

ISSN 2226-7258

ПИЛОТИРУЕМЫЕ
ПОЛЕТЫ
В КОСМОС

ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ В КОСМОСНаучно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (*Звездный городок*)Номер: **3 (32)** Год: **2019**

Название статьи	Страницы
<u>ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-57/58/59 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА</u>	5-21
<i>Конonenко О.Д., Кондрат А.И., Медведев А.А., Несмеянов В.В., Орешкин Г.Д., Сабуров П.А.</i>	
<u>МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-58/59 (ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ)</u>	22-36
<i>Богомолов В.В., Почуев В.И., Алферова И.В., Хорошева Е.Г., Криволапов В.В.</i>	
<u>ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МЕЖВЕДОМСТВЕННОЙ КОМИССИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРЕНИРОВОК НА ТРЕНАЖЕРАХ РС МКС</u>	37-46
<i>Савв В.Н., Батраков В.В., Маликова Т.Ю.</i>	
<u>ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ В ПРАКТИКУ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРЕНАЖЕРОВ ПКА</u>	47-56
<i>Жохов А.И., Игнатьев С.В.</i>	
<u>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОСТАВЕ ПУЛЬТА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ</u>	57-67
<i>Батраков В.В., Брагин В.И.</i>	
<u>НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ К ДЛИТЕЛЬНОМУ И БЕЗОПАСНОМУ ПРЕБЫВАНИЮ В НЕВЕСОМОСТИ</u>	68-77
<i>Баевский Р.М., Фунтова И.И., Лучицкая Е.С.</i>	
<u>АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОТБОРА КАНДИДАТОВ В КОСМОНАВТЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ В 2017-2018 ГГ</u>	78-82
<i>Назин В.Г., Самарцев В.Ю., Шемчук Е.П., Сердюк А.В., Майков А.А.</i>	
<u>О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИГРАФА ПРИ ОТБОРЕ КАНДИДАТОВ В КОСМОНАВТЫ</u>	83-88
<i>Крючков Б.И., Королев Л.М., Рюмин О.О.</i>	
<u>ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИМИТАЦИИ В ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМАХ</u>	89-107
<i>Кручинина А.П., Латонов В.В., Чертополохов В.А.</i>	
<u>ОТ ЖЮЛЯ ВЕРНА ДО МИССИЙ "АПОЛЛОНОВ" (КАК ПРИНИМАЛОСЬ РЕШЕНИЕ О ВЫСАДКЕ НА ЛУНУ)</u>	108-133
<i>Батурич Ю.М.</i>	

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

DOI 10.34131/MSF.19.3.5-21

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-57/58/59 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

О.Д. Кононенко, А.И. Кондрат, А.А. Медведев, В.В. Несмеянов,
Г.Д. Орешкин, П.А. Сабуров

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации
О.Д. Кононенко; А.И. Кондрат; А.А. Медведев; В.В. Несмеянов;
канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; П.А. Сабуров
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены состав экипажа МКС-57/58/59, основные задачи подготовки, деятельность экипажа на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС-11» и Международной космической станции (МКС). Отдельно выделены работы по внекорабельной деятельности (ВКД) по программам российского (РС) и американского сегментов (АС) МКС, а также по выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ).

Ключевые слова: подготовка экипажа, космический полет, транспортный пилотируемый корабль, Международная космическая станция, внекорабельная деятельность, научная программа.

Main Tasks of Training and Results of Activity of the ISS Crew for Expedition 57/58/59 When Carrying Out the Mission Plan.

**O.D. Kononenko, A.I. Kondrat, A.A. Medvedev, V.V. Nesmeyanov,
G.D. Oreshkin, P.A. Saburov**

The paper presents the ISS crew for Expedition 57/58/59, main tasks of training, activities of the crew aboard the “Soyuz MS-11” manned transport vehicle (MTV) and International Space Station (ISS). Extravehicular operations (EVA) within the framework of the programs of the ISS RS and USOS as well as the implementation of scientific applied research and experiments are given in particular.

Keywords: crew training, space mission, manned transport vehicle, International space station, extravehicular activity, scientific program.

Состав экипажа

Основной экипаж МКС-57/58/59 (рис. 1) в составе:

Кононенко Олег Дмитриевич	командир ТПК «Союз МС-11», бортинженер экспедиции МКС-57, командир экспедиций МКС-58 и -59 (Роскосмос, Россия),
Сен-Жак Давид	бортинженер ТПК «Союз МС-11», бортинженер экспедиций МКС-57, -58 и -59 (ККА, Канада),
МакКлейн Энн	бортинженер-2 ТПК «Союз МС-11», бортинженер экспедиций МКС-57, -58 и -59 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 203 суток 15 часов 15 минут 49 секунд с 3 декабря 2018 года по 25 июня 2019 года. Позывной экипажа – «Антарес».



Кононенко
Олег Дмитриевич

Сен-Жак
Давид

МакКлейн Энн

Рис. 1. Экипаж МКС-57/58/59

Кононенко Олег Дмитриевич – инструктор-космонавт-испытатель 1 класса Роскосмоса, в отряде космонавтов с марта 1996 года. Первый полет выполнил с 8 апреля по 24 октября 2008 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-12» и бортинженера МКС-17. Во время полета выполнил два выхода в открытый космос общей длительностью 12 часов 16 минут. Продолжительность полета составила 199 суток. Второй полет с 21 декабря 2011 года по 1 июля 2012 года совершил в составе экипажа МКС-30/31 в качестве командира ТПК «Союз ТМА-03М», бортинженера МКС-30 и командира МКС-31. В ходе полета выполнил выход в открытый космос длительностью 6 часов 15 минут. Полет продлился 193 суток. Третий полет

с 23 июля по 11 декабря 2015 года выполнил в составе экипажа МКС-44/45 в качестве командира ТПК «Союз ТМА-17М» и бортинженера МКС. Продолжительность полета составила 142 суток.

Сен-Жак Давид – астронавт Канадского космического агентства (ККА). Прошел отбор в мае 2009 года и прибыл в Хьюстон для подготовки в составе 20-го набора NASA. Опыта космических полетов не имел.

МакКлейн Энн – астронавт НАСА (США). В июне 2013 года была зачислена в отряд астронавтов НАСА в составе 21-го набора. Опыта космических полетов не имела.

Основные задачи программы полета экипажа МКС-57/58/59

Программа полета экипажа МКС-57/58/59 предусматривала:

1. Полет на ТПК «Союз МС-11», который включал в себя:
 - выведение, маневры, сближение и стыковку к малому исследовательскому модулю МИМ2;
 - расстыковку от МИМ2 и возвращение на Землю спускаемого аппарата (СА).
2. Материально-техническое обслуживание и дооснащение бортовых систем и оборудования РС МКС.
3. Ремонтно-восстановительные работы на РС МКС.
4. Выполнение научной программы в соответствии с «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пятьдесят седьмой и пятьдесят восьмой пилотируемых экспедиций МКС-57 и МКС-58» и «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пятьдесят девятой и шестидесятой пилотируемых экспедиций МКС-59 и МКС-60» в части их касающейся.
5. Выходы в открытый космос.
6. Стыковку и расстыковку американских грузовых кораблей SpaceX-16 «Dragon», SpaceX Demo-1 «Dragon-2», SpaceX-17 «Dragon»; расстыковку ТПК «Союз МС-09» и «Союз МС-11»; расстыковку транспортных грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс МС-09» и «Прогресс МС-10»; расстыковку американского грузового корабля «Cygnus NG-10»; стыковку ТПК «Союз МС-12», ТГК «Прогресс МС-11» и американского грузового корабля «Cygnus NG-11».
7. Разгрузка и загрузка 3 российских и 5 американских грузовых кораблей.
8. Проведение ТВ-репортажей, фото- и видеосъемок, работы по программе символической деятельности.

Основные задачи подготовки экипажа к космическому полету

Подготовка экипажа МКС-57/58/59 проводилась с сентября 2016 года поочередными тренировочными сессиями: в России – по РС МКС, ТПК и ТГК; на базах международных партнеров – по 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 полета, текущий уровень подготовленности и распределение функциональных обязанностей между членами экипажа, а также объемы и результаты предыдущих этапов подготовки.

Большая часть времени была уделена технической подготовке по ТПК «Союз МС-11» 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-11»;

- 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-11» на все стыковочные узлы РС МКС;

- отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска;

- отработка навыков построения орбитальной ориентации в ручном режиме в аналоговом контуре;

- отработка навыков построения орбитальной ориентации в ручном режиме в дискретном контуре;

- 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 по выполнению 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-56/57, 59/60;

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

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

- 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, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;
- совершенствование знаний, отработка навыков и умений выполнения программы НПИ на РС МКС;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении задач ВКД в объеме типовых операций и по программе ВКД-46;
- отработка взаимодействия членов экипажа при выполнении задач внепланового выхода ВКД-45А;
- 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-57/58/59 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.

Результаты экзаменационных тренировок экипажа МКС-56/57 представлены в таблице 1.

По итогам подготовки экипажа 15 ноября 2018 года в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина состоялось заседание Межведомственной комиссии, которая, рассмотрев результаты зачетов и экзаменов

Таблица 1

Экзаменационные тренировки	О. Кононенко	Д. Сен-Жак	Э. МакКлейн
ЭКТ по ТПК «Союз МС»	4,9		
ЭКТ по РС МКС	5,0		
По ручному сближению ТПК «Союз МС»	5,0		–
По ручному причаливанию и перестыковке ТПК «Союз МС»	5,0	5,0	–
По ТОРУ ТГК «Прогресс МС»	5,0	–	–
По РУС ТПК «Союз МС»	4,82	4,92	–

и выводы Государственной медицинской комиссии, пришла к заключению, что экипаж МКС-57/58/59 подготовлен к выполнению космического полета и может приступить к этапу предстартовой подготовки на космодроме Байконур.

Полет на борту ТПК «Союз МС-11»

Старт ТПК «Союз МС-11» состоялся 3 декабря 2018 года в 14:31:52 ДМВ с космодрома Байконур (рис. 2).

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно.

Сближение ТПК «Союз МС-11» с МКС осуществлялось в соответствии с программой полета по 4-витковой схеме и в 20:33:19 ДМВ ТПК «Союз МС-11» причалил к стыковочному узлу модуля МИМ2 РС МКС в автоматическом режиме.

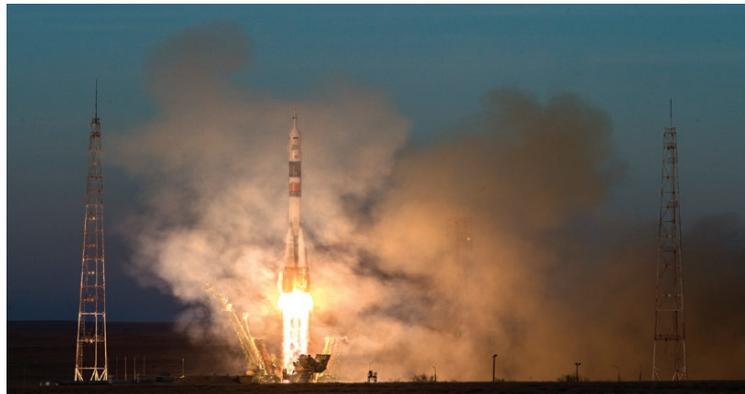


Рис. 2. Старт ТПК «Союз МС-11»

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 автономного полета ТПК «Союз МС-11».

В процессе полета в сеансе связи 2-го витка выполнялся тест ручного управления. В связи с доработкой программного обеспечения (ПО) ЦВМ101 и пульта космонавта спускаемого аппарата (ПКСА) «Нептун-МЭ» ТПК «Союз МС-11» для обеспечения передачи информации радиобмена в сеансе связи 3-го витка выполнялась передача на борт текстового файла. Экипаж контролировал и докладывал в Центр управления полетами (ЦУП-М) появление текстовой информации на интегрированном пульте управления (ИнПУ) на формате «ИНФО».

18 января 2019 года на участке совместного полета ТПК «Союз МС-11» и МКС космонавт О. Кононенко участвовал в проверке информационного

радиообмена, переданного в виде массива цифровой информации (МЦИ) на ПКСА «Нептун-МЭ» через ЦВМ-101. Кроме того, в этот день О. Кононенко участвовал в проверке возможности передачи данных по Wi-fi из ПКСА в планшетные компьютеры экипажа в виде отдельных форматов и графиков, позволяющих отслеживать динамику изменения выбранных аналоговых параметров.

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

20 июня 2019 года в рамках подготовки к спуску с орбиты экипажем в составе командира корабля и бортинженера проводился штатный «Тест СУДН № 2».

24 июня 2019 года на 11-м суточном витке экипаж выполнил расконсервацию ТПК «Союз МС-11». В 22:40:00 ДМВ по указанию Земли экипаж осуществил переход на автономное питание и в 23:20:00 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 спускаемый аппарат (СА) и закрытия люка СА-БО, выполнили проверку герметичности скафандров и люка СА-БО.

Расстыковка выполнена 25 июня 2019 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме от МИМ2 с одним импульсом увода. МКС была развернута в специальную сертифицированную для расстыковки ориентацию «ОСК+разворот». Запуск динамического режима системы управления движением и навигации (СУДН) для режима расстыковки выполнен экипажем в 02:18:00 ДМВ. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа-М выдана экипажем в 02:24:00 ДМВ, расстыковка произошла в 02:25:00 ДМВ. Уход корабля от МИМ2 выполнялся по трансверсали против полета (импульс на торможение).

После расстыковки при выполнении заключительных операций на ПКСА «Нептун-МЭ» был передан МЦИ с данными на спуск. По указанию Земли по формату «ИНФО» экипаж выполнил сверку данных на спуск с данными в бортовой документации.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение сближающе-корректирующего двигателя (СКД) для выдачи тормозного импульса произошло в 04:54:00 ДМВ. Двигатель штатно отработал тормозной импульс (127,98 м/с). После выдачи тормозного импульса в 05:02:53 ДМВ произошла авария 1-го коллектора, автоматически был выполнен переход на 2-й коллектор двигателей причаливания и ориентации (ДПО). Экипаж зафиксировал прохождение аварии, проконтролировал переход на 2-й коллектор ДПО и доложил в ЦУП-М.

Разделение отсеков произошло в 05:22:00 ДМВ. Расчетное время входа СА в атмосферу составило 05:26:50 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме автоматического управляемого спуска. Внеатмосферный промах составил +4 секунды, максимальная перегрузка – 4,18 единицы.

Посадка СА произошла в 05:47:41 ДМВ в расчетной точке вблизи г. Жезказгана (рис. 3). Двигатели мягкой посадки сработали штатно. СА ТПК «Союз МС-11» находился вертикально, самочувствие экипажа хорошее.

На ТПК «Союз МС-11» в процессе спуска проводился третий испытательный полет доработанной системы управления спуском с блоком измерения угловых скоростей (БИУС) в телеметрическом режиме.



Рис. 3. Приземление спускаемого аппарата

Полет на борту МКС

Экипаж МКС-57/58/59 работал на борту МКС 203 суток с 3 декабря 2018 года по 25 июня 2019 года.

На РС МКС были проведены запланированные работы по материально-техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем и оборудования, ремонтно-восстановительные работы.

В процессе космического полета выполнены:

- сближение американского грузового корабля SpaceX-16 «Dragon» с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 (8 декабря 2018 года);
- расстыковка ТПК «Союз МС-09» от стыковочного узла МИМ1 (20 декабря 2018 года);
- расстыковка американского грузового корабля SpaceX-16 «Dragon» от надирного порта модуля Node2 с помощью манипулятора SSRMS (14 января 2019 года);

- расстыковка ТГК «Прогресс МС-09» от СО1 (25 января 2019 года);
- расстыковка американского грузового корабля «Cygnus NG-10» от надирного порта Node1 с помощью манипулятора SSRMS (8 февраля 2019 года);
- стыковка американского корабля SpaceX Demo-1 «Dragon-2» в автоматическом режиме к узлу РМА2 Node2 (3 марта 2019 года);
- расстыковка американского корабля SpaceX Demo-1 «Dragon-2» в автоматическом режиме от узла РМА2 Node2 (8 марта 2019 года);
- стыковка ТПК «Союз МС-12» в автоматическом режиме к стыковочному узлу модуля МИМ1 (15 марта 2019 года). Сближение и стыковка проведены по четырехвитковой схеме;
- стыковка ТГК «Прогресс МС-11» в автоматическом режиме к СО1 РС МКС (4 апреля 2019 года). Сближение и стыковка проведены по двухвитковой схеме;
- сближение американского грузового корабля «Cygnus NG-11» с МКС, захват корабля манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту модуля Node1 (19 апреля 2019 года);
- сближение американского грузового корабля SpaceX-17 «Dragon» с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 (6 мая 2019 года);
- расстыковка корабля SpaceX17 «Dragon» от надирного порта модуля Node2 с помощью манипулятора SSRMS (3 июня 2019 года);
- расстыковка ТГК «Прогресс МС-10» от АО СМ РС МКС (4 июня 2019 года);
- расстыковка ТПК «Союз МС-11» от стыковочного узла МИМ2 (25 июня 2019 года);
- работы по разгрузке и укладке удаляемого оборудования в грузовые корабли;
- дополнительные работы по программе АС МКС;
- ТВ-приветствия и поздравления в обеспечении деятельности по связям с общественностью;
- фото- и видеосъемки жизнедеятельности на станции экспедиций МКС-57, МКС-58 и МКС-59 для сайта Государственной корпорации «Роскосмос» и социальных сетей, а также работы по программе символической деятельности.

