 11. Организация приобрела достойный статус, состав и авторитет. Постепенно росла известность Академии. Однако прием новых членов не только увеличил численность Академии, но и изменил ее идеологию, так как в новом составе преобладали в основном работники промышленных отраслей и ученые технических специальностей. Они неизбежно повлияли на изменение деятельности организации в сторону все более технической ориентации. В конце концов, это привело к коллизии между гуманитарным и техническим направлениями, в результате которой А.Д. Урсул не был переизбран на новый срок. Вместо него в октябре 1997 года Академию возглавил крупнейший ученый и конструктор ракетно-космической техники, академик РАН Владимир Федорович Уткин, который внес много нового в деятельность Академии, включая создание научных центров при крупных проектных и научных организациях, добился присвоения наименования академии «Российская», что является признанием достижений Академии на правительственном уровне. И направление деятельности Академии серьезно изменилось.

В 2000–2005 гг. РАКЦ возглавлял заслуженный деятель науки РФ, д.т.н. Владимир Петрович Сенкевич, под руководством которого продолжилось системное организационное развитие РАКЦ, рост численности ее состава. Были созданы новые отделения и центры, в том числе за рубежом, расширены тематические направления. В 2005–2011 гг. Академию возглавлял академик РАН, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ Анатолий Сазонович Коротеев. С ноября 2011 года Академию возглавляет член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ Игорь Владимирович Бармин. Почетными президентами Академии в разные годы были: Владимир Павлович Бармин, Юрий Алексеевич Яшин, Аркадий Дмитриевич Урсул, Юрий Николаевич Коптев [3].

Численность Академии в 2020 году составляла 1939 членов. Действительных членов (академиков) – 875, членов-корреспондентов – 540, почетных членов – 356 (из них иностранные – 42), членов академии – 168.

Сегодня Академия представляет собой полноценную научную организацию, способную самостоятельно рассматривать важнейшие научно-технические проблемы дальнейшего освоения космоса и готовить рекомендации и предложения. Членами Академии работы проводились, в том числе, в рамках Федеральной космической программы в развитие, восполнения и поддержания орбитальной группировки космических аппаратов в интере-

сах социально-экономической сферы, науки и безопасности страны (связь, телевещание, ретрансляция, дистанционное зондирование Земли, гидрометеорология, экологический мониторинг, контроль чрезвычайных ситуаций, фундаментальные космические исследования) и в обеспечение создания изделий ракетно-космической техники с характеристиками мирового уровня.

Члены Академии приняли активное участие в работе практически всех международных конференций, конгрессов и симпозиумов космической тематики, в которых принимали участие российские ученые и специалисты, в том числе академических чтениях и других мероприятиях, посвященных памяти выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. Проводилась совместная работа членов Академии с Белорусским государственным университетом в рамках Программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ»). Продолжилось сотрудничество с китайскими коллегами. Решением Бюро Президиума Академии ряд сотрудников Китайской академии космических технологий (КАКТ – бывшая 5-я Академия) избраны почетными членами нашей Академии.

Членами Академии рассматривались вопросы организации и осуществления мониторинга окружающей среды с помощью космических средств ДЗЗ, повышения вклада космических систем в улучшение мониторинга изменения климата Земли. Были даны предложения по мерам, которые необходимо предпринимать, в том числе Комитету ООН по космосу, в обеспечение более широкого вклада космических систем ДЗЗ и формируемой глобальной системы наблюдения Земли. В 2004 году был подготовлен итоговый труд всей Академии – аналитический доклад «Состояние и перспективы космической деятельности России до 2030 г.» и представлен руководству Роскосмоса, РАН, Минобороны и Космических войск. В 2006 году под научной редакцией А.С. Коротеева издана монография «Пилотируемая экспедиция на Марс» [5]. При поддержке ГК «Роскосмос» в 2019 году завершено издание энциклопедии «Развитие отечественной ракетно-космической науки и техники» в 6 томах. В издании энциклопедии приняли участие более 200 авторов-членов Академии [6].

Члены РАКЦ активно участвовали в работах по правовому обеспечению космической деятельности России и в мониторинге реализации государственной программы «Космическая деятельность России». Разработаны предложения по совершенствованию и развитию нормативно-правовой базы для формирования системы управления рисками при реализации космических проектов и программ. Проводились исследования проблем международно-правового обеспечения в разрабатываемых международных проектах и программах. В интересах Российской Федерации готовились материалы национального доклада по космической деятельности для Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях, доклады для

юридического и научно-технического подкомитетов Комитета ООН. Выделяется работа «Кельнский комментарий по международному праву», подготовленная в сотрудничестве с институтом космического права Кельнского университета и Германским аэрокосмическим центром [4].

Мы стремимся быть живым, деятельным организмом и, имея огромный потенциал и опыт, будем делать последовательные шаги на пути к нашим целям.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кантемиров Б.Н. Рождение Академии: очерк истории создания Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. – 2001. – № 1. – С. 10–15.
[2] Никулин А.М. Пять лет Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 1996. – № 3. – С. 67–68.
[3] Тюкалов Ю. Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского – 25 лет // Авиапанорама. – 2016. – № 2. – С. 6–8.
[4] Кельнский комментарий к космическому праву. Договор по космосу. – BWV, Berliner Wissenschafts-Verlag, 2017.
[5] Коротеев А.С. Пилотируемая экспедиция на Марс // Российская академия космонавтики им. К.Э Циолковского, 2006 г.
[6] История развития отечественной пилотируемой космонавтики / Под научной редакцией члена-корреспондента РАН, президента Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского Бармина И.В. – ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2014–2019 гг.

REFERENCES

[1] Kantemirov B.N. The “birth” of the Academy: the story behind the creation of K.E. Tsiolkovsky Academy of Cosmonautics // Fundamental and Applied Problems of Cosmonautics. – 2001. – No 1. – pp. 10–15.
[2] Nikulin A.M. The 5th anniversary of K E. Tsiolkovsky Academy of Cosmonautics // Aerospace and Environmental Medicine. – 1996. – No 3. – pp. 67–68.
[3] Tyukalov Yu. The 25th anniversary of K.E. Tsiolkovsky Academy of Cosmonautics // Aviapanorama. – 2016. – No 2. – pp. 6–8.
[4] Cologne Commentary on Space Law. Outer Space Treaty. – BWV, Berliner Wissenschafts-Verlag, 2017.
[5] Koroteev A.S. Manned mission to Mars // K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics Publ., 2006.
[6] History of Development of Domestic Manned Space Exploration / Under the editorship of RAS Academician, President of K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics Barmin I.V. – “Stolishnaya Entsiklopedia” Publishing House, 2014–2019.

УДК 061.2:629.78 DOI 10.34131/MSF.21.1.128-147

АССОЦИАЦИЯ УЧАСТНИКОВ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ: ИСТОРИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ (*Часть 1*)

Ю.М. Батурин, Л.В. Иванова, С.В. Кричевский

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ, член-корр. РАН, докт. юридических наук, профессор, г.н.с., член Ассоциации участников космических полетов Ю.М. Батурин
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», ИИЕТ имени С.И. Вавилова РАН)
Канд. соц. наук, н.с. Л.В. Иванова (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
Докт. филос. наук, профессор, г.н.с., космонавт-испытатель С.В. Кричевский (ИИЕТ имени С.И. Вавилова РАН)

Статья посвящена созданию и развитию Международной Ассоциации участников космических полетов (Association of Space Explorers) при активном участии космонавтов СССР и России. Ассоциация – уникальное и влиятельное космическое сообщество для обмена опытом и сотрудничества, объединяет 426 человек, побывавших в космосе, в ней представлены 38 стран. Исследован период около полувека (1970–2020 гг.): ~10-летний исторический фон, на котором создавалась ассоциация, ~5 лет ее предыстории и ~35 лет истории. Представлены миссия, общая структура, символика, систематизированы основные события и достижения Ассоциации как актора и объекта истории мировой и отечественной пилотируемой космонавтики в научно-техническом, политическом, социокультурном и социологическом аспектах. Сделаны основные выводы о проблемах развития Ассоциации.
Ключевые слова: Ассоциация, история, космический полет, космонавт, международная, миссия, пилотируемая космонавтика, сообщество, сотрудничество, участник.

Association of Space Flight Participants: History and Development Issues (*Part 1*). Yu.M. Baturin, L.V. Ivanova, S.V. Krichevsky

The paper is devoted to the establishment and development of the International Association of Space Explorers with the active involvement of the Soviet and Russian cosmonauts. The Association is a unique and influential space community for cooperation and experience exchange; it unites 426 people who have been in space and represents 38 countries of the world. The paper examines a period of about half a century (1970–2020): a 10-year historical background of the establishment of the Association, about 5 years of its pre-history and about 35 years of its history. It also presents the Association's activity area, general structure and symbols, systematizes the main events and achievements of this organization as an actor and history object of world and domestic manned astronautics in scientific, technical, political, socio-cultural and sociological aspects, summarizes the main conclusions about development problems.
Keywords: Association, history, space flight, cosmonaut, international, activity area, manned cosmonautics, community, cooperation, participant.

Ассоциация участников космических полетов (АУКП) – Association of Space Explorers (ASE) – независимая международная, некоммерческая профессиональная и образовательная организация, объединяющая космонавтов, астронавтов всего мирового сообщества, совершивших космические полеты [1].

Публикуются материалы и результаты исследований 2018–2020 гг., посвященных истории международной АУКП (ASE) – уникального и влиятельного космического сообщества, элитарной части всемирного сообщества космонавтов, обладающего колоссальными знаниями, опытом и авторитетом в профессиональной среде и социуме. Использована информация с сайта международной АУКП (ASE) [1], ряда научных и других источников.

Статья стала продолжением работ и публикаций авторов о мировой и отечественной пилотируемой космонавтике, о сообществе космонавтов и других космических сообществах в 2005–2019 гг. [2–5] и др.

АУКП (ASE) рассматривается как актор и объект истории мировой и отечественной космонавтики в научно-техническом, политическом, социокультурном и социологическом аспектах. Предмет исследования – процесс становления и развития АУКП (ASE). В такой постановке данная статья является одной из первых публикаций в России и мире.

Пилотируемая космонавтика в тисках «холодной войны»

На рубеже 1970-х и 1980-х годов международное сотрудничество в области пилотируемых полетов оказалось зажатым, словно в политических тисках, между Востоком и Западом. Прав был искушенный политик Генри Киссинджер, еще накануне знаменитого экспериментального полета «Аполлон»–«Союз» указавший руководителю НАСА Дж. Лоу (George M. Low) на необходимость избегать идеалистического заблуждения о том, что если космические специалисты СССР и США могут достичь соглашения о сотрудничестве в космосе, то точно так же им будет по силам решить политические проблемы, существующие между странами на Земле [3].

Советско-американские геополитические противоречия обострились. СССР проявлял «революционную солидарность» с молодыми освободившимися государствами и приобрел ряд опорных точек для захода своих военных кораблей (Сомали, 1975; Эфиопия, 1977; в 1977 году в Южный Йемен были переведены советские военные объекты из Сомали). Потенциально это угрожало путям транспортировки нефти с Ближнего Востока в США. Пост помощника президента США по национальной безопасности с 1977 года занимал Збигнев Бжезинский, оказывавший существенное влияние на формирование американской внешней политики. Его взгляды того периода отражены в его книге «План игры. Геостратегическая структура ведения борьбы между США и СССР» [6]. Монография открывалась такими словами: «В основу книги положен следующий тезис: американо-советское состязание – не какое-то временное отклоне-

ние, а исторически сложившееся и в будущем длительное противоборство. Это соперничество носит глобальный характер». Эффектно выполненная программа ЭПАС, получившая в СМИ название «рукопожатие в космосе», несмотря на свою отнюдь не символическую задачу, а вполне прагматичную цель – спасение в будущем экипажей аварийных кораблей в космосе, не получила продолжения. Правда, инерция сотрудничества еще какое-то время проявляла себя. Прорабатывался проект «Шаттл–Салют». Но в 1978 году администрация Джимми Картера задалась вопросом, насколько США заинтересованы в партнерстве с Советским Союзом, который они обвиняли в нарушении прав человека, и проект «Шаттл–Салют» был отставлен. Еще одна слабая попытка была предпринята, когда президентом стал Рональд Рейган. В докладе «переходной команды», в задачу которой входило помочь избранному президенту войти в курс проблем космической политики США, подготовленном 19 декабря 1980 года, говорилось: «Некоторые аспекты гражданской космической программы могут служить инструментами развития и достижения целей внешней политики США. Космическая программа может внести вклад не только в то, как наша страна выглядит в глазах остального мира, но космическое сотрудничество такое, как американо-советский проект «Аполлон–Союз» и выведение полезной нагрузки Европейского космического агентства на космическом «Шаттле» оказывается важным для других стран» [7]. Однако, как реакция на польские события 1981 года, космическое сотрудничество почти прекратилось. В 1982 году оно вновь возобновилось, но его ограничили уровнем ученых, без какого-либо формального вовлечения правительственных организаций или государственного финансирования. Впрочем, этот уровень уже оказывался решающим.

Даст ли росток зернышко сотрудничества?