С целью поддержания и восстановления в условиях длительного космического полета профессиональных знаний, навыков и умений, необходимых для успешного выполнения программы полета, с экипажем МКС-57/58/59 было проведено 17 бортовых тренировок и консультаций:

- по действиям в аварийных ситуациях и проверке готовности оборудования к аварийному покиданию МКС;
- перед выполнением «Выходов» в открытый космос;
- по телеоператорному режиму управления транспортными грузовыми кораблями;

– по выполнению спуска на ТПК «Союз МС-11» и укладке возвращаемого оборудования в СА.

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.

Совместный полет с другими экипажами МКС

Экипаж МКС-57/58/59 осуществлял совместный полет в периоды:

- с 3 по 20 декабря 2018 года с экипажем МКС-56/57 (рис. 4) в составе:
 - Прокопьев Сергей Валерьевич (бортинженер экспедиций МКС-56 и -57, Роскосмос, Россия);
 - Герст Александр (бортинженер экспедиции МКС-56, командир экспедиции МКС-57, ЕКА, Германия);
 - Ауньен-Чэнселлор Серина (бортинженер экспедиций МКС-56 и -57, НАСА, США);

• с 15 марта по 25 июня 2019 года с экипажем МКС-59/60 (рис. 5) в составе:

- Овчинин Алексей Николаевич (бортинженер экспедиции МКС-59, командир экспедиции МКС-60, Роскосмос, Россия);
- Хейг Ник (бортинженер экспедиций МКС-59 и -60, НАСА, США);
- Кук Кристина (бортинженер экспедиций МКС-59 и -60, НАСА, США).

С 20 декабря 2018 года по 15 марта 2019 года экипаж 58-й экспедиции состоял из 3 человек: Кононенко Олег Дмитриевич, Сен-Жак Давид и МакКлейн Энн.



Рис. 4. Экипаж экспедиции МКС-57



Рис. 5. Экипаж экспедиции МКС-59

Внекорабельная деятельность

11–12 декабря 2018 года космонавты Сергей Прокопьев и Олег Кононенко в скафандрах «Орлан МКС» совершили выход в открытый космос по программе ВКД-45А [1] (рис. 6).

Фактическое время выхода превысило расчетное и составило 7 часов 45 минут.

Основной целью выхода было проведение инспекции отверстия на внешней поверхности корпуса БО ТПК «Союз МС-09» с вскрытием экранно-вакуумной тепловой изоляции (ЭВТИ) и панели микрометеороидной защиты в районе определенного экипажем месте негерметичности.



Рис. 6. Космонавты Сергей Прокопьев и Олег Кононенко во время выполнения ВКД-45А

Главная особенность выхода заключалась в необходимости выполнения основной задачи в месте, не предназначенном для ВКД. В условиях отсутствия в рабочей зоне каких-либо штатных мест для фиксации скафандра в сочетании с необходимостью выполнять неординарные операции экипаж продемонстрировал отличную физическую подготовку и волевые качества, умение в сложной обстановке принимать грамотные оперативные решения, что в конечном итоге привело к положительному результату. Для оптимизации переходов по внешней поверхности станции экипаж использовал две грузовые стрелы модернизированные (ГСтМ), что позволило значительно сэкономить силы и время, необходимые для решения основной задачи.

29–30 мая 2019 года космонавты Олег Кононенко и Алексей Овчинин в скафандрах «Орлан МКС» выполнили выход в открытый космос по программе ВКД-46 (рис. 7).

Продолжительность выхода составила 6 часов 01 минуту.

Целевыми задачами являлись:

- приветствие космонавту А.А. Леонову в честь его 85-летия;
- монтаж поручня-перехода МИМ2-ФГБ;
- демонтаж адаптера с макетами термодатчиков ТП228 с поручня 6005 МИМ2;
- демонтаж устройств экспонирования № 15 и 16 по космическому эксперименту (КЭ) «Тест» (экспериментальные исследования возможности развития микродеструкции элементов конструкции модулей РС МКС под влиянием составляющих собственной внешней атмосферы и наличия условий для жизнедеятельности микрофлоры на поверхности гермокорпуса под ЭВТИ) с поручней МИМ2;
- проведение очистки наружной поверхности остекления иллюминатора ВЛ2 на МИМ2;
- снятие панелей № 1 и 2 по КЭ «Выносливость» (исследование влияния факторов космического пространства на характеристики механических свойств материалов космического назначения) на МИМ2;



Рис. 7. Космонавты Олег Кононенко и Алексей Овчинин во время выполнения ВКД-46

- изменение ориентации прибора блока контроля давления и осажде-
ний загрязнений на МИМ2;
- снятие свертка ткани с поручня 2312 СМ;
- взятие проб-мазков в зоне клапанов стыка вакуумной магистрали
СВМ15 (аварийный вакуумный клапан средств очистки атмосферы «Воз-
дух») и СВМ39 (аварийный вакуумный клапан блока очистки воздуха от
микропримесей) СМ в рамках КЭ «Тест»;
- отключение кабелей и демонтаж измерительного блока плазменно-
волнового комплекса ПВК2 со штанги с комплектом датчиков ШКД2 и ПВК1
со ШКД1 на СМ по первому этапу КЭ «Обстановка» (исследование в при-
поверхностной зоне МКС плазменно-волновых процессов взаимодействия
сверхбольших космических аппаратов с ионосферой) с последующей ути-
лизацией методом отталкивания.

Особенности «Выхода»:

Благодаря слаженному взаимодействию экипажа поставленные задачи выполнялись с опережением временного графика циклограммы. Олег Кононенко проявил отличные лидерские качества, грамотно поддерживая Алексея Овчинина в его первом выходе в открытый космос, что позволили оптимально распределить физические силы в процессе ВКД. Работа с запасом по времени и сохранение хорошего физического состояния экипажа позволили выполнить задачи по демонтажу и отталкиванию ШКД-1 и ПВК-1, запланированные как дополнительные и при наличии времени.

По программе АС МКС было выполнено три выхода в открытый космос:

1-й – 22 марта 2019 года по программе ВКД-52 (бортинженер экспедиций МКС-57, -58 и -59 Энн МакКлейн и бортинженер экспедиций МКС-59 и -60 Ник Хейг). Продолжительность выхода составила 6 часов 38 минут.

2-й – 29 марта 2019 года по программе ВКД-53 (бортинженеры экспедиций МКС-59 и -60 Ник Хейг и Кристина Кук). Продолжительность выхода составила 6 часов 42 минуты.

3-й – 8 апреля 2019 года по программе ВКД-54 (бортинженеры экспедиций МКС-57, -58 и -59 Энн МакКлейн и Давид Сен-Жак). Продолжительность выхода составила 6 часов 26 минут.

Выходы по программе АС МКС выполнялись из шлюзового отсека Airlock в скафандрах ЕМУ.

Научная программа

Научная программа в период полета космонавта О.Д. Кононенко в составе экипажа МКС-57/58/59 выполнялась в соответствии с «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пятьдесят седьмой и пятьдесят восьмой пилотируемых экспедиций МКС-57 и МКС-58» и «Программой реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период пятьдесят девятой и шестидесятой пилотируемых экспедиций МКС-59 и МКС-60» в части касающейсяся.

Из-за аварии ТПК «Союз МС-10», а также введения в программу полета МКС ВКД-45А, программа научно-прикладных исследований, планируемых в период экспедиции МКС-57, была изменена.

Перечень КЭ, распределенных по направлениям Долгосрочной программы НПИ, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Направления Долгосрочной программы НПИ	Наименование КЭ	Кол-во КЭ
Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	«Кристаллизатор», «Плазменный кристалл», «Перитектика», «Адамант», «Фламенко»	5
Исследование Земли и космоса	«БТН-Нейтрон», «Ураган», «Дубрава», «Сценарий», «Экон-М»	5
Человек в космосе	«Мотокард», «Профилактика-2», «Биокард», «Космокард», «Альгометрия», «Контент», «Взаимодействие-2», «ДАН», «Кардиовектор», «Пилот-Т», «Коррекция», «Матрешка-Р»	12
Космическая биология и биотехнология	«Биориск», «Феникс», «Структура», «Биопленка», «Пробиовит», «Константа-2», «Продуцент», «Магнитный 3D-биопринтер»	8
Технологии освоения космического пространства	«Вектор-Т», «Изгиб», «Идентификация», «Контроль», «Среда МКС», «Сепарация», «Визир», «Выносливость», «Таймер», «Альбедо», «ИМПАКТ», «МКС-Разворот», «Тест»	13
Образование и популяризация космических исследований	«РадиоСкаф», «Великое начало», «О Гагарине из космоса», «Интер-МАИ-75», «Ряска», «Сферы», «EarthKAM»	7
Итого:		50

Всего 50 экспериментов, из них:

- 5 КЭ «БТН-Нейтрон», «Биориск», «Изгиб», «МКС-Разворот», «РадиоСкаф» – без участия экипажа (в автоматическом режиме);
- 1 КЭ «Кристаллизатор» – совместно с Японским космическим агентством ДжАКСА;
- 1 КЭ «Плазменный кристалл» – совместно с ЕКА;
- 1 КЭ «Перитектика» – совместно с ЕКА и НАСА;
- 4 КЭ «Адамант», «Фламенко», «Сферы», «EarthKAM» – совместно с НАСА;
- 4 КЭ «Профилактика-2», «Биокард», «Коррекция», «Таймер» – в роли помощника.

Также были выполнены работы по контракту с ЕКА по утилизации научной аппаратуры (НА) «EXPOSE-R» и вспомогательного оборудования на ТГК № 439. Данное оборудование использовалось для выполнения 2 этапов КЭ «EXPOSE-R» по контракту с ЕКА по экспонированию образцов органических и биологических материалов в условиях открытого космоса

(1-й этап – в период экспедиций МКС-18–МКС-26 в 2008–2011 гг., 2-й этап – в период экспедиций МКС-40–МКС-46 в 2014–2016 гг.). НА «EXPOSE-R» и вспомогательное оборудование были перенесены из ФГБ и уложены в ТК № 439 по плоскости I, выполнено фотографирование уложенного оборудования с маркировкой, а также отметка в базе данных IMS. Полученные фотоснимки переданы на Землю через РСПИ. Работы были выполнены по Task List. Временные затраты составили 60 минут.

В период полета экипажа МКС-57/58/59 выполнялись следующие новые эксперименты:

– коммерческий биотехнологический эксперимент «Магнитный 3D-биопринтер» (отработка методики биофабрикации хрящевой ткани человека и щитовидной железы мыши из клеточных сфероидов в условиях микрогравитации посредством магнитного поля). Реализация данного КЭ стала пилотным проектом по отработке государственно-частного взаимодействия Госкорпорации «Роскосмос» с участниками коммерческих космических экспериментов. Организацией-заявителем данного эксперимента является частное учреждение «Лаборатория биотехнологических исследований «3D Биопринтинг Солюшенс» (г. Москва). Летный комплект НА по эксперименту был утерян в результате аварии ТПК «Союз МС-10». Эксперимент был проведен с использованием второго комплекта НА, доставленного на РС МКС ТПК «Союз МС-11»;

– технический эксперимент «Визир» с НА «СКП-УП» (исследование методов регистрации текущего положения и ориентации переносной НА ПКК). Эксперимент проводился с использованием НА «СКП-УП»;

– образовательный эксперимент «Ряска» (изучение механизмов ориентации в невесомости гравитационно- и фоточувствительных органов растений на различные факторы окружающей среды).

Выполнению российской научной программы космонавту О.Д. Кононенко удалось посвятить 312 часов 55 минут (из них 91 час 55 минут – по Task List), что составляет 21,7 % от общего фактического рабочего времени космонавта (1443 часа 25 минут).

Время, затраченное космонавтом на выполнение программы каждого КЭ, колеблется от 15 минут до 96 часов. Самыми продолжительными экспериментами были: КЭ «Экон-М» – 96 часов; КЭ «Сепарация» – 29 часов 55 минут; КЭ «Космокард» – 24 часа 45 минут; «Пилот-Т» – 22 часа и др.

Более 30 % времени программы НПИ экипажа было затрачено на выполнение КЭ «Экон-М».

Большой практический интерес вызывают вопросы обеспечения систем жизнедеятельности космических аппаратов, которые рассматриваются в рамках КЭ «Сепарация». Целью эксперимента является испытание и отработка в условиях микрогравитации системы регенерации воды из урины СРВ-У-РС в МИМ1. На выполнение этого эксперимента космонавт О.Д. Кононенко уделил около 10 % времени программы НПИ.

Исследованию вопросов адаптации организма к условиям космического полета и надежности профессиональной деятельности космонавта в длительном космическом полете посвящены эксперименты «Космокард» и «Пилот-Т». Трудозатраты на выполнение этих работ составили около 8 и 7 % времени программы НПИ соответственно.

Следует отметить, что из-за аварии ТПК «Союз МС-10» Олег Кононенко один в течение почти 3 месяцев (с 20 декабря 2018 года по 15 марта 2019 года) выполнял на РС МКС все служебные операции. К примеру, за весь полет только на техническое обслуживание РС МКС, включая ремонтно-восстановительные работы, он затратил 376 часов 20 минут.

В последние годы на выполнение российской научной программы в период экспедиций МКС-23–МКС-40 в среднем затрачивалось 32 % фактического рабочего времени космонавтов, в период экспедиций МКС-41–МКС-51 – 38,5 %.

Начиная с апреля 2017 года наблюдается снижение объема выполняемых работ в этом направлении. Так, в период экспедиций МКС-51– МКС-59 в среднем уже затрачивалось 27,7 % фактического рабочего времени экипажей (рис. 8), что, безусловно, связано с сокращением числа российских космонавтов на борту МКС.

На рис. 9 приведено распределение количества КЭ, выполненных экипажами МКС с 2017 года.

По завершении космического полета в процессе встреч со специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина и смежных организаций космонавтом О.Д. Кононенко был высказан ряд замечаний и предложений по конструкции и организации работ на ТПК, ТГК и РС МКС, научной аппаратуре и программе НПИ, информационному обеспечению и планированию деятельности экипажу, ВКД, подготовке космонавтов и т.д. в интересах дальнейшего совершенствования космической техники, организации деятельности экипажей в полете и повышения качества подготовки космонавтов.

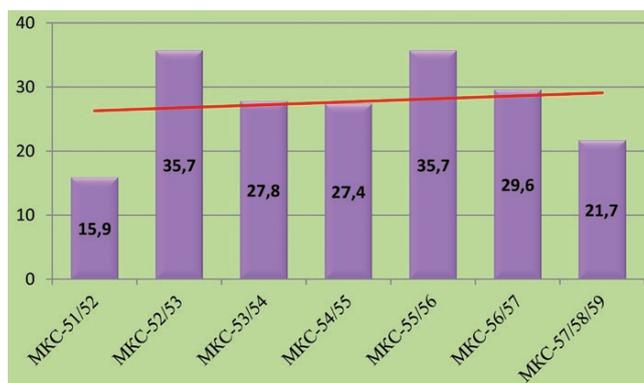


Рис. 8. Фактическое рабочее время экипажей МКС на выполнение программы НПИ с 2017 года (в процентах от общего фактического рабочего времени)

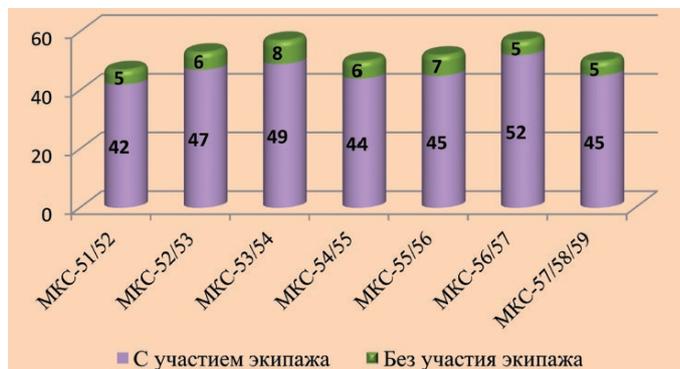


Рис. 9. Распределение количества КЭ, выполненных экипажами МКС с 2017 года

Выводы

Наземная подготовка по ТПК «Союз МС-11» и РС МКС, а также подготовка на борту МКС позволили экипажу МКС-57/58/59 успешно выполнить программу космического полета.