Что ни говори, а семена сотрудничества в космосе двух сверхдержав были посеяны. Еще во время подготовки полета «Аполлон»–«Союз» побывавший на Луне в полете на «Аполлоне-14» астронавт Эдгар Митчелл (Edgar Dean Mitchell) в письме президенту Ричарду Никсону предложил создать комитет из закончивших летную деятельность астронавтов и космонавтов для выполнения функций послов доброй воли, проводящих среди людей идеи мира и единства человечества [8]. Никсон заинтересовался этим планом, поскольку он отвечал его идеям, высказанным еще в инаугурационной речи, обращенной стране и миру: «Мы оказались богатыми материально, но обеднели духом; с поразительной точностью достигли Луны, но опустились до грубых раздоров на Земле. Мы втянуты в войну, желая мира. Мы расколоты разногласиями, желая единства… Мы видим требующие решения задачи и ждем, когда за них возьмутся чьи-нибудь руки» [9]. И вот руки астронавтов взялись за решение задачи преодоления раздоров и достижения единства. Это понравилось президенту, но политическое решение в отношении предложения Митчелла так и не было принято. Но высказанная мысль Митчелла

нашла глубокий отклик у другого «лунного» астронавта Расселла Швейкарта (Russell Schweickart), исходившего из простой идеи: для космонавтов и астронавтов, видевших Землю из космоса, она представлялась чересчур хрупкой, уязвимой для войн. Швейкарт был убежден, что космонавты и астронавты, объединившись, должны говорить об этом политикам и тем самым внести свой вклад в очищение политической атмосферы, в нормализации отношений, в первую очередь, между США и СССР. Его замысел оказался подхваченным институтом Эсален (Esalen) в Биг-Суре, Калифорния (США), одним из учредителей которого был психолог, выпускник Стэнфорда, изучавший резервы человеческого организма, Майкл Мёрфи (Michael Murphy). Институт Эсален занимался духовными практиками и выступал за меры укрепления доверия, а также организовал советско-американскую программу гражданского обмена, своего рода, народной дипломатии [10]. Исполнительным директором программы оказался знакомый Швейкарта – Джеймс Хикман (James L. Hickman), которого Швейкарт посвятил в свои замыслы. Идеи Швейкарта нашли отклик у Хикмана, и он специально для их осуществления сформировал в советско-американской программе обмена подпрограмму взаимных визитов астронавтов и космонавтов. Возглавить ее он попросил Мёрфи, своего друга и соседа, участки их домов граничили друг с другом.

Весной 1982 года Швейкарт и Хикман провели ряд неформальных разговоров с отставными американскими астронавтами, съездили в Россию и имели встречу в Академии наук СССР, а кроме того, выяснили мнение официальных лиц в правительственных ведомствах СССР и США. Из этих встреч Швейкарт сделал ряд выводов, и одним из них была мысль о необходимости участия в проекте ученых, имея в виду, что академическая дипломатия часто достигает результатов там, где пасует дипломатия правительственная.

И в июле 1982 года Швейкарт, Мёрфи и Хикман отправились в Москву. Тем временем НАСА запретило всем действующим астронавтам участвовать в визитах и ясно дало понять, что отставные астронавты представляют только себя как частные лица, а не НАСА или его Отряд астронавтов. Швейкарт поехал в официальном качестве, как председатель Энергетической комиссии штата Калифорния читать лекции в Академии наук. Воспользовавшись ситуацией, он рассказал там о своей идее неполитического форума летавших астронавтов и космонавтов. Неофициально он встретился с космонавтами А.А. Леоновым, В.И. Севастьяновым и Г.М. Гречко и обсудил возможность организации такой площадки для встреч астронавтов и космонавтов. Было решено, что предварительно необходимо провести ознакомительные встречи. Чтобы отвести обвинения в том, что встречи будут использованы советскими космонавтами против США, Швейкарт сделал заявление, что американская сторона выражает только свои личные взгляды, а не взгляды американского правительства или других не участвующих во встрече астронавтов, и представляют только себя.

А. Леонов и Р. Швейкарт (в первом ряду)
на XXIX Конгрессе ASE в Вене (Австрия), 2016 г.

А.А. Леонов всего за полгода до описываемой встречи покинул должность командира Отряда космонавтов в связи с назначением первым заместителем начальника Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина по летной и космической подготовке (напомним, что ЦПК был воинской частью, и А.А. Леонов находился на военной службе).

Г.М. Гречко и В.И. Севастьянов были действующими космонавтами Отряда космонавтов НПО «Энергия». (Вместе с тем, В.И. Севастьянов был в Советском Союзе тоже очень популярной телевизионной персоной – ведущим интереснейшей программы «Человек. Земля. Вселенная»). Понятно, что они не в силах были самостоятельно принять решение по столь важному вопросу, затрагивающему отношения между СССР и США и относящемуся к компетенции Политбюро ЦК КПСС. Получение согласия Политбюро представлялось практически нереальным. Однако события стали развиваться неожиданным образом.

Предложения Швейкарта были доложены президенту Академии наук СССР А.П. Александрову, который попросил директора Института США и Канады АН СССР (ИСКАН) академика Г.А. Арбатова, сторонника расширения контактов с США и (!) члена ЦК КПСС, «проработать вопрос». Для Арбатова это не было трудным делом, потому что он уже сотрудничал

с Институтом Эсален по линии, входившей тогда в политическую моду публичной дипломатии как «улицы с двусторонним движением». Он написал обоснованную записку, и вскоре Политбюро дало согласие. «Секрет чуда» прост: слишком мало в разгар «холодной войны» было связей между Востоком и Западом, и немногочисленные персонажи ходили по одним и тем же тропам. Г.А. Арбатов поручил курировать дальнейшие шаги космонавтов ученому секретарю ИСКАН, только что защитившему докторскую диссертацию и будущему академику А.А. Кокошину.

А. Елисеев, 2007 г.

В. Кубасов, 2005 г.

Однако следующая встреча не состоялась из-за кончины Л.И. Брежнева. Лишь 3–8 апреля 1983 года астронавты и космонавты Р. Швейкарт, М. Коллинз, Э. Митчелл, и А.А. Леонов, В.И. Севастьянов, А.С. Елисеев, Г.М. Гречко, В.Н. Кубасов вновь собрались, теперь в Пущино, подмосковном наукограде, уже чтобы обсудить возможность постоянного диалога между летавшими в космос астронавтами и космонавтами с перспективой разработать концепцию Ассоциации и подготовить первый ежегодный конгресс. Во встрече принимал участие Хикман.

«Действовать, не подвергая критике политику»

Между тем, космическая кооперация уже начала смещаться, сначала у СССР, а затем и у США, в направлении других стран. В июле и сентябре 1976 года в Москве представители Болгарии, Венгрии, ГДР, Кубы, Монголии, Польши, Румынии и Чехословакии обсудили и одобрили новую инициативу СССР, касающуюся развития программы «Интеркосмос» и заключающуюся в участии граждан социалистических стран в пилотируемых полетах. В ходе консультации было согласовано, что граждане всех социалистических стран-участниц программы «Интеркосмос» примут участие в полетах на советских космических кораблях и орбитальных станциях совместно с советскими космонавтами в период с 1978 года по 1983 год. (В 1979 году к этим странам присоединился Вьетнам).

Европейские космонавты, выполнившие полеты по программе «Интеркосмос». Слева направо: В. Ремек (ЧССР), М. Гермашевский (ПНР), А. Александров (БНР), Б. Фаркаш (ВНР), Г. Иванов (БНР) на Конгрессе ASE, 2007 г.