В процессе космического полета большое внимание уделялось вопросам безопасности: проводились инструктажи по безопасности, бортовые консультации и тренировки по действиям в аварийных ситуациях и ВКД.

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

Тесное взаимодействие экипажа МКС-57/58/59 с экипажами МКС-56/57 и 59/60 и персоналом Центра управления полетами способствовало эффективной деятельности на борту МКС.

По результатам послеполетных встреч экипажа со специалистами составлен план-график мероприятий по устранению замечаний и реализации предложений космонавта О.Д. Кононенко.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прокопьев С.В. Основные задачи подготовки и результаты деятельности экипажа МКС-56/57 при выполнении программы космического полета // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 2(31). – С. 15–16.

REFERENCE

- [1] Prokopiev S.V. Main tasks of training and results of activity of the ISS crew for Expedition 56/57 when carrying out the Mission Plan // Manned Space Flights. – 2019. – No 2(31). – pp. 15–16.

МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-58/59 (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-58/59. 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.

Medical Aspects of Ensuring In-Flight Safety of the ISS Crew for Expedition 58/59 (Express Analysis). V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova, E.G. Khorosheva, V.V. Krivolapov

The article presents the results of medical support of the ISS-58/59 expedition crew. It gives a brief description of the medical support system, shows the main results of the implementation of the program for monitoring cosmonauts' health status and the ISS RS environment during the flight, as well as the use of onboard preventive means to maintain cosmonauts' performance and health in the flight.

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

Выполнение программы полета

Полет в составе экспедиций:

– экспедиция МКС-58 – с 20 декабря 2018 года по 15 марта 2019 года в составе трех человек (один представитель Роскосмоса, один представитель NASA и один представитель Канады);

– экспедиция МКС-59 – с 15 марта 2019 года по 24 июля 2019 года в составе шести человек (два представителя Роскосмоса, три представителя NASA и один представитель Канады).

Длительность полета одного российского, одного американского и одного канадского членов экипажа, прибывших на корабле «Союз МС-11», составила 204 суток.

Этапы полета экспедиции

03.12.18 г. – выведение ТПК «Союз МС-11» № 741 – 11:31:52 GMT/14:31:52 ДМВ (4-витковая схема сближения и стыковки). Стыковка ТПК «Союз МС-11» № 741 к МИМ2 – 17:33 GMT/20:33 ДМВ.

24.06.19 г. – расстыковка ТПК «Союз МС-11» № 741 от МИМ2 ~ 23:25 GMT/02:25 ДМВ (25.06.19 г.). Время посадки – 05:47 ДМВ.

Основные динамические операции

05.12.18 г. – выведение американского корабля SpX-16 «Dragon» – 18:16 GMT/21:16 ДМВ.

08.12.18 г. – стыковка корабля SpX-16 «Dragon»; установка манипулятором SSRMS на надирный порт Node2 – 15:34 GMT/18:34 ДМВ. ОПЛ – 09.12.18 г.

20.12.18 г. – расстыковка ТПК № 739 от МИМ1 – 01:40 GMT /04:40 ДМВ.

13.01.19 г. – расстыковка корабля SpX-16 «Dragon» манипулятором SSRMS – 19:54 GMT /22:54 ДМВ.

25.01.19 г. – расстыковка ТПК № 439 от СО1 – 12:55 GMT/15:55 ДМВ.

08.02.19 г. – расстыковка корабля NG-10 «Cygnus» от Node1 – 13:18 GMT. Освобождение от манипулятора SSRMS – 16:17 GMT.

02.03.19 г. – выведение корабля SpX Demo-1 «Dragon-2» – 07:49 GMT/10:49 ДМВ.

03.03.19 г. – стыковка корабля SpX Demo-1 к PMA2 Node2 – 10:51 GMT/13:51 ДМВ.

08.03.19 г. – расстыковка корабля SpX Demo-1 «Dragon-2» – 07:27 GMT/11:27 ДМВ. Приводнение – 13:45 GMT/16:45 ДМВ.

14.03.19 г. – выведение «Союз МС-12» ТПК № 742 – 22:14 ДМВ/19:14 GMT.

15.03.19 г. – стыковка ТПК «Союз МС-12» № 742 к МИМ1 – 01:01 GMT/04:01 ДМВ.

04.04.19 г. – выведение ТПК № 441 – 14:01:34 ДМВ/11:01:34 GMT.

Стыковка ТПК № 441 к СО1 – 14:22:30 GMT/17:22:30 ДМВ (двухвитковая схема).

04.05.19 г. – старт корабля «Dragon» (SpX-17) – 06:48 GMT/09:48 ДМВ.

06.05.19 г. – стыковка корабля «Dragon» (SpX-17) – 13:31 GMT/16:31 ДМВ.

03.06.19 г. – расстыковка корабля SpX-17 «Dragon».

04.06.19 г. – расстыковка ТПК № 440 от АО СМ. Трасст. – 08:39 GMT/11:39 ДМВ.

*Внекорабельная деятельность (ВКД)**в СК «Орлан-МКС»:*

11.12.18 г. – ВКД-45А – БИ-1, БИ-4 МКС-57. ОВЛ – 13:59 GMT/16:59 ДМВ, ЗВЛ – 23:44 GMT/02:44 ДМВ (12.12.18 г.).

Общее время пребывания в открытом космосе – 7 ч 45 мин (на 1 час 14 минут больше запланированного).

29/30.05.19 г. – ВКД-46 – КЭ, БИ-4 МКС-59. ОВЛ – 13:42 GMT/16:42 ДМВ, ЗВЛ – 21:43 GMT/00:43 ДМВ (12.12.18 г.).

Общее время пребывания в открытом космосе – 6 ч 41 мин.

в EMU:

22.03.19 г. – ВКД-52 АС – БИ-3, БИ-5 МКС-59. Продолжительность – 6 часов 38 минут.

29.03.19 г. – ВКД-53 АС – БИ-5 и БИ-6 МКС-59. Продолжительность – 6 часов 42 минуты.

08.04.19 г. – ВКД-54 АС – БИ-2, БИ-3. Продолжительность – 6 часов 26 минут.

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

Старт экипажа ТПК «Союз МС-11» с членами экипажа МКС-58 состоялся 03.12.18 г. в 14:31:52 ДМВ. Сближение проходило по 4-витковой схеме сближения, стыковка ТПК «Союз МС-11» с МКС проведена 03.12.18 г. в автоматическом режиме в 17:33 GMT.

В сутки стыковки (рис. 1) время работы экипажа ТПК «Союз МС-11» составило примерно 22 часа. После выполнения заключительных работ по стыковке ТПК космонавтам был предоставлен сон продолжительностью 9 часов. Дополнительных дней отдыха не выделялось.

До 20.12.18 г. в связи с изменениями программы полета МКС продолжались отступления от основных требований. Прежде всего, это касалось увеличения продолжительности рабочей зоны до 8 часов; отсутствия выходных дней; непредоставление 1 часа для адаптации к МКС.

С первых дней пребывания на МКС российские члены экипажа были заняты работами по подготовке к выполнению внепланового ВКД-45А 11.12.18 г. Рабочая нагрузка в эти дни превышала нормативные показатели на 2–4 часа. Были эпизоды отмены запланированных физических тренировок. Выделенный накануне ВКД полдня отдыха был оперативно заменен на выполнение дополнительных необходимых работ по подготовке к ВКД.

11.12.18 г. экипаж выполнил ВКД-45А. Время ВКД составило 7 часов 45 минут. Основная задача ВКД-45А была выполнена полностью. При штатном подъеме экипажа в 6:00 GMT период бодрствования составил 23 часа.

Сон состоялся с 03:30 GMT до 13:00 GMT 12.12.18 г. продолжительностью 9,5 часа.

В последующие недели до посадки МКС-57 у экипажа были все дни рабочие, включая субботу и воскресенье. Рабочая нагрузка планировалась в пределах 7–7,5 часа.

8.12.18 г. состоялось подписание акта о передаче смены по РС, а также церемония передачи командования – на БИ-1 были возложены функции КЭ МКС-58/59.

быть выполнены на усмотрение экипажа во время рабочего дня или в личное время вне рабочих часов экипажа, позволяет экипажу более свободно регулировать свой рабочий день, повысить эффективность и использовать свободное время для выполнения большей работы по своему усмотрению).

На 5-й неделе (26.12.18 г.–01.01.19 г.) КЭ выполнял сложную работу по замене и проводил проверку герметичности вакуумной магистрали СОА «Воздух».

РТО оценивался как напряженный (все 5 рабочих дней отмечены напряженностью и из двух дней отдыха один день был рабочим днем).

Последующие 9 недель КЭ выполнял плановые работы в штатном режиме и инициативно занимался укладкой удаляемого оборудования в ТГК № 439 и разгрузкой ТГК № 440, выполнением работ и экспериментов по программе Task List.

На 14-й неделе (27.02.19 г.–05.03.19 г.) из-за имевших место значительных переработок в рабочие и выходные дни при выполнении работ по монтажу оборудования широкополосной системы связи ГМО рекомендовала предоставить КЭ дополнительный день отдыха.

На 15-й неделе в дополнение к штатным выходным дням было предоставлено полдня отдыха в качестве компенсации за переработки.

На 16-й неделе (13–19.03.19 г.) 14.03.19 г. в 22:14 ДМВ состоялся старт ТПК «Союз МС-12» № 742 с экипажем в составе представителя Роскосмоса, представителя NASA и представителя Канады. Стыковка к МИМ1 проведена штатно по 4-витковой схеме сближения в автоматическом режиме в 01:01 GMT/04:01 ДМВ 15.03.19 г.

Стыковка проводилась в ночное время, в связи с чем для экипажа МКС было предусмотрено изменение РТО: 14.03.19 г. подъем штатно (06:00 GMT), после выполнения ряда работ планировался сон/отдых с 14:00 GMT до 18:30 GMT продолжительностью 4,5 часа. Рабочая нагрузка у КЭ составила 8 часов, зона бодрствования после дневного сна – 14,5 часа. После выполнения всех запланированных работ членам экипажа МКС было предоставлено время для сна и отдыха с 09:00 GMT (15.03.19 г.) до 06:00 GMT (16.03.19 г.) продолжительностью 21 час.

Последующие 10 недель КЭ выполнял работы в штатном режиме. Отмечалось увеличение фактического времени от 30 минут до 3,5 часа за счет выполнения дополнительных работ и увеличения времени при выполнении плановых работ, выполнения работ и экспериментов по программе Task List.

С 08.05.19 г. космонавты приступили к подготовке к предстоящей ВКД-46 в соответствии с детальными планами суток.

В день проведения ВКД-46 (29.05.19 г.) подъем состоялся штатно (6:00 GMT). После выполнения подготовительных работ КЭ и БИ-4 осуществили операцию «Выход» ВКД-46. Фактическое время выполнения ВКД-46 составило 6 ч 01 мин, что на 14 мин меньше запланированного времени (плановое время 6 ч 15 мин). ОВЛ состоялось 18:42 ДМВ (29.05.19 г.); ЗВЛ –

00:43 ДМВ (30.05.19 г.). Экипаж работал уверенно и слаженно, все задачи ВКД-46 выполнены. РТО экипажа РС в день проведения ВКД-46 (29.05.19 г.) оценивается как напряженный – время работы у КЭ составило по 16,5 часа, период бодрствования – 21 час. Отход ко сну состоялся в 03:00 GMT (30.05.19 г.), сон/отдых продолжался 10 часов (до 13:00 GMT 30.05.19 г.). После подъема КЭ выполнял плановые работы (3 часа) по приведению РС МКС в исходное состояние после ВКД и работы с СК.

Последующие 2 недели КЭ выполнял работы в штатном режиме. С 10.06.19 г. у КЭ рабочая зона была сокращена на 1 час, а этот час ежедневно планировался на подготовку к возвращению на Землю.

На 30-й неделе (19–25.06.19 г.) у КЭ было 6 рабочих дней. Рабочая нагрузка планировалась в пределах 5 ч 20 мин – 5 ч 50 мин.

Фактическое время работы увеличивалось за счет выполнения дополнительных инициативных работ по укладке возвращаемого оборудования в ТПК № 741 и увеличения времени выполнения плановых работ.

23.06.19 г. был подписан Акт о передаче смены по РС от КЭ к БИ-4 и проведена церемония передачи командования. Функции КЭ МКС-60 были возложены на БИ-4.

Для обеспечения расстыковки и посадки в ночное время суток РТО экипажа МКС и ТПК «Союз МС-11» № 741 был изменен (рис. 2).

Накануне расстыковки и посадки (24/25.06.19 г.) продолжительность зоны сна составила 14,5 часа.

После выполнения всех запланированных работ по подготовке к расстыковке ТПК «Союз МС-11» № 741 экипаж перешел в транспортный корабль. ЗПЛ проведено в 20:15 GMT/23:15 ДМВ (24.06.19 г.). Расстыковка ТПК «Союз МС-11» № 741 от МИМ2 МКС состоялась в 23:25 GMT (24.06.19 г.)/ 02:25 ДМВ (25.06.19 г.). Посадка СА в заданном районе – 05:47 ДМВ 25.06.19 г. В сутки расстыковки и посадки рабочая нагрузка КЭ составила 12 ч 10 мин (6 ч 40 мин на МКС и 5 ч 30 мин в ТПК). Период бодрствования (от подъема до посадки ТПК № 741) – 15 часов.

Общая продолжительность экспедиции МКС-57/58/59 составила 204 суток, из которых планировались 137 рабочих дней и 67 дней отдыха.



Рис. 2. РТО экипажа МКС на период посадки ТПК «Союз МС-09»

Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, из 67 дней отдыха у КЭ было всего 8 полноценных дней отдыха, когда время работы не превышало 2 часов, и 22 неполных дня отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от 2 до 4 часов. При этом 37 дней, предназначенных для отдыха, отмечались как рабочие дни, когда ежедневное время работы составляло 4,5 и более часов.

Суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха составила 113 часов 55 минут за весь полет. Фактическое время выполнения плановых и дополнительных работ в дни отдыха составило 295 часов 45 минут. Из них на работы и эксперименты по программе Task List в дни отдыха фактически было затрачено 125 часов 35 минут.

За весь полет на проведение всех дополнительных работ (по указанию Земли, на работы с превышением плановых сроков, по инициативе экипажа и по Task List) КЭ затратил 406 часов, что равноценно 63 рабочим дням.

Из 30 полетных недель 10 недель были отмечены признаками полной или частичной напряженности РТО, связанной с:

- приходом на станцию и убытием со станции очередных экипажей;
- проведением погрузочно-разгрузочных работ с грузовыми и пилотируемыми кораблями;
- подготовкой и осуществлением внекорабельной деятельности (два ВКД);
- выполнением заданий по программе Task List.

Большой объем дополнительных работ, выполненных в полете, во многом обеспечивался ограничением свободного времени как в рабочие дни, так и в дни отдыха.

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).

Российский член экипажа выполнил 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 «Союз МС-11»: 03.12.18 г.;
- перед и во время проведения ВКД-45А: 11–12.12.18 г.;
- перед и во время проведения ВКД-46: 29–30.05.19 г.;
- при проведении ОДНТ-тренировок: 11.06.19 г.; 14.06.19 г.; 17.06.19 г., 20.06.19 г.; 22.06.19 г.; 23.06.19 г.;
- во время расстыковки и спуска на Землю ТПК «Союз МС-11» 24–25.06.19 г.;

– при проведении научных экспериментов МБИ-39 «ДАН»: 08.01.19 г.; 30.01.19 г.; 27.02.19 г.; 27.03.19 г.; 06.06.19 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 (таблица 1).