Владимир Ремек (Vladimir Remek) из Чехословакии в марте 1978 года стал первым после русских европейцем, побывавшим в космосе. Следом полетел поляк Мирослав Гермашевский (Mirosław Hermaszewski) и немец из Германской Демократической Республики Зигмунд Йен (Sigmund Jänn). Но СССР отправлял в космос не только представителей социалистических стран. 24 июня 1982 года на орбиту отправился и первый западноевропеец Жан-Лу Кретьен (Jean-Loup Chretien), чей полет стал апогеем заложенной еще президентом Шарлем де Голлем самостоятельной политики, без примыкания к США или СССР.

США не сразу задумались о привлечении к полетам на «шаттлах» своих западных союзников. Наоборот, они постоянно ужесточали экспортный контроль из-за опасений, что космическое сотрудничество с дружественными европейскими странами может, в конце концов, через их сотрудничество с СССР привести к утечке секретных технологий.

Провозглашенная Президентом Рейганом программа Стратегической оборонной инициативы (получившая в обиходе название «Звездных войн») в 1983 году усилила напряженность «холодной войны».

М. Гермашевский (Польша),
Ж.-Л. Кретьен (Франция),
Д. Прунариу (Румыния) на Конгрессе ASE
в Тулузе (Франция), 2017 г.

З. Йен (Германия),
Звездный городок, 2005 г.

Заметим, что в этот период исходящие от граждан призывы к сотрудничеству, к совместным усилиям не только в СССР, но и даже в большей степени в США рассматривались чуть ли не как «вражеские провокации» и даже как прямые атаки на политический курс государства. Надо было обладать большой гражданской смелостью, чтобы открыто отстаивать свою позицию, да еще и искать союзников, тем более в стане потенциального противника.

30 апреля 1983 года Швейкарт организовал в Хьюстоне неформальное обсуждение идеи постоянно действующей площадки для космонавтов и астронавтов. Многие в Отряде астронавтов НАСА сочли это предательством интересов национальной безопасности США. Как выяснил Швейкарт, опрашивая ветеранов программы «Аполлон», такие настроения отнюдь не были редкостью, а это значило, что ему будет трудно достичь даже той цели, которую ранее в письме к советскому космонавту Елисееву, руководителю Центра управления полетами, аккуратно сформулировал так: «Действовать, не подвергая критике взгляды и решения политических лидеров и государственных организаций» [8].

Швейкарт также проконсультировался с известным французским океанографом Жаком-Ивом Кусто (Jacques-Yves Cousteau), который тоже рекомендовал привлечь к этой работе европейских астронавтов. Они пришли к выводу, что европейское измерение уведет их тактику от пугающей политиков биполярной схемы. «Присоединение европейских астронавтов ... действительно может быть наилучшим выходом», – написал Митчелл в письме Швейкарту в августе 1983 года [8]. Астронавт Джеймс Ирвин (James Irwin) слетал в Европу и встретился там со всеми европейскими космонавтами и получил от них согласие на общую встречу.

Тем временем, намеченный на сентябрь 1983 года и организованный Институтом Эсален визит четырех советских космонавтов пришлось отменить из-за политического скандала, вызванного сбитым 1 сентября 1983 года в воздушном пространстве СССР южнокорейским Боингом.

В ноябре 1983 года по приглашению Американской академии наук и искусств Швейкарт и Хикман выступили перед руководящим Советом академии с презентацией своего проекта, исполнительным директором стал Хикман. Совет Академии согласился выступить в качестве консультанта проекта. Швейкарт и Хикман, в свою очередь, предложили ввести в Совет одного астронавта.

На этом фоне и была сделана очередная попытка создания ассоциации, на этот раз завершившаяся успехом.

Так создавалась ASE

Усилия Швейкарта и Хикмана не пропали даром: союзников становилось все больше. 3–8 марта 1984 года Дональд Кендалл (Donald Kendall), главный исполнительный директор корпорации PepsiCo, пригласил на встречу в штаб-квартире PepsiCo в городке Перчейз, штат Нью-Йорк, семерых вышедших в отставку американских астронавтов, д-ра Бернарда Бёрка (Bernard Burke) из Американской академии наук и искусств и координатора Хикмана, чтобы обсудить вопросы организации первого конгресса исследователей космоса. На встрече договорились созвать рабочую группу с участием космонавтов и астронавтов, чтобы сформировать повестку дня, договориться о месте проведения и решить финансовые вопросы.

Сначала организаторы рассматривали как предполагаемое место встречи Исландию или Канарские острова, но новые (благоприятные) обстоятельства решили выбор. Вторым после PepsiCo спонсором стала французская инженерная фирма «Машиностроение Нормандии» (Constructions Mécaniques de Normandie), президент которой, мадам Феликс Амио (Felix Amiot), была владелицей небольшого старинного замка, который она и предложила для встречи астронавтов и космонавтов. Сомнений не осталось – надо собираться во Франции. Важно было и то, что Франция – родина первого в Западной Европе космонавта Жан-Лу Кретьена, которому отводили ключевую роль французского хозяина встречи. Кретьена привлекли к работе в августе 1984 года, «чтобы свести к минимуму возможность политических спекуляций», – как писал ему Швейкарт [8]. Кретьен был идеальным посредником между советскими космонавтами и американскими астронавтами, уже самим своим участием придавая многосторонний характер переговорам.

7–9 сентября 1984 года «лунные» астронавты Донн Эйзель (Donn Eisele), Митчелл и Швейкарт, сопровождаемые координатором Хикманом и переводчиком Харрисом Коултером (Harris Coulter), космонавты Алексей Леонов, Олег Макаров, Юрий Романенко и советские координаторы –

уже ставшим заместителем директора ИСКАН Андрей Кокошин и Андрей Мельвиль, научный сотрудник ИСКАН, – а также французский космонавт Жан-Лу Кретьен собрались в изящном замке IX века, в аббатстве Во-де-Серне (Vaux de Cernay), где когда-то крестоносцы на пути в Святую Землю остановились на отдых [11]. В советской делегации также был переводчик и сотрудник Института космических исследований АН СССР, имена которых авторам установить не удалось. Три дня провели вместе в непринужденной обстановке космонавты и астронавты. Возобновили старые дружеские отношения, работали, спорили и соглашались, а вечером за бокалом вина рождали новые идеи для будущей организации. Эти часы только казались отдыхом, но на самом деле именно они и решили успех основной работы.

На этой встрече 1984 года международная группа проявила себя вполне готовой к тому, чтобы заявить о создании Ассоциации участников космических полетов. Но подготовка совместного заявления потребовала тщательного обсуждения формулировок целей, интересов и обязательства будущей Ассоциации. Американцы были озабочены созданием позитивного имиджа Ассоциации в США. Советский Союз делал акцент на укреплении образа позитивного будущего мира. Но прежде всего, договорились избегать политических разногласий. Несмотря на взаимную нацеленность на результат, дело шло трудно. В какой-то момент, когда переговоры между космонавтами и астронавтами о формулировках, казалось, станут нескончаемыми, Митчелл подошел к доске, разделил ее пополам горизонтальной линией, на нижней половине он нарисовал грибовидное облако, символизирующее политику страха и разрушение, а в верхней части – изображение Земли, символизирующее видение из космоса мира без границ. И такая простейшая визуализация помогла преодолеть какой-то высокий барьер. Действительно, ведь они были не просто профессиональными астронавтами и космонавтами, рассказывающими друг другу о случавшихся у них нештатных ситуациях и вспоминающих былые великие события, хотя и это важно. Побывав в космосе и увидев нашу планету со стороны, они лучше других поняли, что на карту поставлена сама судьба Земли. В предисловии к своей книге «Дневник над облаками», опубликованной за пять лет до описываемых событий, космонавт В.И. Севастьянов писал: «Я вижу Землю. Сразу всю. Целиком. Это вызывает щемящее чувство: наш мир мал и одинок во Вселенной… Но тут же понимаешь и ощущаешь, как велик человек в делах своих на маленькой планете Земля. А вокруг огромный, бесконечный мир, очень интересный, но еще чужой, не твой… Привыкая к невесомости, организм перестраивается не только физиологически. Меняется и мироощущение космонавта» [12]. Эти слова перекликались с проектом формулировки миссии будущей Ассоциации, написанным Швейкартом и Митчеллом, в котором говорилось: «Никто, кроме нас, не может говорить и действовать, исходя из непосредственного опыта пребывания вне Земли и оглядываясь на единственный дом нашей жизни, который мы знаем во Вселенной» [8].

Духовные трансформации космонавтов и астронавтов, в том числе Севастьянова, Швейкарта, Митчелла, особенно заинтересовали Хикмана и его Институт Эсален, тоже поддерживавшего объединение астронавтов и космонавтов [10]. «Задача состоит в том, чтобы сохранить видение, которое мы приобрели в результате космических полетов: образ взаимосвязи всего живого на земном шаре, – сказал на встрече Митчелл. – Иначе мы погрязнем в традиционной риторике политиков и борьбе, которая ведет всех к разрушению и ядерной войне» [8]. Он поставил вопрос так: «сохраняем ли мы взгляд на Землю как целостность для всех людей?». Советские космонавты ответили: «Да, мы должны сохранить образ единства Земли для будущего. Но, – оговорились они,– при этом нельзя потерять контакт с политической реальностью». Все согласились в том, что нельзя позволить политическим разногласиям скомпрометировать понимание жизни на Земле, приобретенное ими в космосе. Обе делегации подчеркнули необходимость создать для этого международную общественную организацию. Макаров поставил предложение на голосование. Решение было единогласным: все руки оказались подняты «за». Так 8 сентября 1984 года, после более чем двухлетних обсуждений, была образована Ассоциация исследователей космоса (Association of Space Explorers, ASE).

Дословный перевод английского названия требует некоторого комментария. Нам кажется, что наиболее точно его сформулировал космонавт Европейского космического агентства Франк де Винне в интервью одному из авторов статьи: «Есть лингвистическая тонкость, важная для понимания. Научное исследование – по-английски *research*. Другое дело *exploration* – лично пройти какие-то территории, пространства и изучить их. А по-русски и то, и другое – исследование. Полеты в космос, с нашей точки зрения, именно *exploration*. Мы лично отправляемся в космос как разведчики, первопроходцы, и продвигаемся все дальше и дальше. Смысл именно в этом» [13]. В Хартии европейских космонавтов, появившейся много позднее описываемых событий, в коротком документе, состоящем всего из пяти пунктов, каждый из которых начинается латинским словом, написано: «*Exploratio* (Исследование – *лат.*): Мы расцениваем исследование как возможность открытий, обучения и, в конечном счете, роста» [13]. С учетом имеющегося в советской и российской традиции разделения квалификаций и полетных ролей «космонавта-испытателя» и «космонавта-исследователя» (в американской традиции последний соответствует «специалисту полета») русскоязычный вариант названия организации принял вид – Ассоциация участников космических полетов. Хотя и это название стало неточным с появлением космических туристов, которых в России стали официально называть участниками космического полета. Возможно, стоит подумать об использовании в российской версии название «Ассоциация космопроходцев». Впрочем, здесь мы сталкиваемся уже с юридическими проблемами.

Официальное учреждение договорились провести на Первом конгрессе ASE в октябре будущего 1985 года и посвятить его 10-летию экспериментального полета «Аполлон»–«Союз», безусловно, ставшего символом и тем самым инициировавшего в долгосрочном смысле создание Ассоциации. Надо отметить, что администрация президента Рейгана резко сопротивлялась предстоящему в 1985 году празднованию ЭПАС, что резко контрастировало с подготовкой к этому событию в СССР и призывами Советского Союза к демилитаризации космоса.

В заявлении, основу которого подготовили Швейкарт и Хикман, в частности, говорилось: «Организация состоит из людей, выполнивших космический полет, и открыта для граждан любых стран, имеющих право на членство в ней. Общими интересами членов организации являются: 1) обмен информацией и опытом космических полетов; 2) стремление к международному сотрудничеству в мирном освоении космоса; 3) использование космического пространства для разрешения научно-технических и гуманитарных проблем» [14].

9 сентября 1984 года был выпущен пресс-релиз. Приводим выдержку из него: «С 7 по 9 сентября 1984 года под Парижем проходила рабочая встреча астронавтов и космонавтов США, Советского Союза и Франции. Встрече предшествовали несколько лет подготовки. В ходе встречи собравшиеся выразили совместное стремление к регулярным контактам между людьми, связанными общим опытом космических полетов. Признавая их озабоченность будущим человечества и принимая во внимание возможности для сотрудничества, участники выразили решимость использовать свой уникальный опыт для содействия развитию космонавтики и использованию космической техники на благо всех людей. Учитывая особенности непосредственного восприятия Вселенной, исследователи космоса более других осознают необходимость международного сотрудничества в области мирного освоения космоса в целях содействия решению важнейших научно-технических и гуманитарных проблем. Для этого рабочая группа постановила учредить организацию людей, выполнивших космический полет. Организация будет заниматься изучением и поощрением конструктивного использования космического пространства для повышения качества жизни на всей планете и для формирования позитивного взгляда на будущее для грядущих поколений; содействовать установлению более широких контактов между людьми, имеющих опыт космических полетов; выявлением новых возможностей для сотрудничества и другими вопросами, представляющими общий интерес» [14]. Размещение участников предстоящего конгресса представляло самую большую статью расходов. Но семья Амио любезно предложила вновь использовать их замок для Конгресса, пообещав устроить дополнительные спальни для участников.

Задумались над неполитическим наполнением Конгресса. Большой интерес вызвала экспозиция фотообоев с изображениями из космоса, которую

устроили советские участники встречи. Это навело на мысль, что на публичных выставках можно показать картины художников – астронавта Алана Бина (Alan Bean) и космонавта Алексея Леонова. А к следующему, 2-му Планетарному конгрессу подготовить выставку детских рисунков на тему Земли и Космоса. Было предложено также создать совместную аудиовизуальную программу, можно создать среду с фотографиями, видеодисплеями и слайд-шоу.