Таблица 1

Параметры микроклимата на РС МКС

Параметры	Минимальная	Максимальная	Норма
Д РО мм рт. ст.	725	765	660–860
Д ПХО мм рт. ст.	725	754	660–860
РО ₂ мм рт. ст.	147	181	140–200
РСО ₂ мм рт. ст.	1,6	3,3–6,7	<4,0–4,5
РН ₂ O мм рт. ст.	6,0	12,0	5–20
ОВ, %	20	49	40–75
Т ПХО, °С	16,8	22,7	18–28
ТРОБД, °С	20,0	27,0	18–28
Т РОБД, °С	20,0	27,9	18–28
Т над столом, °С	21,7	28,9	18–28
Т каюта правая, °С	19,6	27,5	18–28
Т ФГБ, °С	19,6	26,4	18–28
Т СО1, °С	16,8	25,3	18–28

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

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

25.02.19 г. на вопрос ЦУПа-М о самочувствии при такой низкой влажности (ОВ в РС МКС = 27 %), КЭ ответил, что «ощущения как обычно, может, потеплее стало, чем было раньше, дискомфорта никакого... режим работы СКВ1 и СКВ2 менять не надо».

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП, СРВ-К2М, СКВ1/СКВ2, СОА «Воздух», СКО «Электрон-ВМ».

УОВ «Поток 150МК» включались ежедневно на 6 часов; в ФГБ – в автоматическом режиме, в СМ – в ручном.

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

При повышении уровня CO₂ (выше 3 мм рт. ст., чаще на американском сегменте) включались поглотительные патроны.

Параметры микроклимата ТПК показаны в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Параметры микроклимата ТПК «Союз МС-11» № 741
на участке выведения, орбитального полета и стыковки с МКС (03.12.18 г.)

Параметры	Минимально	Максимально	Допустимый диапазон
ДСА мм рт. ст.	775	827	450–970
ДБО мм рт. ст.	762	835	450–970
РО ₂ мм рт. ст.	161	205	140–310
РСО ₂ мм рт. ст.	1,1	4,2	<10
РН ₂ О мм рт. ст.	14,9	19,8	<20
ОВ, %	63	79	40–75
ТСА, °С	24,5	26,0	18–25
ТБО, °С	17,7	21,6	18–25

Таблица 3

Параметры микроклимата ТПК «Союз МС-11» № 741
на этапе расстыковки и спуска (24–25.06.19 г.)

Параметры	Минимально	Максимально	Допустимый диапазон
ДСА мм рт. ст.	737	803	450–970
ДБО мм рт. ст.	637	744	450–970
РО ₂ мм рт. ст.	147	197	140–310
РСО ₂ мм рт. ст.	1,6	3,8	<10
РН ₂ О мм рт. ст.	11,7	14,7	<15
ОВ, %	49	60	30–75
ТСА, °С	23,1	26,8	18–25
ТБО, °С	21,8	23,5	18–25

Замечаний на температурно-влажностный дискомфорт от экипажа ТПК не поступало.

Замечания по работе СОЖ, СОГС и СТР

В период 26–30.12.18 г. СОА «Воздух» была отключена. 26 и 27.12.18 г. проведена запланированная замена вакуумной магистрали СОА «Воздух». При проведении проверки собранной вакуумной магистрали обнаружена ее негерметичность. 28.12.18 г. проводились РВР, после чего повторно обнаружена негерметичность вакуумной магистрали. По рекомендации специалистов, после анализа ситуации 30.12.18 г., восстановлена штатная конфигурация вакуумных магистралей СОА «Воздух» и БМП, после чего вакуумные магистрали герметичны, системы включены в работу и функционируют штатно.

В начале полета отмечалась нештатная работа СКВ1 и СКВ2: неоднократно происходило их нештатное самопроизвольное отключение (СКВ1 – «температура хладона ниже нормы», СКВ2 – в связи со срабатыванием токовой защиты компрессорной установки). Проводились перезапуски, тестирования и попытки РВР.

После ремонтных работ, проведенных в феврале 2019 года, система функционирует штатно.

СКО «Электрон-ВМ» была отключена 26.03–01.04.19 г. в связи с формированием некорректных ТМ параметров. После анализа ситуации и реализации рекомендаций специалистов система была включена в работу.

Периодически фиксировались срабатывания датчиков дыма в ФГБ и СМ.

По докладам экипажа, запаха гари, дыма и других признаков возгорания обнаружено не было, проводился анализ воздуха анализатором продуктов горения CSA-CP – показания были в норме. Срабатывание сигнализации расценивалось как ложное. Возможно, это было связано с увеличением количества пыли при работах экипажа за панелями и при чистке вентиляционных решеток,

14.01.19 г. зафиксировано срабатывание аварийно-предупредительной сигнализации «Пожар» на американском сегменте МКС в корабле «Cygnum» (NG-10). Экипаж выполнил замеры состояния атмосферы МКС с помощью газоанализатора CSA-CP – все показания в норме. По докладу ЦУПа-Х, срабатывание датчика дыма признано ложным.

05 и 09.04.19 г. зафиксировано срабатывание пожарной сигнализации в АС (от датчика дыма Т2 во время использования тренажера). При осмотре станции дыма или других признаков возгорания не обнаружено. Выполнены замеры анализатором продуктов горения CSA-CP в АС – показания в норме, «нули». Срабатывание сигнализации расценено как ложное. ЦУПом-Х принято решение отключать эти датчики на время тренировок на Т2 и включать в ночное время.

Радиационная обстановка на МКС

За время полета радиационная обстановка внутри станции оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у КЭ (БИ-1) составила 5,96 сГр (5959 мрад), что не превышает допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и ГОСТ 25645.215-85.

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

В каюте правого борта СМ установлена защитная «шторка» и средне-суточная мощность поглощенной дозы почти в 1,7 раза ниже, чем в каюте левого борта.

Все датчики находятся в работоспособном состоянии. Значения измеренной мощности поглощенной дозы остаются в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).

Во время выполнения ВКД-45А, ВКД-46, ВКД-52–54 проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «Пилле-МКС».

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

21.06.19 г. выполнена замена карты памяти дозиметра «Пилле-МКС», укладка карты 32-016 (00071943R) возвращена на ТПК 741.

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

На протяжении всего полета БИ-1/КЭ санитарно-гигиеническую обстановку на станции в основном оценивал как комфортную.

Еженедельно экипаж проводил плановую уборку станции.

При плановом контроле качества атмосферы РС МКС пробоотборниками ИПД-СО (ежемесячно) и ИПД-ННЗ (каждые 3 месяца) монооксида углерода и аммиака в СМ не обнаружено.

26–27.12.18 г. при работах с СОА «Воздух» КЭ использовал средства индивидуальной защиты: полумаски, очки, перчатки. При контроле воздуха в районе проведения работ пробоотборниками ИПД (26, 27 и 30.12.18 г.), аммиака не обнаружено.

31.12.18 г. в рамках еженедельной плановой уборки станции проведена обработка правой каюты СМ с применением комплекта «Фунгистат» в соответствии с рекомендациями специалистов ИМБП.

03.03.19 г. был проведен анализ атмосферы на фреон (измерение фона) анализатором ФИТ в СМ, а также газоанализатором CSA-CP и американским детектором фреона в корабле SpX Demo-1 до прокладки воздуховода – все показатели нулевые.

КЭ использовал ИПК во время входа в корабль SpX Demo-1 для отбора пробы воздуха пробоотборником АК-1М.

03.03.19 г. (в 18:59 GMT) КЭ доложил о наличии «химического» запаха в СМ. Американские члены экипажа МКС сообщили, что ощущали подобный «химический запах» в модулях LAB, Node2 и в районе в SpX Demo-1; с их слов запах мигрировал по модулям и наиболее сильно сконцентрировался в СМ. При осмотре станции признаков пожара, дыма и запаха гари не обнаружено; выполнены замеры анализатором CSA-CP – показания нулевые. Дополнительно по рекомендации ЦУПа-Х были взяты пробы на фреон в SpX Demo-1, модулях LAB, Node2 и СМ – показания нулевые. По рекомендации ГМО КЭ отобрал пробу воздуха пробоотборником АК-1М в месте максимального ощущения запаха. ЦУП-Х сообщил, что после входа в SpX Demo-1 по показаниям AQM (монитор качества атмосферы), находящегося в модуле LAB, заметно повысился только уровень изопропанола (IPA) и, возможно, также повышен уровень этанола, но при этом они на порядок ниже ПДК. По докладам КЭ, со временем интенсивность запаха значительно уменьшалась. 04.03.19 г. на вопрос о наличии запаха КЭ ответил, что не ощущает его.

11.03.19 г. во время проверки блока вакуумирования СРВ-У в МИМ1 после длительного перерыва в работе (эксперимент «Сепарация») КЭ доложил, что ощущался запах урины и зафиксировано появление небольшого количества мелкодисперсных капель жидкости коричневого цвета (смесь консерванта и солевого раствора) из ВН2-2. КЭ были даны рекомендации использовать средства индивидуальной защиты (перчатки, маску, очки). КЭ собрал жидкость с помощью бумажных полотенец и упаковал все в двойные герметичные пакеты для последующего удаления. После демонтажа ЕДВ-У из СРВ-У и проведения ее осмотра КЭ доложил, что при извлечении мягкой оболочки из корпуса увидел вылетающий мелкодисперсный порошок белого цвета, осевший на пылефильтрах в СМ (он отметил, что сознательно проводил данную процедуру в районе пылефильтров для минимизации возможных последствий в случае повреждения мягкой оболочки ЕДВ-У). По рекомендации специалистов КЭ выполнил замену кассет пылефильтров ПФ1-4 в СМ; старые пылефильтры и демонтированная ЕДВ-У, а также перчатки, маски и использованные полотенца помещены в два мешка КБО и уложены на удаление в ТГК.

19.04.19 г. при работе с БВК СОА «Воздух» экипажу было рекомендовано использовать полумаски, очки, перчатки.

Определение индивидуальной акустической нагрузки проводилось за дневной и ночной периоды времени с использованием акустического монитора в режиме акустической дозиметрии (17–19.12.18 г., 12–14.03.19 г., 13–15.04.19 г.).

Место сна БИ-1/КЭ на момент проведения исследований – левая каюта СМ.

Статические измерения эквивалентных уровней звука в СМ и ФГБ за дневной и ночной периоды выполнены в модулях ФГБ и СМ РС МКС:

– СМ (район СОА «Воздух», пп. 221/222); район рабочего стола, СМ (район СКВ); ФГБ (при закрытой панели 402).

Исследование акустической обстановки в модулях ФГБ и СМ РС МКС показало следующее:

1. На рабочих местах в СМ РС МКС уровни звука превышали допустимые значения на 1,1–4,0 дБА с максимальным значением в районе СОА «Воздух». По сравнению с предыдущими замерами от 20.06.18 г. уровни звука на рабочих местах СМ понизились на 1,2–3,0 дБА, максимально в районе центрального поста.

2. В каютах СМ РС МКС уровни звука превышали допустимые значения на 3,7–3,9 дБА. По сравнению с предыдущими замерами от 20.06.18 г. уровни звука в каютах повысились на 3,9 дБА в правой каюте, а в левой каюте практически не изменились.

3. На рабочих местах в ФГБ уровни звука превышали допустимые значения на 1,0–4,2 дБА, с максимальным значением в районе люка со стороны СМ. По сравнению с предыдущими замерами от 13.12.17 г. уровни звука в ФГБ понизились на 1,1–6,2 дБА во всех исследованных контрольных точках.

На РС МКС уровни звука имели тенденцию к снижению на рабочих местах на 1,1–6,2 дБА. В связи с тем, что уровни звука в каютах СМ РС МКС превышали допустимые значения для периода сна и имели тенденцию к повышению, КЭ и БИ-4 рекомендовалось использование индивидуальных средств защиты от шума (наушники с активным шумоподавлением), а также закрывать дверь каюты на время сна. КЭ использовал наушники с активным шумоподавлением во время сна и в течение дня при работе с шумящим оборудованием.

По результатам контроля микробиологического состояния атмосферы МКС от 18.12.18 г.:

– бактерии были обнаружены в 10 из 10 исследованных зонах. Количественный уровень обсемененности воздушной среды представителями бактериальной флоры не превышал регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для бактерий, равный 1000 КОЕ в 1 м³;

– плесневые формы грибов были обнаружены в 5 из 10 исследованных зонах. Содержание микромицетов в воздушной среде не превышало регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для плесневых форм грибов, кроме одной поверхности – «Союз МС-11» № 741 в средней части.

По результатам контроля санитарно-эпидемиологического состояния среды обитания РС МКС от 18.12.18 г. бактерии были обнаружены на всех 23 исследованных поверхностях интерьера и оборудования, и их содержание превышало нормативный показатель, регламентируемый SSP 50260 MORD в двух зонах: СО1 поверхность выходного люка и ФГБ, люк ПГО-ПхО. На остальных 21 поверхности интерьера и оборудования содержание бактерий не превышало нормативный показатель, регламентируемый SSP 50260 MORD.

Жизнеспособные фрагменты плесневых грибов не были обнаружены ни в одной из исследованных зон.

В связи с этим была проведена обработка с помощью комплекта «Фунгистат» в двух зонах: СО1 поверхность выходного люка и ФГБ – люк ПГО-ПхО.

Питание и водопотребление

На всем протяжении полета у космонавта замечаний по питанию и водопотреблению не было. 09.04.19 г. КЭ сообщил, что в 16-суточном рационе основную массу блюд составляют продукты, которые он и БИ-4 не едят. Например, если первых блюд в рационе 16, то 6 из этого списка КЭ не ест вообще, а то, что нравится и с удовольствием ел бы, представлено в единичном экземпляре. Свои штатные контейнеры приходится открывать на неделю раньше. Того, что не употребляется из всего рациона, набирается примерно целый контейнер.

Использование средств профилактики

КЭ (БИ-1) планировались ознакомительные занятия на тренажерах БД-2 (06.12.18 г.), ВБ-3М (07.12.18 г.) и инструктаж по тренажеру ARED (08.12.18 г.).

С 09.12.18 г. физические тренировки ему планировались по российской программе общей продолжительностью 2,5 часа, преимущественно

2 раза в день, (периодически блоком) на БД-2 и ВБ-3М, который чередуется через день с ARED.

С 31.05.19 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 11.06.19 г.).

КЭ профилактическое изделие «Браслет» не использовал.

ФТ КЭ выполнял в полном соответствии с бортовой документацией и рекомендациями специалистов.

24.03.19 г. КЭ сообщил, что не регулировался притяг БД-2. Экипаж самостоятельно устранил проблему (соскочил корд с направляющих роликов) и КЭ выполнил ФУ, но на ПУ сигнал об ошибке – «!» не снялся. Позже КЭ доложил, что потрогали, пошевелили кабели, где-то подтянули электрические разъемы и ошибка снялась, притяг регулируется во всем диапазоне.

23.05.19 г. во время проведения МО-5 у КЭ произошло складывание педалей велотренажера. Экипажу была отправлена радиограмма с рекомендациями по устранению поворота правого шатуна велотренажера ВБ-3М.

Периодически на протяжении полета проводились беседы со специалистами по физическим тренировкам ИМБП и ЦПК.

На всех этапах полета уровень физической тренированности космонавта оценивался как хороший.

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.

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; контролировало 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.

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

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.072

DOI 10.34131/MSF.19.3.37-46

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МЕЖВЕДОМСТВЕННОЙ КОМИССИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРЕНИРОВОК НА ТРЕНАЖЕРАХ РС МКС

В.Н. Саев, В.В. Батраков, Т.Ю. Маликова

Докт. техн. наук, доцент В.Н. Саев; В.В. Батраков; Т.Ю. Маликова
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлена структура формализованных информационных потоков системы отображения информации (СОИ) пульта контроля и управления (ПКУ) тренажерного комплекса (ТК) российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС). Данную информацию используют члены межведомственной экзаменационной комиссии (МЭК) для анализа и оценки деятельности экипажа и оперативный персонал ПКУ для управления экзаменационной комплексной тренировкой (ЭКТ). Разработана информационная модель получения необходимой информации членами МЭК от СОИ ПКУ для анализа и оценки деятельности экипажа. Представлен состав, вид, объем и размещение выводимой информации на рабочем месте (РМ) членов МЭК.

Ключевые слова: межведомственная экзаменационная комиссия, экзаменационная комплексная тренировка, тренажерный комплекс, пульт контроля и управления, система отображения информации, информационная модель.

Information Support of the Interdepartmental Examining Board While Training Sessions on the ISS RS Simulator Complex.

V.N. Saev, V.V. Batrakov, T.Yu. Malikova

The paper shows the structure of formalized information traffic generated by the information display system (IDS) of the monitoring and control panel (M&CP) of the ISS RS Simulation Complex (SC). This information is used by members of the Interdepartmental Examining Board (IDEB) to analyze and assess crew and by operational personnel of the M&CP to manage the examining complex training (ECT). The information model of getting required data from the M&CP IDS by the IDEB members was developed to analyze and assess crew operation. The paper gives the content, kind, volume, and placing information outputted on the workplace of the IDEB members.

Keywords: Interdepartmental Examining Board, examining complex training, information display system, information model.

Заключительным этапом в программе подготовки экипажей к предстоящему полету является ЭКТ.

Для проведения ЭКТ создается МЭК. МЭК представляет группы специалистов из числа сотрудников Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, опытных космонавтов, представителей организаций-разработчиков летного изделия, организаций-постановщиков космических экспериментов (КЭ) и других заинтересованных организаций [1].

Основные данные для членов МЭК предоставляются СОИ. В процессе ЭКТ контроль работоспособности и, при необходимости, управление имитацией полета посредством СОИ осуществляет оперативный персонал ПКУ. В состав оперативного персонала входят бригада инженеров и бригада инструкторов [2]. На рис. 1 представлены пользователи СОИ ПКУ и их функциональные обязанности.

На ЭКТ СОИ ПКУ обеспечивает пользователей данными:

- для визуального контроля и анализа деятельности экипажей;
- для контроля состояния тренажерного комплекса (систем, средств автоматизации, каналов связи и др.).

Члены МЭК используют в работе те же устройства отображения информации (УОИ), что и бригада инструкторов, осуществляющая оперативный контроль и управление тренировкой. Не имея специализированного РМ, члены МЭК не имеют прямого доступа к информации. Для обеспечения членов МЭК необходимой информацией предлагается создать специализированное РМ, расположенное вне зоны ПКУ ТК РС МКС.

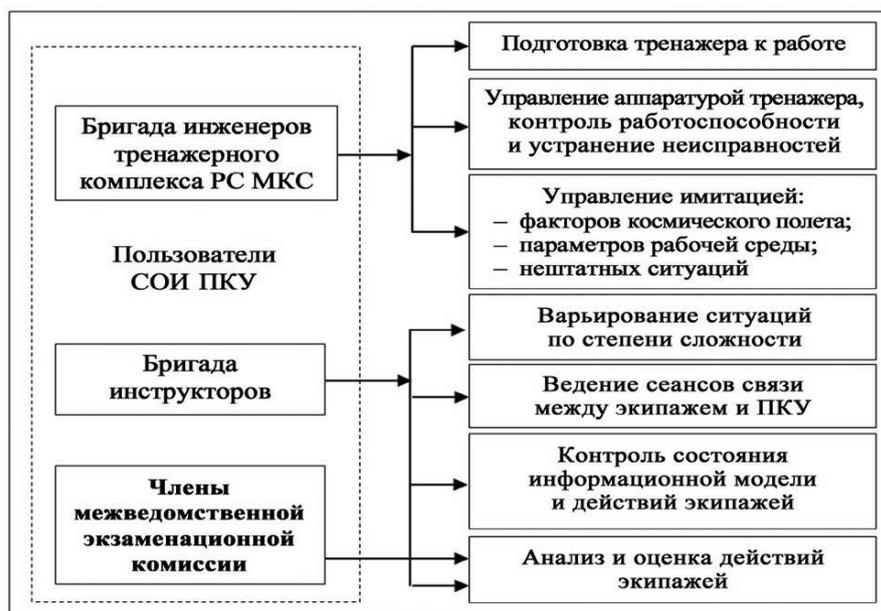


Рис. 1. Пользователи СОИ ПКУ и их функциональные обязанности

Структура информационных потоков СОИ ПКУ ТК РС МКС

Контроль и управление процессом проведения тренировок на ТК РС МКС осуществляется посредством системы управления тренировкой (СУТ) (рис. 2).



Рис. 2. Компоненты СУТ ТК РС МКС

Основным компонентом СУТ ТК РС МКС является СОИ ПКУ [3].

СОИ ПКУ определяется как комплекс аппаратных и программных средств, объединенных единой целью – отображение информации о состоянии функционирования объекта управления (ТК РС), внешней среды и его экипаже [3].

На рис. 3 показана структура формализованных информационных потоков СОИ ПКУ ТК РС МКС, где представлено распределение информации по ее назначению.

СУТ ТК РС МКС позволяет выводить на УОИ ПКУ более 540 форматов различного назначения и видеоизображения от аппаратуры ТВА [3]. Из них 204 формата по 28 системам используются постоянно. ТВА обеспечивает на видеоконтрольных устройствах (ВКУ) 30 видеоизображений с ТВ-камер и 4 компьютерных видеоизображения системы компьютерной генерации изображения (СКГИ). Анализ структуры информационно-управляющей модели СОИ ПКУ ТК РС МКС и выполняемого объема задач МЭК показал, что



Рис. 3. Структура формализованных информационных потоков СОИ ПКУ

количество необходимой информации для членов ЭКТ не будет превышать 60 % от объема используемой информации пользователями СОИ [4]. При этом информацию для членов МЭК можно полностью заимствовать из общего объема информации, используемой операторами ПКУ при проведении обычной тренировки:

- информация для контроля операторской деятельности;
- информация для контроля функционирования бортовых систем;
- информация о психофизиологическом состоянии операторов;
- справочная информация.

Справочная информация должна включать материалы по модулям МКС и их системам, бортовую документацию, материалы по направлениям деятельности членов МЭК, дополнительную информацию об экипажах, методики по выполнению спецработ и космических экспериментов.

Состав информации для работы МЭК

Циклограмма проведения ЭКТ включает в себя более 50 работ (без НшС), позволяющих оценить готовность экипажа к предстоящей деятельности на борту МКС. Для контроля каждой работы космонавтов членам МЭК на ПКУ необходимо получить отдельную рабочую информацию. Например, выполняемая по циклограмме космонавтами работа № 2 «Ежедневная конференция по планированию S-band», требует вывода на СОИ 12 форматов (таблица), а работа № 37 «Проверка работы ПА СТС ФГБ» – более 30 форматов и видеоизображений из модулей ТК РС МКС.

Таблица

№ работы	Наименование работы по циклограмме	Рабочая информация на ПКУ
2	Ежедневная конференция по планированию (S-band)	Формат «Контроль состояния ВС» Формат «Формат ТК УСО» Формат «Коммутатор цифровой связи» Формат «ВСБ-91-1» Формат «ВСБ-91-2» Формат «ВСБ-91-3» Формат «ВСБ-91-4» Формат «ВСБ-91-5» Формат «ВСБ-91-6» Повторитель «Laptop AST» Пульт организации связи (ПНС) на ПКУ Формат «Монитор событий»
37	Проверка работы ПА СТС ФГБ	Формат «Контроль состояния ВС» Формат «Формат ТК УСО» Формат «ВСБ-91-1» Формат «ВСБ-91-2» Формат «ВСБ-91-3» Формат «ВСБ-91-4» Формат «ВСБ-91-5» Формат «ВСБ-91-6» Формат «ВСБ-95-1» Формат «ВСБ-95-2» Пульт организации связи (ПНС) на ПКУ Повторитель «Laptop PCS» Повторитель «Laptop AST» Формат «ИнПУ А387» Формат «Управление средствами ТВА» ТВ-камера «центральный пост СМ» ТВ-камера «рабочий отсек РО2» ТВ-камера «вторая плоскость РО2 «Медицинский шкаф» ТВ-камера «четвертая плоскость РО2 «Пульты системы ЖО» ТВ-камера «переходной отсек ПхО» ТВ-камера «ПГО» (приборно-грузовой отсек ФГБ) ТВ-камера «ГА» (гермоадаптер ФГБ) ТВ-камера «ГА-ПГО» ФГБ ТВ-камера «РМО ФГБ-SSC» ТВ-камера наблюдения СО1 № 1 ТВ-камера наблюдения СО1 № 2 ТВ-камера наблюдения МИМ1 № 1 ТВ-камера наблюдения МИМ1 № 2 ТВ-камера наблюдения МИМ2 № 1 ТВ-камера наблюдения МИМ2 № 2 Формат «Монитор событий»

Анализ циклограммы ЭКТ показывает, что средства отображения ПКУ для управления тренажерами, ведения контроля действий экипажа, «подыгрывания» в рабочих ситуациях и анализа работы космонавтов предоставляют комиссии 81 формат и видеоизображение. Для анализа работ, выполняемых экипажем по КЭ, требуется 42 формата и видеоизображения с ТВ-камер, из которых 25 общие, как и для всех пользователей, а 17 индивидуально по ведомствам [5].

Информационная модель СОИ ПКУ для МЭК

Информация, выводимая на УОИ ПКУ как математическое множество, является совокупностью информационных объектов, которую представим в формализованном виде.

Из всей информации $\Omega_{Q_{МЭК}}$, выводимой на УОИ ПКУ, для членов МЭК следует предоставлять специализированную информацию $Q_{МЭК}$, соответствующую специфики их деятельности. Множество возможных решений в теории множеств трактуется как универсальное, оно основывается на всем объеме информации $\Omega_{Q_{МЭК}}$ (540 «единиц»), выводимом на ПКУ. Информация $Q_{МЭК}$ (81 «единица»), используемая членами экзаменационной комиссии, является подмножеством $\Omega_{Q_{МЭК}}$. $Q^*_{МЭК}$ (42 «единицы»), влияет на оценку действий экипажа к выполнению программы предстоящего космического полета и, в свою очередь, является подмножеством $Q_{МЭК}$.

Изобразим информационное взаимодействие МЭК и СОИ ПКУ в виде диаграммы Эйлера–Венна (рис. 4).

На рисунке обозначено:

- N – общее количество членов МЭК на ЭКТ;
- G^N – количество членов МЭК в группе;
- $\Omega_{Q_{МЭК}}$ – вся информация, выводимая на УОИ СОИ ПКУ;
- $Q_{МЭК}$ – информация, используемая членами МЭК;
- $Q^*_{МЭК}$ – информация, которая влияет на оценку степени готовности экипажа к выполнению программы предстоящего космического полета;
- $Q_{1, 2, \dots, n}$ – информация (индивидуальная) для каждой группы МЭК.

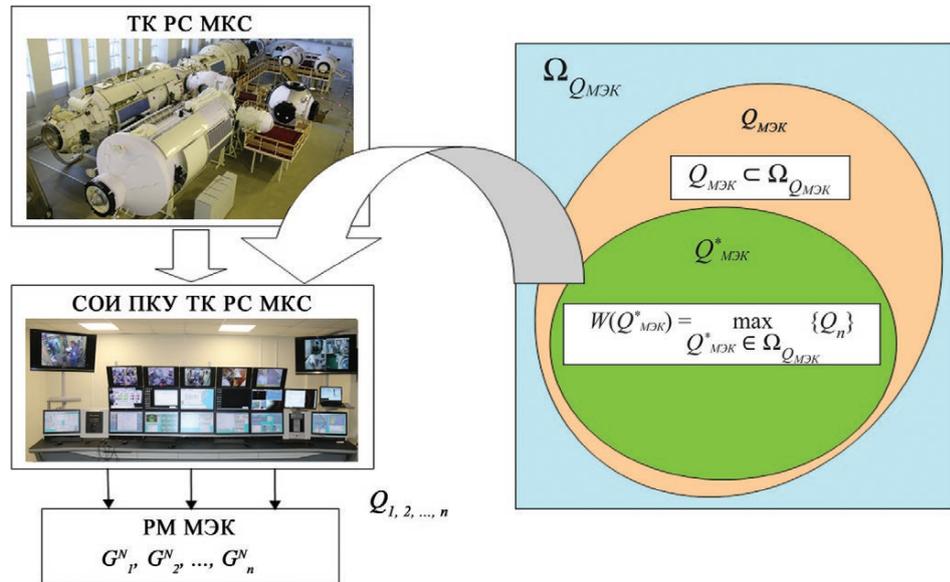


Рис. 4. Информационное взаимодействие МЭК и СОИ ПКУ

По результатам проведенного анализа ранее выполненных работ [5], касательно ЭКТ: N соответствует ~ 40 членам МЭК, $G^N - 5$ и выше различных групп МЭК (в зависимости от циклограммы ЭКТ); $\Omega_{Q_{МЭК}}$ содержит ~ 540 «единиц» информации на СОИ; $Q_{МЭК} - 81$ и $Q_{МЭК}^* - 42$ «единицы» информации соответственно; Q_n – индивидуальна, в зависимости от опыта членов МЭК, входящих в группу.

Создание информационной модели, интерфейса и специального программного обеспечения позволит определить необходимый состав информации $Q_{МЭК}^*$ и ее удобного предоставления на перспективном рабочем месте экзаменационной комиссии (для каждой группы членов МЭК), исходя из индивидуальных профессиональных потребностей – Q_n , количества членов МЭК – N , а также числа информационных средств – n РМ МЭК с техническими параметрами – $\{\tau_{1, 2, \dots, i}\}_n$:

$$Q_{МЭК}^* = N (G^N Q_n) F(\tau)_n. \quad (1)$$

Состояние рабочего поля УОИ на ПКУ в процессе функционирования СОИ может меняться в зависимости от потока информации, поступающей в систему в различные моменты времени. Основными причинами изменения являются действия экипажа и оперативного персонала ПКУ, выполняемые в соответствии с циклограммой тренировки и определенными решениями инструкторов по управлению ЭКТ. На проведение анализа работы экипажа членами экзаменационной комиссии и принимаемые ими решения $W(Q_{МЭК}^*)$ для оценки их подготовленности накладываются определенные ограничения, связанные с неудобством расположения информации на УОИ ПКУ и неудобным доступом к ним:

$$Q_{МЭК}^* = F(G^N, N, C, Q_n, \tau). \quad (2)$$

Анализ действий экипажа членами МЭК приводит к принятию ими некоего решения $W(Q_{МЭК}^*)$, опираясь на полученную от СОИ информацию – $Q_{МЭК}^*$ ($Q_{МЭК}^* \in Q_{МЭК}$ где $Q_{МЭК} \subset \Omega_{Q_{МЭК}}$), при достижении максимума функционала:

$$W(Q_{МЭК}^*) = \max_{Q_{МЭК}^* \in \Omega_{Q_{МЭК}}} \{Q_n\}. \quad (3)$$

Таким образом, выбор лучшего решения $W(Q_{МЭК}^*)$ из множества получаемой информации $\Omega_{Q_{МЭК}}$ в процессе анализа действий экипажа для МЭК возможен при решении задачи оперативного отбора необходимой информации и ее отображения на предлагаемом специализированном РМ МЭК.

Выражение (3) является информационной моделью отображения информации на ПКУ и предоставления ее для членов МЭК. Данной информационной моделью описан процесс передачи информации от СОИ ПКУ к членам МЭК, а именно:

- выделение из нее необходимой информации членам МЭК для проведения анализа и оценки подготовки экипажей на ЭКТ;
- отображение на СОИ информации для работы оперативного состава ПКУ;
- выведение необходимой информации на устройства отображения специализированного РМ МЭК для обеспечения оперативного и удобного доступа к ней.

В дальнейшем, используя выражение (3), можно построить математическую модель для исследования передачи и перераспределения информационных потоков операторам ПКУ.

В зависимости от решаемых задач правая часть выражения (3) может содержать количественные характеристики технических средств специализированного РМ: ПЭВМ, ПО, УОИ, кабельной сети и др. В левой части выражения (3) помимо информации, необходимой членам МЭК для принятия решения, может появиться время обработки информации.

Создавая ИМ для членов МЭК, целесообразно руководствоваться требованиями:

- к содержанию ИМ, исходя из потребностей различных групп членов МЭК;
- к количеству информации, соблюдая оптимальный баланс без дефицита или избытка;
- к форме и композиции ИМ, временной последовательности отображения информации и возможностям человека по восприятию информации.

Информация для МЭК выбирается из общего массива информации, используемой бригадой инструкторов при проведении обычной тренировки на ТК РС МКС.

На рабочем месте МЭК предлагается одновременно по группам отображать следующую информацию [6]:

- полетную ситуацию (динамические параметры);
- состояние работы бортовых систем;
- деятельность конкретного члена экипажа;
- текущий прогноз развития введенной нештатной ситуации (НшС) или аварийной ситуации, включая оперативный прогнозный расчет ожидаемых значений параметров работы бортовых систем или динамики в процессе развития НшС;
- регистрацию в реальном времени психофизиологического состояния членов экипажа в сложных условиях деятельности и ответственных ситуациях;
- внешнее наблюдение за относительным положением и перемещением объектов при выполнении маневров;
- справочную информацию.