После Франции Швейкарт съездил к Ульфу Мербольду (Ulf Merbold), первому астронавту ФРГ и Европейского космического агентства (ЕКА), и Вюббо Окелсу (Wubbo Ockels), голландцу, который тогда только готовился к полету. Оба физики, Мербольд и Окельс стали первыми европейцами, участвовавшими в программе «Шаттл». Специалисты по полезной нагрузке, имеющие научное образование, выходцы не из военных, как большинство советских и американских участников, будучи представителями ЕКА, они, как ученые, заполнили «нейтральную полосу», неполитическое пространство организаторов Конгресса.

Европейцы убедили Жака-Ива Кусто выступить на первом конгрессе с программной речью. Его изобретение акваланга позволило людям исследовать подводные миры так же, как ракеты главного конструктора С.П. Королёва позволили людям выйти в космос. По аналогии с надеждами ASE на освоение космоса, подводная деятельность Кусто помогла сформировать транснациональное экологическое сознание, открыв новые миры, но подчеркнув хрупкость человечества. Кусто был в ужасе от того, что космические исследования почти монополизированы военными. «Жажда знаний и исследований вдохновила первооткрывателей космоса, – утверждал Кусто, пораженный искренностью и дружелюбием, царившими в братстве первопроходцев космоса. – Все они подчеркивают, что наша планета едина, что границы искусственны, что человечество – единое сообщество на борту космического корабля «Земля». Все они настаивают на том, что эта хрупкая драгоценность находится в нашей власти, и что мы должны попытаться защитить его» [8]. Для ASE Кусто обеспечил жизненно важную связь с прошлым – с героической эпохой европейских исследований, из которой вышел он сам, но также и с новым экологическим и глобальным сознанием космической эры. Он привлек в ASE известного популяризатора науки Карла Сагана, который был телевизионной личностью с мировым именем и мог стать серьезным союзником. У него были заслуги перед человечеством, а не перед секретным военно-промышленным комплексом. Его статус ученого предполагал моральную позицию, которая стояла выше политики и идеологии.

Первый учредительный конгресс ASE состоялся в октябре 1985 года в аббатстве Во-де-Серне неподалеку от Парижа. 25 космонавтов и астронавтов из 13 стран избрали исполнительный комитет, в который вошли советские космонавты А.А. Леонов и А.С. Елисеев, американские астронавты Э. Митчелл, Р. Швейкарт, космонавты: ГДР – З. Йен, Франции –

Жан-Лу Кретьен и Саудовской Аравии – Султан Салман Аль Сауд. Среди участников конгресса были два художника – космонавт Алексей Леонов и космонавт Алан Л. Бин. Они привезли свои работы для демонстрации в La Géode, геодезическом куполе в Cité des Sciences (городок науки и техники) в Париже. Искусство должно было еще больше деполитизировать события.

Фотография участников Первого Конгресса ASE демонстрируется на XXX Конгрессе ASE, Франция, Тулуза, 2017 г.

М. Тонини как хозяин XXX Конгресса ASE во Франции (третий справа) приветствует участников Первого конгресса ASE, Тулуза, 2017 г. Слева направо: М. Гермашевский, С. Аль Сауд, Б. Фаркаш, Ж.-Л. Кретьен, Д. Прунариу, В. Ремек

Противоречивая аполитичная политика

Первый конгресс Ассоциации участников космических полетов был скромным началом. Организация столкнулась с проблемой, обусловленной противоречивым характером ее миссии. Организаторы скрупулезно утверждали, что они аполитичны, но они стремились создать новую политику, противоположную политике холодной войны сверхдержав. Швейкарт выразил противоречивую аполитичную политику группы так: «Ясно, что она противоречива ..., но наши намерения не являются политическими, за исключением самого широкого и высокого смысла этого слова» [8]. Однако любая программа, провозглашающая демилитаризацию космического пространства на фоне политики «звездных войн», неминуемо оказывается политической и, по мнению одного недоброжелательно настроенного к идеям Швейкарта астронавта, «антиамериканской». Принципиальная невозможность устранить политическую природу самого замысла была, пожалуй, самым большим ограничением, с которым столкнулись организаторы. Чтобы хоть как-то продвинуться в сторону деполитизации, было предложено сосредоточиться на научно-технических вопросах, таких, как астероидная опасность, или на проблемах спасания экипажей в космосе, однако, это предполагало, что технологии и политика являются отдельными областями деятельности, что было сомнительным утверждением, даже на примере истории космонавтики.

Другой подход состоял в том, чтобы формировать нейтральную для национальных интересов и политики территорию в виде чисто научных исследований, которые можно провести на борту космических аппаратов, и, следовательно, искать ученых, специалистов по полезной нагрузке, желательно с богатым научным опытом в этом качестве, и заручаться помощью видных ученых мирового уровня, таких, как Жак Кусто и Карл Саган. Но результатом таких усилий стала не только деполитизация космических исследований, но и политизация науки. Во время переговоров в 1984 году в Серне советская сторона согласилась с тем, что «мы должны сохранить образ единения для будущих поколений, но мы не можем терять контакт с реальностью политической борьбы». Космическая техника четко выполняла военно-политическую работу, решая военно-стратегические задачи, даже будучи представленной в рамках мирной научной программы разгадывания тайн космоса. Патрик Бодри (Patrick Baudry), второй француз на орбите, который летал на борту шаттла НАСА в 1985 году, столкнулся с политическим и военным характером американской технологии космических челноков. В его полете, якобы в гражданской миссии шаттла, проводились секретные военные эксперименты по программе «звездных войн». Поэтому Бодри, которого пригласили принять участие в первом конгрессе ASE в Париже в октябре 1985 года, решительно отклонил приглашение, поскольку НАСА ясно дало понять: активные астронавты не должны участвовать в ASE, если они хотят продолжать летать. Эта угроза доказала ошибочность представлений многих астронав-

тов о себе как свободных гражданах в отличие от советских коллег-космонавтов. Через много лет, уже в XXI веке на одном из конгрессов советский ветеран-космонавт выразил удивление, что молодые космонавты приезжают на конгрессы ASE только из России, а США (за исключением экипажа, только что вернувшегося из космоса) представляют оставившие полеты астронавты. А удивляться тут нечему: это продолжение политики, сформулированной НАСА на заре Ассоциации.