Информация на рабочее место членов МЭК должна выводиться в виде:

- квитанции выдачи одиночных (нескольких) управляющих воздействий в нужный или заранее заданный момент времени;

- квитанции о записи управляющих воздействий;
- квитанции об исполнении управляющих воздействий;
- параметров контроля обобщенных параметров системы при выдаче управляющих воздействий;
- рекомендаций по действиям экипажа при возникновении НшС;
- оценки влияния выдаваемого управляющего воздействия на безопасность полета и соответствия его заданному режиму.

Информация, предъявляемая МЭК на УОИ, включает в себя:

- информацию о состоянии объектов управления (работоспособность приборов, бортовых систем, текущие значения основных параметров функционирующих бортовых систем, научной аппаратуры и т.д.);
- информацию о состоянии внешней среды (положение Земли и Солнца относительно МКС и т.д.);
- информацию о функционировании служебных бортовых систем (выбранные режимы работы систем, включение/отключение блоков, пультов систем, состояние вычислительных устройств, датчиков, исполнительных органов и контрольно-проверочной аппаратуры, временная информация).

Приведенный перечень информации предлагается выводить на УОИ специализированного РМ МЭК [6].

Специализированное РМ предполагает наличие четырех-пяти посадочных мест для членов МЭК, оснащенных ПЭВМ со специальным программным обеспечением и интерфейсом, УОИ, средствами связи с оперативным составом ТК РС МКС) [7].

Выводы

Представлена структура информационно-управляющей модели СОИ ПКУ ТК РС МКС. Массив выдаваемой информации оперативному составу ПКУ разделен по назначению. Проведено сравнение объемов информации, получаемой оперативным составом ПКУ и отдельными членами МЭК для исключения «перегрузки» интерфейса на предлагаемом специализированном РМ МЭК. Предлагается основной объем информации для МЭК заимствовать из общего объема информации, используемой оперативным персоналом ПКУ при проведении обычной тренировки. Опираясь на весь выдаваемый СОИ ПКУ и необходимый для работы членам МЭК поток информации, построена ИМ отображения информации для предоставления ее членам МЭК. Данной ИМ описан процесс получения необходимой информации членами МЭК из всего объема выдаваемого оперативному составу ПКУ от СОИ. Используя полученную ИМ, имеется возможность построить математическую модель для проведения исследований передачи и перераспределения информационных потоков от СОИ операторам ПКУ (между операторами) сложных автоматизированных систем управления. Предъявлены требования к форме и содержанию ИМ. Предложены структура, вид, полнота предоставления информации, а также техническое оснащение РМ МЭК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Батраков В.В. Информационное обеспечение экспертов межведомственной экзаменационной комиссии при проведении комплексных экзаменационных тренировок на тренажерах РС МКС // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(23). – 2017. – С. 37–44.
- [2] Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. – М: Машиностроение, 2005. – 24 с.
- [3] Шевченко Л.Е., Батраков В.В. Пути совершенствования структуры СОИ ПКУ тренажерного комплекса РС МКС // Труды IX Международной конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014». – Санкт-Петербург, 2014.
- [4] Батраков В.В. Модификация пульта контроля и управления космического тренажера для проведения экзаменационных тренировок экипажей // Труды Международной конференции «Пилотируемое освоение космоса». – Королёв, 2016.
- [5] Батраков В.В. Анализ состава контрольной информации при проведении экзаменационных тренировок на космических тренажерах // 12 МНПК «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2017.
- [6] Сапезжинская А.М., Полунина Е.В. Представление информации для экспертов межведомственной экзаменационной комиссии на комплексном тренажере российского сегмента МКС // Труды второй Международной научно-практической конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах». – Санкт-Петербург, 2016. – С. 348–354.
- [7] Батраков В.В., Игнатьев С.В. Предложения по информационному обмену между СОИ ПКУ на комплексе тренажеров российского сегмента МКС // Материалы XLIII научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. – Калуга, 2008.

REFERENCES

- [1] Batrakov V.V. Information Support of Experts of the Interdepartmental Examination Board in the Course of the Complex Exam Trainings on Simulators of the ISS RS // Manned Spaceflight. – No 2(23). – 2017. – pp. 37–44.
- [2] Shukshunov V.E., Tsibliyev V.V., Pototskiy S.I. Simulators and Simulator Complexes. Technology Development and Operational Experience – Moscow: Mashinostroenie Publ., 2005. – p. 24.
- [3] Shevchenko L.E., Batrakov V.V. Ways to Improve the Structure of the IDS M&CP of the ISS Integrated Simulator // Proceedings of the IX International Conference “Psychology of labor, engineering psychology and ergonomics – 2014” – St.-Petersburg, 2014.
- [4] Batrakov V.V. Modification of the M&CP for Exam Trainings of Crews // Proceedings of the International Conference “Human Space Exploration”. – Korolyov, 2016.
- [5] Batrakov V.V. Analysis of Control Information in the Course of Exam Trainings on Space Simulators // The 12th International Scientific and Practical Conference “Manned Spaceflight”. – Star City, 2017.
- [6] Sapezhinskaya A.M., Polunina E.V. Information Submission for the Interdepartmental Examination Board on the Integrated Simulator of the ISS RS // Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference “Human Factor in Complex Technical Systems and Environments” St.-Petersburg, 2016. – pp. 348–354.
- [7] Batrakov V.V. Ignatyev S.V. Proposals for Data Exchange between the IDS M&CPs of the ISS RS Integrated Simulator // Proceedings of the XLIII Scientific Readings dedicated to the scientific heritage of K.E. Tsiolkovskiy. – Kaluga, 2008.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ В ПРАКТИКУ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРЕНАЖЕРОВ ПКА

А.И. Жохов, С.В. Игнатъев

Канд. техн. наук А.И. Жохов; канд. техн. наук С.В. Игнатъев
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматривается современная информационная технология поддержки эксплуатации изделий – технология интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР). Обосновывается целесообразность внедрения этой технологии в практику эксплуатации тренажеров ПКА.

Ключевые слова: тренажер пилотируемого космического аппарата, информационные технологии, CALS, ИЭТР.

Prospects for the Introduction of the Interactive Electronic Technical Manuals Technology in the Practice of Operation of Manned Spacecraft Simulators. A.I. Zhokhov, S.V. Ignatiev

The paper considers an existing information technology to support operation of products namely the technology of interactive electronic technical manuals (IETM) and substantiates the expediency of introducing this technology in the practice of operation of the manned spacecraft simulators.

Keywords: manned spacecraft simulator, information technologies, CALS, IETM.

Центр подготовки космонавтов несет ответственность за создание, размещение, эксплуатацию и модернизацию тренажеров ПКА и других специализированных технических средств для подготовки космонавтов.

Деятельность персонала в этой области нуждается в соответствующем информационном обеспечении. В [1] рассматривались прототипы систем информационного обеспечения задач, решаемых в процессе заказа и использования тренажеров ПКА для подготовки космонавтов. Вне рассмотрения осталась задача информационной поддержки процесса эксплуатации тренажеров ПКА. Данная статья посвящена этой задаче в свете развития технологии интерактивных электронных технических руководств.

Информационное обеспечение эксплуатации тренажера ПКА

Эксплуатация – это стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество [2]. В общем случае эксплуатация изделия включает его использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт.

В процессе эксплуатации тренажера ПКА персоналу необходима вся информация об изделии: от документов на его создание и эксплуатационной конструкторской документации до информации обо всех выполненных работах на изделии, выполненных тренировках с космонавтами, о замечаниях, сбоях и отказах, о его текущем техническом состоянии.

На рис. 1 схематично отображена информация, к которой необходимо обеспечить доступ обслуживающего персонала, в том числе и оперативно. Обеспечить этот доступ, благодаря развитию информационных технологий, возможно с использованием современной технологии интерактивных электронных технических руководств. Эта технология определяет способы и средства, применяемые для создания и использования ИЭТР.

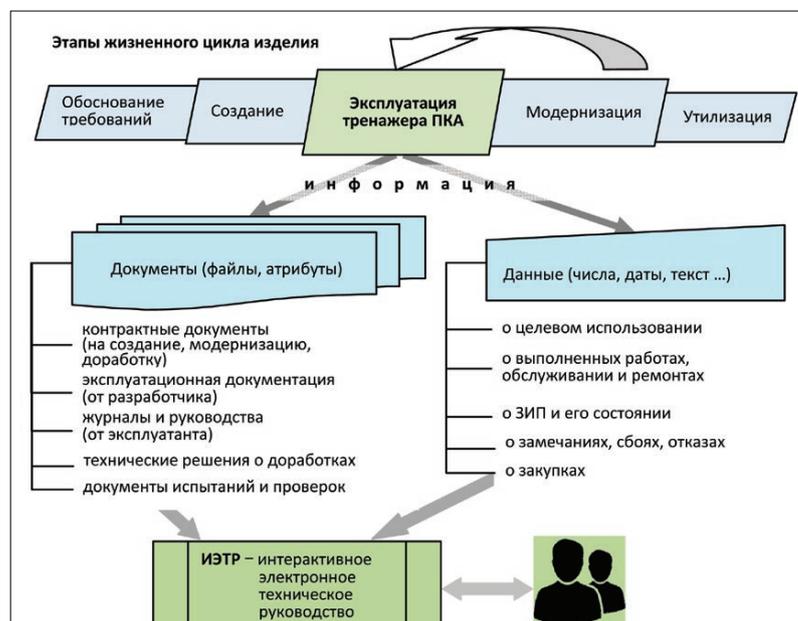


Рис. 1. Информация, необходимая для эксплуатации тренажера ПКА

CALS-технологии, назначение ИЭТР

Технология ИЭТР (русскоязычное название термина IETM – Interactive Electronic Technical Manuals) является частью CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла). CALS-технология – это современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия, обеспечивающий единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков

продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованные в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [3]. Основной идеей этого подхода можно считать стандартизацию описания процессов и данных об изделии на всех этапах его жизненного цикла и требований к обмену техническими данными между различными информационными системами.

На рис. 2 показано место ИЭТР (IETM) в структуре информационной поддержки жизненного цикла изделия в соответствии с CALS [4].

В соответствии с ГОСТ Р 54088 [3] ИЭТР – это совокупность электронных документов, технических данных и программно-технических средств, предназначенных для информационного обеспечения процессов использования по назначению и технической эксплуатации изделия и (или) его составных частей и предоставляющих пользователям возможность прямой и обратной связи между пользователем и руководством в режиме реального времени с помощью интерфейса электронной системы отображения.

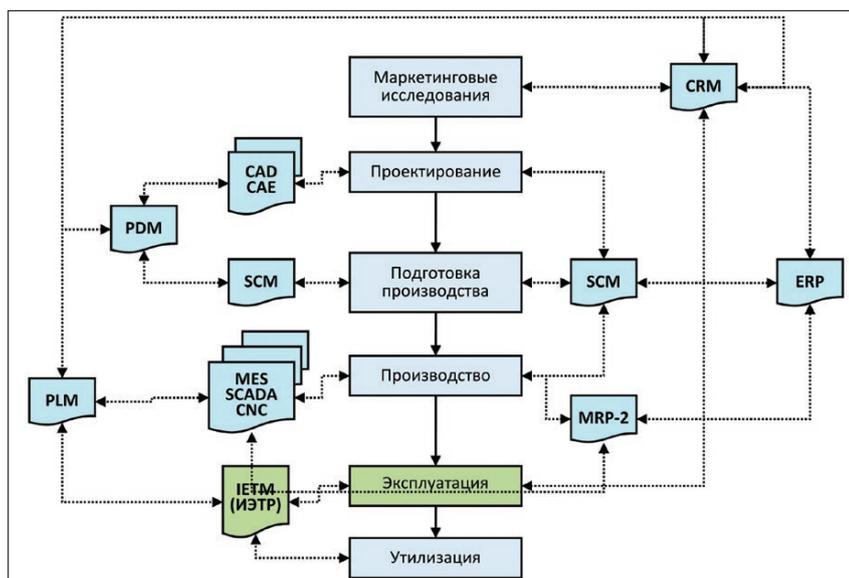


Рис. 2. Место ИЭТР в информационной поддержке жизненного цикла промышленной продукции:

PLM – система управления жизненным циклом изделия; PDM – система управления данными об изделии; CAD, CAE – системы конструкторского проектирования, расчетов и инженерного анализа; SCM – система управления цепочками поставок; MES, SCADA, CNC – системы управления производственными процессами; IETM – интерактивные технические руководства; CRM – система управления требованиями к изделию; ERP – система планирования ресурсов предприятия; MRP-2 – система планирования производства предприятия

ИЭТР конкретного изделия может решать следующие 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 неисправностей;
- подготовка и реализация автоматизированного заказа материалов и запасных частей;
- планирование и учет проведения регламентных работ;
- обмен данными между потребителем и поставщиком.

Нормативная база ИЭТР

Нормативная база ИЭТР представляет собой совокупность стандартов, спецификаций и рекомендаций по стандартизации. Основные документы схематично изображены на рис. 3.

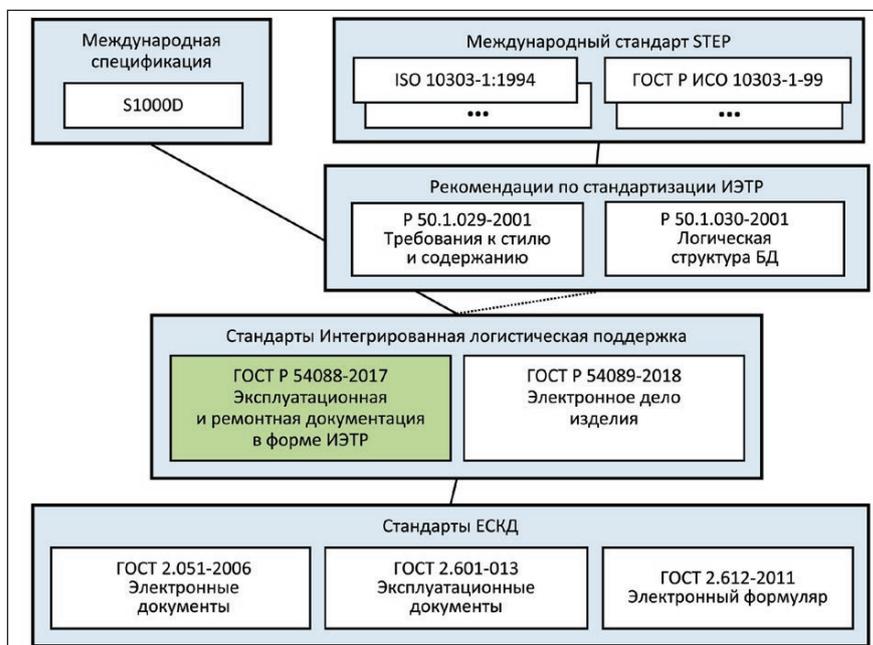


Рис. 3. Нормативная база ИЭТР

Базовый стандарт, реализующий CALS-технологии, называют сокращенно STEP (STandard for the Exchange of Product Model Data), он описан в ISO 10303 [6, 7] – это международный стандарт для компьютерного представления и обмена данными о продукте (изделии). Цель стандарта – дать нейтральный механизм описания данных о продукте на всех стадиях его жизненного цикла, не зависящий от конкретной автоматизированной системы.

S1000D [8] – международная спецификация на технические публикации, выполняемые на основе общей базы данных, она описывает технические данные и публикации для создания стандартизированной документации на любые гражданские и военные изделия.

На основе этих стандартов и спецификации разработаны рекомендации по стандартизации: Р 50.1.029-2001 [9] – по содержанию, стилю и оформлению ИЭТР, Р 50.1.030-2001 [10] – по логической структуре базы данных для ИЭТР.

Собственно ИЭТР посвящен ГОСТ Р 54088-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме интерактивных электронных технических руководств [5], введенный в действие с 01.06.2018 г. В нем определяются два способа выполнения эксплуатационных документов (ЭД): в форме взаимосвязанной совокупности электронных ЭД по ГОСТ 2.051 [11] и в форме ИЭТР. Приводятся общие требования к функциональности, содержанию и оформлению ИЭТР, требования к его электронной системе отображения. ИЭТР может интегрироваться с электронным делом изделия (по ГОСТ Р 54089 [12]), обеспечивая возможность использования ИЭТР для передачи информации во внешние БД для учета изменений в комплектации, выполненных работах по техническому обслуживанию и т.п.

Система стандартов ЕСКД также вводит термин ИЭТР [13] как обобщенное название для взаимосвязанной совокупности эксплуатационных документов, выполненных в форме интерактивного электронного документа (ИЭД) по ГОСТ 2.051 и, как правило, содержащихся в одной общей базе данных эксплуатационной документации. В [13] ЭД в виде интерактивного электронного документа подразделяется на типы: структурированные, модульные, интегрированные, Интернет-ориентированные.