Третье направление – попытка передать публике свои эмоции, которые они испытали в космосе. После первого в истории выхода в открытый космос в 1965 году Леонов описал этот опыт как «возрождение», которое заставило его остро осознать, что земляне – члены одной семьи. В начале 1970-х годов некоторые американские астронавты утверждали, что путешествие в открытый космос обострило их религиозное сознание. В атеистическом Советском Союзе официально, конечно, не исповедовали веру в бога. Но советские космонавты рассматривали свой опыт через духовную призму. Олег Макаров отмечал: «Космонавты обычно немногословны, особенно выполняя полет. Обычно 5–7 секунд достаточно для нас, чтобы выразить даже очень сложную мысль. Так я думал. Но когда я начал прослушивать записи переговоров космонавтов с Центром управления полетами, сказать правду, был удивлен. В течение нескольких секунд после выхода на околоземную орбиту, каждый космонавт, все без исключения, будь то суховатый, сдержанный бортинженер или более эмоциональный командир, пилот, выражал одно и то же выражение восторга и удивления. Я проанализировал начала ряда переговоров и обнаружил интересный факт… Никто не мог сдержаться и не выразить вырывающиеся из глубины души чувства при виде завораживающей панорамы Земли. Эмоциональный всплеск длился в среднем 42 секунды» [15].

Схожие мысли высказывали после своих полетов и американские астронавты, вдохновившие Фрэнка Уайта на опубликованную годом ранее книгу «Обзорный эффект» [16]. Но как передать эти чувства другим? ASE поставила задачу сделать духовные и эстетические стороны космических исследований привлекательными и, следовательно, эмоционально мощными, чтобы те, кто не испытал их непосредственно в космическом полете, могли оценить их опосредованно.

Основной путь пролегал через публикацию альбома «Наш дом – Земля» (The Home Planet). Еще на первом конгрессе в Париже в 1985 году члены ASE сделали его публикацию приоритетной задачей. Они надеялись, что высококачественные фотографии и сопровождающие их комментарии космонавтов и астронавтов, свидетельствующие о преобразовывающем сознание опыте космического полета – 150 космических фотографий и 200 комментариев – изменят и сознание читателей. Книга была издана в 1988 году и переиздана одновременно в 1989 году по всей Европе – в Испании, Италии, Швеции, Англии, Франции и Голландии, с цитатами на 16 языках, представляющих космических путешественников из 18 различных стран с тремя

предисловиями [Home Planet]. Первое предисловие, в полном соответствии с замыслами первого конгресса ASE, написал Кусто.

В своем предисловии космонавт Олег Макаров написал: «Люди, побывавшие в космосе, осознали, что, несмотря на все различия между ними, они едины в главном – в обостренном «чувстве землянина», чувстве личной ответственности за сохранность единственной у всех нас планеты, и поняли, что любые трудности, разногласия и препятствия должны быть преодолены… Прежде всего нас объединила наша главная тревога и личная ответственность за сохранность и защиту природы Земли. Мы договорились, что если наши объединенные усилия дадут результат, то главной темой первого конгресса Ассоциации станет «Планета – наш дом». Мы также решили: первая наша премия должна быть присуждена человеку, чья жизнь стала примером бережного отношения ко всему живому и к богатствам природного мира. Мы единодушно согласились, чтобы премия была присуждена и вручена выдающемуся землянину Жаку-Иву Кусто, который произнес при этом замечательные слова: «Вы помогаете нам понимать звезды. Вы изменили наши представления о человечестве, о космосе, о неизвестном, а это важно, чтобы будущее стало счастливым». Потом мы снова встречались, писали друг другу длинные послания, беседовали по телефону, вели дискуссии, потому что договориться о деталях оказалось не так-то легко. Мы живем в разных странах, и на Земле расстояния между нами огромные – это ведь только из космоса наш голубой шарик кажется трогательно маленьким. Но все трудности можно преодолеть и нужные слова найти, когда объединяет большая общая цель, которая на самом деле весьма проста. Мы хотим, чтобы каждый землянин проникся приобретенным нами особым космическим видением мира, нашим стремлением к взаимопониманию и единству всех без исключения обитателей планеты в деле защиты и сохранения нашего общего и единственного дома, такого хрупкого и прекрасного» [15].

В 2017 году исполнительный комитет ASE пригласил космонавтов и астронавтов принять участие в обновлении книги «Наш дом – Земля» и прислать для этого несколько любимых фотографий из числа сделанных во время полета. Однако реакция оказалась слабой, во всяком случае, со стороны российских космонавтов. Собственно, в этом нет ничего удивительного: изменилось время, изменился мир, изменились мы. Тогда фотографии из космоса были редкостью, фотографировали на пленку. Сегодня астронавты и космонавты, используя цифровую аппаратуру, делают тысячи фотографий за полет, выкладывают их в интернете, устраивают фотовыставки по всему миру. Одно из направлений образовательной деятельности – проект «Windows on Earth», где космонавты делятся фотографиями из космоса. В книжных магазинах космические фотоальбомы с прекрасными иллюстрациями стоят непроданными. Поэтому нужно искать другие формы передачи людям восторга при виде закругленного горизонта Земли из космоса. Например, американское отделение ASE организовало трансляцию видов Земли из

космоса в режиме реального времени. Это, конечно, современная версия издания «Наш дом – Земля».

На конгрессе Ассоциации исследователей космоса 1991 года, проходившем в объединенном Берлине, тема была такова: «Космос границ не имеет». Конгресс провозгласил: «Использование космического пространства дало человечеству новый взгляд на искусственные границы, разделяющие нации, и на роль, которую международное сотрудничество в космосе играет в преодолении этих границ» [8].

Окончание следует…

ЛИТЕРАТУРА

[1] Website Association of Space Explorers (ASE) [Электронный ресурс]. URL: http://www.space-explorers.org (дата обращения 09.09.2020).
[2] Мировая пилотируемая космонавтика / Под ред. Ю.М. Батурина. – М.: Издательство РТСофт, 2005. – 752 с.
[3] Батурин Ю.М. Космическая дипломатия и международное право. – Звездный городок: РГНИИЦПК, 2006. – С. 72.
[4] Кричевский С.В., Иванова Л.В. Сообщество космонавтов: структура, особенности, перспективы // Социология власти. – 2012. – № 2. – С. 145–153.
[5] Иванова Л.В., Кричевский С.В. Сообщество космонавтов: История становления и развития за полвека. Проблемы. Перспективы / Предисл. В.П. Савиных. – М.: ЛЕНАНД, 2013. – 200 с.
[6] Brzezinski Z. Game Plan. A Geostrategic Framework for the Conduct of the U.S. – Soviet Contest. – Boston, New York, The Atlantic Monthly Press, 1986. – p. 288.
[7] Exploring the Unknown. Selected documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Volume I: Organizing for Exploration. – J.M. Logsdon, Editor with L.J. Lear, J. Warren-Findley, R.A. Williamson, D.A. Day. – Washington D.C., NASA History Office, 1995. – p. 582.
[8] Jenks A. (2018) Transnational Utopias, Space Exploration and the Association of Space Explorers, 1972–85. In: Geppert A. (eds) Limiting Outer Space. Palgrave Studies in the History of Science and Technology. Palgrave Macmillan, London. [Электронный ресурс] URL: https://doi.org/10.1057/978-1-137-36916-1_9 (дата обращения 09.09.2020).
[9] Инаугурационные речи президентов США от Джорджа Вашингтона до Джорджа Буша (1789–2001 гг.) с историческим комментарием. – М.: Издательский дом «Стратегия», 2001. – С. 444.
[10] [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Институт_Эсален (дата обращения 14.09.2020).
[11] Во-де-Серне, Пьер де. Альбигойская история // В кн.: Крестовые походы. Под сенью креста. – М.: Центрполиграф, 2003. – С. 367–384.
[12] Севастьянов В.И. Дневник над облаками. – М.: Правда, 1977. – С. 4.
[13] Батурин Ю.М. Властелины бесконечности. Космонавт о профессии и судьбе. – М.: «Альпина Паблишер», 2018. – С. 165–168.
[14] Russell L. Schweickart, Co-Chairman of ASE, James L. Hickman, Project Coordinator. Summary of the meeting on September, 7–9, 1984, Cernay, France [Электронный ресурс] URL: (дата обращения 09.09.2020).

[15] The Home Planet. Conceived and edited by Kevin W. Kelly for the Association of Space Explorers. N.-Y.: Addison-Wesley Publishing Company, 1988. – p. 252.
[16] White F. The Overview Effect – Space Exploration and Human Evolution. Houghton-Mifflin, 1987. – p. 318.
[17] Устав РОО участников космических полетов. Утвержден 15 октября 1992 г. Свидетельство № 1491 от 25 января 1993 г. – 11 с.
[18] Иванова Л.В. Формирование ассоциации участников космических полетов – неотъемлемая часть истории пилотируемой космонавтики // XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос», 2015. – Звездный городок, 2015. – С. 173–177.
[19] Иванова Л.В., Кричевский С.В. Ассоциация участников космических полетов: краткая история за 35 лет // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2019. – Саратов: Амирит, 2019. – С. 350–355.
[20] Выступление академика Б.Е. Чертока на XXIV Планетарном конгрессе участников космических полетов 5 сентября 2011 г. (Россия, Москва) // Вопросы истории естествознания и техники. – 2012. – № 2. – С. 19–21.
[21] Что считать космическим полетом и кого считать астронавтом? // Космическая энциклопедия. ASTRONote [Электронный ресурс]. URL: http://astronaut.ru/register/510.htm (дата обращения: 05 сентября 2020).
[22] Кричевский С.В. «Космический» человек: идеи, технологии, проекты, опыт, перспективы // Воздушно-космическая сфера. – 2020. – № 1. – С. 26–35.
[23] Krichevsky S. Cosmic Union of communities: A new concept and technologies of creating of Cosmic Humanity // Philosophy and Cosmology. – 2019. – Vol. 22. – pp. 33–50.

REFERENCES

[1] Website Association of Space Explorers (ASE) [Electronic resource]. URL: http://www.space-explorers.org (access date 09.09.2020).
[2] World manned cosmonautics / Edited by Yu.M. Baturin. – Moscow: RTSoft Publishing House, 2005. – p. 752.
[3] Baturin Yu.M. Space diplomacy and international law. – Star City: RSSRICTC, 2006. – p. 72.
[4] Krichevsky S.V. Ivanova L.V. The community of cosmonauts: structure, features, prospects // Sociology of power. – 2012. – No 2. – pp. 145–153.
[5] Ivanova L.V., Krichevskiy S.V. The Cosmonaut community: a half-century history of formation and development. Problems. Perspectives / Foreword of V.P. Savinykh. – Moscow: LENAND, 2013. – p. 200.
[6] Brzezinski Z. Game Plan. A Geostrategic Framework for the Conduct of the U.S. – Soviet Contest. – Boston, New York, The Atlantic Monthly Press, 1986. – p. 288.
[7] Exploring the Unknown. Selected documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Volume I: Organizing for Exploration. – J.M. Logsdon, Editor with L.J. Lear, J. Warren-Findley, R.A. Williamson, D.A. Day. – Washington D.C., NASA History Office, 1995. – p. 582.
[8] Jenks A. (2018) Transnational Utopias, Space Exploration and the Association of Space Explorers, 1972–85. In: Geppert A. (eds) Limiting Outer Space. Palgrave Studies in

the History of Science and Technology. Palgrave Macmillan, London. [Electronic resource] URL: https://doi.org/10.1057/978-1-137-36916-1_9 (accessed 09.09.2020).
[9] Inaugural speeches of US presidents from George Washington to George W. Bush (1789–2001) with historical commentary. – Moscow: “Strategia” Publishing House, 2001. – p. 444.
[10] [Electronic resource] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Esalen Institute (accessed 14.09.2020).
[11] Vaux de Cernay, Pierre de. Albigensian history // In the book: Crusades. Under the shadow of the cross – Moscow: Tsentrpolograph, 2003. – pp. 367–384.
[12] Sevastianov V.I. Dairy “Above Clouds”. – Moscow: Pravda, 1977. – p. 4.
[13] Baturin Yu.M. Lords of Infinity. Cosmonaut about profession and destiny. – Moscow: “Alpina Publisher”, 2018. – pp. 165–168.
[14] Russell L. Schweickart, Co-Chairman of ASE, James L. Hickman, Project Coordinator. Summary of the meeting on September, 7–9, 1984, Cernay, France [Electronic resource] URL: (accessed 09.09.2020).
[15] The Home Planet. Conceived and edited by Kevin W. Kelly for the Association of Space Explorers. N.-Y.: Addison-Wesley Publishing Company, 1988. – p. 255.
[16] White F. The Overview Effect – Space Exploration and Human Evolution. Houghton-Mifflin, 1987. – p. 318.
[17] RPO Chapter for Space Flight Participants. Approved on October 15, 1992. Certificate No. 1491 dated January 25, 1993 – p. 11.
[18] Ivanova L.V. The formation of an association of space flight participants is an integral part of the history of manned cosmonautics // The XI International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”, 2015. – Star City, 2015. – pp. 173–177.
[19] Ivanova L.V., Krichevsky S.V. Association of Space Flight Members: A brief history of over 35 years // S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology. The Annual Scientific Conference, 2019. – Saratov: Amirit, 2019. – pp. 350-355.
[20] Speech of academician B.E. Chertok at the XXIV Planetary Congress of Space Flight Participants on September 5, 2011 (Russia, Moscow) // Voprosy Istorii Estestvoznaniia I Tekhniki [Studies in the History of Science and Technology]. – 2012. – No 2. – pp. 19–21.
[21] What is considered a space flight and who is considered an astronaut? // Space encyclopedia. ASTRONote [Electronic resource]. URL: http://astronaut.ru/register/510.htm (accessed: September 5, 2020).
[22] Krichevsky S.V. «A space man: ideas, technologies, projects, experience, prospects // Aerospace Sphere Journal. – 2020. – No 1. – pp. 26–35.
[23] Krichevsky S.V. Cosmic Union of communities: A new concept and technologies of creating of Cosmic Humanity // Philosophy and Cosmology. – 2019. – Vol. 22. – pp. 33–50.

© Батурин Ю.М., Иванова Л.В., Кричевский С.В., 2020.
© Батурин Ю.М. Фотографии