Вместе с возможностью исполнения эксплуатационной документации в виде ИЭТР, ЕСКД предусматривает и возможность выполнения формуляра изделия также в электронном виде [14].

Области и примеры эффективного внедрения ИЭТР

Существует несколько объективных факторов, способствующих эффективному внедрению ИЭТР.

1. Стоимость разработки ЭД.

Эксплуатационная документация на сложные наукоемкие изделия машиностроения (изделия военно-промышленного комплекса, авиастроения,

судоостроения и т.д.) достигает десятков тысяч страниц и стоимость ее разработки для большого количества модификаций и исполнений изделия составляет значительные денежные суммы. При определенных объемах документации использование БД с модулями данных для формирования ЭД как в бумажном, так и в электронном виде, становится экономически оправданным [15, 16].

2. Большое количество эксплуатируемых однотипных изделий, длительное время их эксплуатации с широкой «географией».

В этом случае значимой становится задача поддержания в актуальном виде ЭД, планирование производства и заказ запчастей, модернизация изделий по данным текущей эксплуатации. Эти задачи решаются на основе интеграции ИЭТР пользователя каждого изделия с информационными системами разработчика и изготовителя изделия.

3. Требования иностранных заказчиков.

Общей тенденцией становится требование инозаказчиков, чтобы вся экспортная продукция сопровождалась электронной версией документации. При этом электронная документация должна быть выполнена в соответствии с международными стандартами на подготовку электронной технической документации.

Большое количество примеров создания ИЭТР можно найти по проектам, выполненным фирмами, обладающими собственными средствами разработки ИЭТР и оказывающими услуги по разработке ИЭТР или внедрению технологии их создания на предприятиях разработчика изделия, например:

– АО НИЦ «Прикладная Логистика» (<http://cals.ru>) – разработчик *Technical Guide Builder*, интегрированного комплекса программных средств для разработки, сопровождения, изменений и публикации эксплуатационной документации на сложные изделия, выполнило более 300 проектов по изделиям Су-30МКИ / МКМ / МКИ(А) / МКК / МК2, Ту-204/214, Су-27СК, SuperJet 100, Ми-17В5, Ми-38, АН-148, ЗРПК «Панцирь-С1», ЗРПК «Панцирь-С1», Як-130, Ка-32А11ВС, Ка-226Т, Ка-31, двигателям воздушных судов: ПС-90, ПД-14, ВК-2500, АЛ-41 и др., основное направление – авиастроение;

– ЗАО «Си Проект» (<http://www.seaproject.ru>) – разработчик программного комплекса *Seamatica*, предназначенного для разработки и представления различных видов эксплуатационной и ремонтной документации, в том числе каталогов, технических описаний, инструкций, руководств, перечней и др., в интерактивном электронном виде, выполнило более 300 проектов для 100 заказчиков, разработало более 5000 ИЭТР, основное направление – судостроение;

– АО «Инжиниринговая компания «НЕОТЕК МАРИН»» (<http://neotechmarine.ru>) – разработчик линейки программных продуктов *НЕО ЭКСПЕРТ*, с 2003 года разрабатывает и серийно поставляет на корабли ВМФ информационные системы и бортовые аппаратно-программные комплексы, предназначенные для решения задач интегрированной логистической поддержки

энергетического оборудования, информационного обеспечения борьбы за живучесть морских объектов, обучения и тренажа специалистов по эксплуатации и живучести.

Из примеров видно, что изделия, для которых создаются большинство ИЭТР и на которых распространяются большинство перечисленных выше факторов, также являются:

- изделиями машиностроения, состоящими из большого числа механических составных частей, в том числе подвижных и, следовательно, изнашивающихся, потому требуют нетривиального (высокие требования к обслуживающему персоналу и сложность процедур) затратного технического обслуживания, ремонта и обеспечения запчастями на протяжении длительного (десятилетия) срока эксплуатации;
- изделия изготавливаются серийно в течение достаточно длительного срока;
- заказчик изделия, как правило, государственный орган (большой располагаемый ресурс и жесткие требования минимизации стоимости всего жизненного цикла изделия).

Специфика тренажеров ПКА как объекта для ИЭТР.

Актуальность задачи исследования

Как на фоне этих примеров выглядят тренажеры ПКА?

Возьмем современный комплексный тренажер транспортного корабля или орбитального модуля, он, как правило:

- стационарный – сам не движется и у него нет подвижных частей;
- распределенный – конструктивные элементы связаны кабельными и иными сетями и располагаются на удалении от рабочего места оператора на расстоянии от единиц до десятков метров;
- электронный – каждая основная составная часть тренажера имеет свою электронную аппаратную (компьютерную, телевизионную и др.) и программную части, объединенные в локальную сеть тренажера;
- изготавливается в единственном экземпляре (даже когда по прошествии времени создается аналогичное изделие, технически оно значительно отличается от первого и имеет свою ЭД), не предлагается для рынка и не имеет на рынке конкурента;
- ЗИП тренажера в основном состоит из покупных серийных изделий широкого применения.

Кроме этого следует отметить, что финансирование потребностей в модернизации существующих тренажеров ПКА в последнее время осуществляется не в полной мере.

Вышеперечисленные особенности тренажеров ПКА и анализ области распространения технологии ИЭТР позволяют сделать предположение о том, что внедрение этой технологии в практику эксплуатации тренажеров ПКА не будет простым.

И первым шагом может быть исследование путей внедрения технологии ИЭТР в практику эксплуатации тренажеров ПКА.

Задачи исследования путей внедрения ИЭТР и ожидаемые результаты

В первую очередь целесообразно проанализировать:

- эксплуатационную конструкторскую документацию и другую информацию, используемую при эксплуатации тренажеров ПКА;
- рекомендации и требования нормативной базы по созданию ИЭТР;
- состояние развития и опыт использования технологии ИЭТР.

Предлагается:

- разработать прототип ИЭТР на основе свободно распространяемого программного обеспечения. На основе его исследования разработать общие требования к ИЭТР тренажеров ПКА;
- провести сравнительное исследование путей внедрения технологии ИЭТР в практику эксплуатации тренажеров ПКА. Варианты могут формироваться выбором комбинаций разработчика ИЭТР (разработчик тренажера ПКА, разработчик специального программного обеспечения (ПО) для создания ИЭТР и системы отображения, фирма, оказывающая соответствующую услугу, собственная разработка) и используемого для разработки ПО (покупное или свободно распространяемое ПО, собственная разработка);
- разработать и обосновать общие требования к составу информации, функциональности и пользовательскому интерфейсу ИЭТР тренажеров ПКА.

Ожидаемые результаты:

- исследовательский прототип ИЭТР тренажера ПКА;
- общие ТТТ к ИЭТР тренажера ПКА.

Выводы

От эффективного внедрения технологии ИЭТР в практику эксплуатации тренажеров ПКА можно ожидать:

- сокращения сроков обучения обслуживающего персонала;
- повышения оперативности получения требуемой информации, в том числе, и за счет помещения в один ИЭТР всех руководств по изделию и его составным частям;
- повышения сохранности документов;
- повышения оперативности и удобства обновления информации;
- оперативной поддержки при нештатном функционировании изделия, сбоях и отказах;
- возможности настройки содержания ИЭТР, его дополнения и редактирования пользователем;
- возможности интеграции ИЭТР тренажера с другими информационными системами, обрабатывающими информацию о тренажерах ПКА.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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.
- [2] ГОСТ 25866-83 Эксплуатация техники. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1983.
- [3] Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е.В. Судов, А.И. Левин. – НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002.
- [4] Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла (CALS-технологии). – URL: <https://infopedia.su/17x5927.html> (дата обращения: 29.11.2018).
- [5] ГОСТ Р 54088-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме интерактивных электронных технических руководств. Основные положения и общие требования. – Стандартинформ, 2017.
- [6] ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration Product data representation and exchange – Overview and Fundamental Principles, International Standard, ISO TC184/SC4, 1994.
- [7] ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы. – ИПК Издательство стандартов, 1999.
- [8] S1000D, International specification for technical publications using a common source database. – URL: <http://public.s1000d.org/Pages/Home.aspx> (дата обращения: 29.11.2018).
- [9] Р 50.1.029-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению. – Госстандарт России. М., 2001.
- [10] Р 50.1.030-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Интерактивные электронные технические руководства. Логическая структура базы данных. – Госстандарт России. М., 2001.
- [11] ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения. – Стандартинформ, 2006.
- [12] ГОСТ Р 54089-2018 Интегрированная логистическая поддержка. Электронное дело изделия. Основные положения и общие требования. – Стандартинформ, 2018.
- [13] ГОСТ 2.601-2013 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. – Стандартинформ, 2013.
- [14] ГОСТ 2.612-2011 Единая система конструкторской документации. Электронный формуляр. Общие положения. – Стандартинформ, 2011.
- [15] Методика разработки интерактивной электронной эксплуатационной документации для наукоемких изделий отрасли связи и информатизации. Тема дисс. и автореферата. Веретехина С.В. 2008. – URL: <https://dlib.rsl.ru/viewer/01003450895#?page=1> (дата обращения: 29.11.2018).
- [16] Веретехина С.В. Выявление области рационального применения технологии CALS на примере интерактивных электронных технических руководств. – URL: http://www.konspekt.biz/index.php?text=518_03 (дата обращения: 29.11.2018).

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] GOST 25866-83 [All-Union State Standard] Equipment operation. Terms and definitions – Moscow: “Izdatelstvo Standartov” Publishing House, 1983.
- [3] The concept of CALS-technologies development in the Russian industry / E.V. Sudov, A.I. Levin – CALS-technologies Research Center. Prikladnaya logistika [Applied Logistics], 2002.
- [4] Product data support at all stages of its operational life (CALS-technologies). – URL: <https://infopedia.su/17x5927.html> (accessed data: 29.11.2018).
- [5] GOST R 54088-2017 [all-Union State Standard] Integrated logistics support. Maintenance and repair documentation in the form of interactive electronic technical manuals. Main principles and general requirements – Standartinform, 2017.
- [6] ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration. Product data representation and exchange – Overview and Fundamental Principles, International Standard, ISO TC184/SC4, 1994.
- [7] GOST R ISO 10303-1-99 [All-Union State Standard] Factory automation systems and their integration. Product data representation and exchange. Part 1. Overview and fundamental principles – “Izdatelstvo Standartov” Publishing House, 1999.
- [8] S1000D, International specification for technical publications using a common source database. – URL: <http://public.s1000d.org/Pages/Home.aspx> (accessed data: 29.11.2018).
- [9] R 50.1.029-2001 Technologies for information support of a product’s operational life. Interactive electronic technical manuals. General requirements for content, style and design. – Gosstandart of Russia. Moscow, 2001.
- [10] R 50.1.030-2001 Technologies for information support of a product’s operational life. Interactive electronic technical manuals. Logical structure of the database. – Gosstandart of Russia. Moscow, 2001.
- [11] GOST 2.051-2006 [All-Union State Standard] Unified system for design documentation. E-document. Main principles. – Standartinform, 2006.
- [12] GOST R 54089-2018 Integrated logistic system. Product’s electronic dossier. Main principles and general requirements. – Standartinform, 2018.
- [13] GOST 2.601-2013 [All-Union State Standard] Unified system for design documentation. Operational documentation. – Standartinform, 2013.
- [14] GOST 2.612-2011 [All-Union State Standard] Unified system for design documentation. E-form. Main principles. – Standartinform, 2011.
- [15] Development methodology of interactive electronic operational documentation for high-tech products of communication and informatization industries. Subject of diss. and abstract. Veretekhina S.V. 2008. – URL: <https://dlib.rsl.ru/viewer/01003450895#?page=1> (accessed data: 29.11.2018).
- [16] Veretekhina S.V. Identifying the application range of CALS technology through the example of interactive electronic technical manuals. – URL: http://www.konspekt.biz/index.php?text=518_03 (accessed data: 29.11.2018).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ
И ОТОБРАЖЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
В СОСТАВЕ ПУЛЬТА КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА
РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

В.В. Батраков, В.И. Брагин

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

Представлены в виде объекта исследований: космический тренажер (КТ) как обучающая система; модули тренажерного комплекса (ТК) российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС); система отображения информации (СОИ) пульта контроля и управления (ПКУ) ТК РС МКС как объект и видеоинформация как предмет изучения; члены межведомственной экзаменационной комиссии (МЭК). Представлены в виде предмета исследований: видеоинформация на СОИ ПКУ и модернизированная система обработки и отображения визуальной информации (СООВИ) в составе СОИ ПКУ ТК РС МКС.

Ключевые слова: космический тренажер, тренажерный комплекс, пульт контроля и управления, система отображения информации, система обработки и отображения визуальной информации, телевизионная информация, экзаменационная комплексная тренировка, члены экзаменационной комиссии.

**Use of the Visual Information Processing and Display System as
Part of the Monitoring and Control Panel of the ISS RS Simulator
Complex. V.V. Batrakov, V.I. Bragin**

The objects of research are the following: the space simulator (SS) as a training system, modules of the simulation complex (SC) of the ISS RS, information display system (IDS) of the monitoring and control panel (M&CP) of the SC of the ISS RS as an object and video information as a subject of research as well as the members of the Interdepartmental Examining Board (IDEB). The subjects of research are the following: video information displayed on the IDS of the M&CP and the upgraded visual information processing and display system (VIP&DS) as part of the M&CP IDS of the ISS RS Simulator Complex.

Keywords: space simulator, simulator complex, monitoring & control panel, information display system, visual information processing and display system, television information, complex examining training, members of the Examining Board.

Обучение и подготовка космонавтов – процесс, в котором задействован большой круг специалистов: от преподавателей, инструкторов, инженеров технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) до межведомственной экзаменационной комиссии (МЭК).

На завершающем этапе обучения космонавты проходят подготовку и сдают экзамены на космических тренажерах (КТ) различного назначения. Заключительным этапом в программе подготовки экипажей к предстоящему полету является экзаменационная комплексная тренировка (ЭКТ). Для ее проведения создается МЭК, насчитывающая в своем составе более сорока специалистов.

Располагаясь в зоне пульта контроля и управления (ПКУ) КТ на некотором удалении от персонала, ведущего управление тренировкой, члены МЭК не могут оперативно использовать видеоинформацию, выводимую на устройства отображения информации (УОИ) ПКУ.

За последние годы проведен ряд инициативных прикладных исследований по вопросам СОИ. Предлагается использование в составе ПКУ специализированной системы обработки и отображения визуальной информации (СООВИ), которая позволит более эффективно решать задачу информационного обеспечения членов МЭК.

Рабочее место МЭК в контуре управления обучения космонавтов на тренажерном комплексе российского сегмента МКС

Современные КТ представляют собой сложные автоматизированные системы управления (АСУ) реального времени. В их состав входят средства сбора информации от объекта управления, каковым, например, является ТК РС МКС, системы ввода управляющих воздействий и передачи их на управляемый объект, вычислительные средства, объединенные в аппаратно-программный комплекс (АПК), производящие обработку информации в целях подготовки альтернативных вариантов управленческих решений, СОИ [1]. Замыкающим звеном в контуре управления АСУ является оперативный персонал ПКУ: бригада инженеров, бригада инструкторов, врачи, а при проведении экзаменационных комплексных тренировок (ЭКТ) – и члены МЭК, в классическом определении для АСУ – операторы ПКУ [2]. Особенность членов МЭК в том, что, располагаясь в зоне ПКУ КТ (в контуре управления АСУ) с операторами ПКУ, сами не являются операторами, т.к. в управлении участия не принимают. Их основная задача – анализ и оценка подготовленности экипажа к полету.

Обучение космонавтов является управляемым процессом и завершающая стадия их подготовки проходит на современных КТ различной специализации. КТ является обучающей системой (рис. 1) [3].

ТК РС МКС имеет в своем составе 8 макетов модулей – РМО космонавтов: СМ, ФГБ, СО1, МИМ1, МИМ2, МЛМ, УМ, ТК «Прогресс» (рис. 2) [4].

Основные данные о ходе ЭКТ космических экипажей на ТК РС МКС, в том числе видеоинформацию, члены МЭК получают посредством СОИ ПКУ (рис. 3) [1, 2].



Рис. 1. Космический тренажер как обучающая система управления



Рис. 2. РМО ТК РС МКС



Рис. 3. СОИ ПКУ ТК РС МКС

В верхнем ряду ПКУ расположены 5 мониторов цветного изображения для отображения видеоинформации о внешней визуальной обстановке, наблюдаемой экипажами в РМО, и для визуального контроля персоналом ПКУ и МЭК состояния и действий самого экипажа в РМО [5].

Информация персоналу ПКУ и МЭК для визуального контроля и последующего анализа деятельности обучающихся экипажей космонавтов формируется телевизионной аппаратурой (ТВА) посредством нештатных телевизионных и цифровых камер наблюдения, установленных в каждом модуле ТК РС МКС. Всего в макетах модулей ТК установлено 30 нештатных камер наблюдения, входящих в состав ТВА системы имитации визуальной обстановки (СИВО) [6]:

- СМ – 8 телевизионных камер;
- ФГБ – 4 телевизионные камеры;
- МИМ1 – 1 телевизионная камера и 2 ip-камеры;
- МЛМ – 4 телевизионные камеры и 2 ip-камеры;
- МИМ2 – 2 ip-камеры;
- ТГК – 2 ip-камеры;
- УМ – 3 ip-камеры;
- СО1 – 2 телевизионные камеры.

Обоснование применения системы обработки и отображения визуальной информации на ПКУ ТК РС МКС

Особенностью решения технической задачи для подготовки космонавтов на КТ является большое количество видеосигналов различных форматов, которые необходимо для работы операторов выводить на УОИ СОИ ПКУ.

Применительно к ТК РС МКС источники сигналов могут быть сведены в четыре группы:

1. Видеосигналы в стандарте PAL, формируемые с помощью нештатных телевизионных камер наблюдения за деятельностью космонавтов внутри рабочих мест операторов (РМО) тренажеров модулей РС МКС.

2. Видеосигналы в цифровом формате, формируемые с помощью нештатных ip-камер наблюдения за деятельностью космонавтов внутри РМО тренажеров модулей РС МКС.

3. Компонентные сигналы формата RGBHV, поступающие с выходом видеокарт бортовых Laptop для обеспечения контроля действий космонавтов по управлению моделями бортовых систем тренажеров модулей РС МКС в процессе проведения тренировок.

4. Компонентные сигналы формата RGBHV, формируемые системой компьютерной генерации изображений (СКГИ) ТК РС МКС сюжетов внешней визуальной обстановки.

При проведении тренировок из РМО ТК РС МКС на ПКУ поступает большой объем визуальной информации от вышеуказанных источников сигналов. Контроль и управление потоками этой информации в процессе тренировки, как правило, ведется в режиме «последовательного доступа», что ограничивает для персонала ПКУ возможность реагировать по запросам членов МЭК на отображение видеоинформации как по оперативности, так и по приоритету.

Для членов МЭК требуется выводить на УОИ СОИ ПКУ видеоинформацию, необходимую для контроля и оценки каждой операции, выполняемой экипажем. Например, выполняемая космонавтами согласно циклограмме тренировки работа № 37: «Проверка работы ПА СТТС ФГБ» требует вывода от ТК РС МКС на УОИ СОИ ПКУ более 30 единиц информации, половина которых формируется с помощью ТВА (см. таблицу на стр. 41) [7].

Анализ циклограммы ЭКТ показывает, что на ПКУ формируется 83 изображения разного формата, необходимых для управления тренажерным комплексом, отображения моделируемых ситуаций и действий экипажа в процессе проведения тренировки. ТВА обеспечивает 30 видеоизображений от нештатных телекамер и 4 компьютерных видеоизображения системы компьютерной генерации изображения (СКГИ). Вследствие значительного объема неструктурируемой визуальной информации, отображаемой на мониторах ПКУ, возможности экспертов межведомственной экзаменационной комиссии по запросам на отображение визуальной информации ограничены как по оперативности, так и по приоритету [7].

С целью обеспечения эффективного визуального контроля деятельности экипажей при проведении как обычных тренировок, так и экзаменационных комплексных тренировок, в состав ТК РС МКС была введена система обработки и отображения визуальной информации (СООВИ) «Мозаика» [6].

Описание СООВИ

СООВИ «Мозаика» была создана и введена в эксплуатацию на ПУ ТВА для осуществления мониторинга видеосигналов от источников различных форматов, формирования комбинированного изображения источников видеосигналов произвольного размера и расположения и их отображения на рабочем месте оператора с использованием цифровой среды передачи данных (локальной сети).

На рис. 4 представлена структура СООВИ, демонстрирующая основные функциональные компоненты системы и их взаимодействие, в том числе с периферийным окружением.

В качестве базового элемента системы используется программный «микшер-коммутатор», работающий на персональном компьютере. Управляющий модуль может устанавливаться как на персональные, так и на планшетные компьютеры, подключенные к локальной сети тренажера. Система позволяет с помощью графического пользовательского интерфейса управляющего модуля формировать данные для контрольного изображения в виде «мозаики» от аналоговых видеоисточников (камеры PAL), цифровых видеокамер высокой четкости (IP, SDI) и удаленных бортовых Laptop и системы компьютерной генерации изображений. Управление настройками «мозаики» может осуществляться удаленно с помощью отдельной рабочей станции или планшетного компьютера [8].

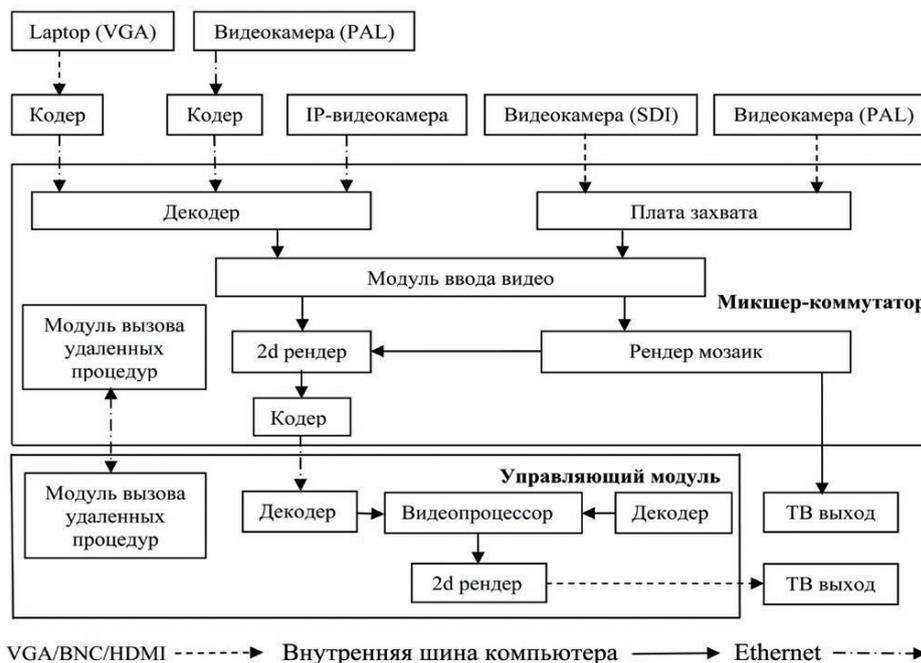


Рис. 4. Структура СООВИ

Специальное программное обеспечение (СПО) позволяет оператору СООВИ проводить удаленное управление видеоинформацией с отображением ее (по желанию членов МЭК) на ПКУ и с возможностью одновременно предварительного просмотра видеоврезки и результата микширования, которое может осуществляться с управляющей ЭВМ или планшетного компьютера.

Для структурирования телевизионных сигналов на ПКУ ТК РС МКС была проведена модернизация СООВИ:

- установка на ПКУ КТ РС МКС двух мониторов с диагональю не менее 48" в качестве средств визуального наблюдения за действиями экипажа;
- установка управляющего моноблока на ПКУ КТ РС МКС;
- установка оборудования для увеличения количества источников видеосигналов, поступающих в систему обработки и отображения визуальной информации «Мозаика»;
- доработка интерфейса СПО СООВИ в части добавления возможности выбора входного видеосигнала от цифровых источников, имеющихся в КТ РС МКС;
- доработка СПО СООВИ «Мозаика» для обеспечения управления выводом видеоинформации на два монитора от моноблока.

В основу предлагаемого технического решения по использованию СООВИ на ПКУ ТК РС МКС лег патент на полезную модель «Система отображения визуальной информации космического тренажера» [9]. Ранее эта модель была разработана и реализована на тренажере транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА» для задач МЭК. Техническим результатом, достигаемым при использовании полезной модели, является облегчение обработки видеоинформации членами МЭК в ходе ЭКТ, обеспечение полного и удобного доступа экспертов к имеющейся на тренажере информации о ходе моделируемого полета ПКА и деятельности экипажа.

Для реализации СООВИ на ТК РС МКС была подана заявка в Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) для получения патента на полезную модель «Система обработки и отображения визуальной информации для пультов контроля и управления космических тренажеров».

Полезная модель предполагает, что в комплекс технических средств отображения информации ПКУ тренажерного комплекса РС МКС, содержащий коммутатор видеосигналов, управляющую ЭВМ (УЭВМ) телевизионной аппаратуры тренажера, коммутатор сигналов RGBHV, управляющую ЭВМ системы компьютерной генерации изображений, мониторы телевизионных и компьютерных сигналов предлагается ввести устройства отображения информации и УЭВМ для экспертов, расположенные на рабочем месте экзаменационной комиссии. При этом на УЭВМ экспертов предлагается установить специальное программное обеспечение, позволяющее экспертам производить оперативный выбор и вывод для контроля любой предусмотренной для отображения на ПКУ визуальной информации о процессе проведения

экзаменационной тренировки и деятельности экипажа ПКА, не создавая при этом помех операторам пульта инструктора (рис. 5).

СООВИ позволяет расширить возможности ТВА в части структурирования средств отображения. Она обеспечивает существующую аппаратуру с аналоговыми источниками видеоданных более современной программно-аппаратной системой управления, мониторинга, обработки и отображения мультимедийных данных с учетом расширения входного информационного потока за счет дополнительных источников данных в виде цифровых видеокамер высокого разрешения [6].

В состав СООВИ для ПКУ ТК РС МКС входят:

- два монитора с диагональю не менее 48” для визуального наблюдения за действиями экипажа в РМО (мониторы располагаются на ПКУ ТК РС МКС);
- шкаф-моноблок для расположения оборудования СООВИ, расположенный в зоне ПКУ ТК РС МКС;
- оборудование для увеличения количества источников видеосигналов, поступающих в СООВИ «Мозаика»;
- специальное программное обеспечение интерфейса СООВИ для возможности выбора входного видеосигнала от цифровых источников;
- специальное программное обеспечение СООВИ «Мозаика» для обеспечения управления выводом видеoinформации на два монитора от моноблока;
- рабочее место оператора СООВИ на пульте управления ТВА (рис. 6, а);
- управляющий интерфейс «Мозаика» на ПКУ ТК РС МКС (рис. 6, б).

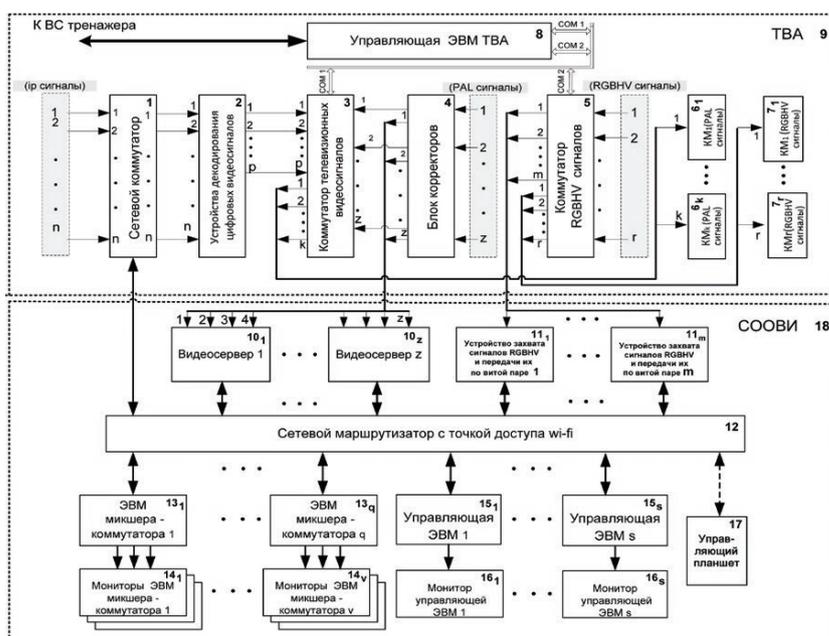
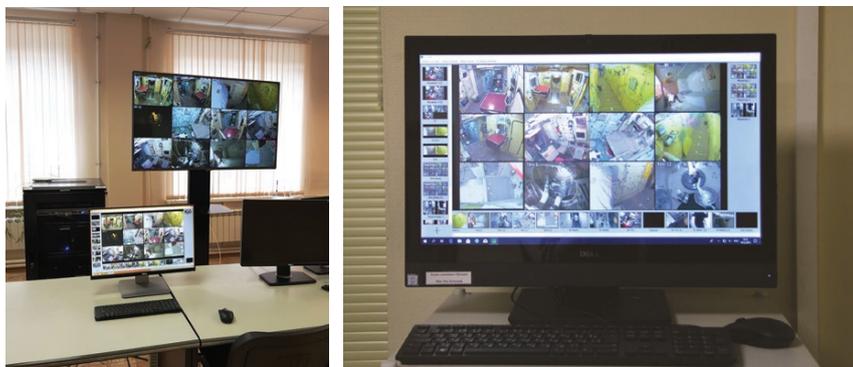


Рис. 5. Структура СООВИ в составе ПКУ ТК РС МКС



а)

б)

Рис. 6. РМО СООВИ и управляющий интерфейс «Мозаика»

СООВИ обеспечивает [6]:

- мониторинг видеосигналов от разных источников в различных форматах;
- формирование комбинированного изображения источников видеосигналов произвольного размера и расположения (так называемых «мозаик»);
- интерактивное формирование «мозаики» для отображения на мониторе;
- отображение «мозаик» с использованием цифровой среды передачи данных.

На рис. 7 показаны видеомониторы СООВИ в составе ПКУ ТК РС МКС.

Опыт использования СООВИ в составе ПКУ ТК РС МКС показал, что система позволяет расширить возможности СОИ ПКУ для повышения качества работы межведомственной экзаменационной комиссии и разгрузить оперативный состав ПКУ, задействованный в управлении ЭКТ, от заявок на получение информации со стороны членов МЭК.



Рис. 7. Размещение мониторов СООВИ на ПКУ ТК РС МКС

Выводы

Выводимая СОИ видеоинформация, используемая оперативным составом ПКУ и МЭК, занимает 30 % от общего объема, который необходим для проведения ЭКТ, а также для анализа и оценки подготовки экипажа.

Практика проведения ЭКТ показала, что для членов МЭК предоставление видеоинформации от СООВИ визуально удобно, поиск информации не отвлекает персонал ПКУ от управления ЭКТ, а при возникновении затруднений в поиске информации всегда может оказать помощь оператор СООВИ. Для обеспечения разгрузки информационного поля оперативному составу ПКУ целесообразно включить СООВИ в состав СОИ ПКУ ТК РС МКС.

Информацию от СООВИ целесообразно использовать на РМ членов МЭК [10]. При необходимости любой эксперт МЭК может занять свободное место на РМ МЭК и вызвать интересующую его видеоинформацию (или вызвать с управляющего планшета).

В дальнейшем целесообразно СООВИ рассматривать как вариант для расширения возможностей СОИ ПКУ КТ различного предназначения, существующих и применяемых в ЦПК имени Ю.А. Гагарина

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Батраков В.В., Саев В.Н. Анализ структуры комплекса тренажеров российского сегмента Международной космической станции как автоматизированной системы управления реального времени. XXXVI Общественно-научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2009.
- [2] Батраков В.В., Шевченко Л.Е. Анализ состава операторов в контуре управления комплекса тренажеров РС МКС. XXXVIII Общественно-научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2011.
- [3] Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. – М: Машиностроение, 2005. – 36 с.
- [4] Шевченко Л.Е., Полунина Е.В., Саев В.Н. Комплекс технических средств подготовки космонавтов по программе российского сегмента МКС. (Монография). – Звездный городок, 2017. – 33 с.
- [5] Батраков В.В. Информационное обеспечение экспертов межведомственной экзаменационной комиссии при проведении комплексных экзаменационных тренировок на тренажерах РС МКС // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(23). – 2017. – С. 37–44.
- [6] Батраков В.В., Брагин В.И., Шевченко Л.Е. Система обработки и отображения визуальной информации для пультов контроля и управления космических тренажеров. XLVI общественно-научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2019.
- [7] Батраков В.В. Анализ состава контрольной информации при проведении экзаменационных тренировок на космических тренажерах // XII МНПК «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2017.

- [8] Брагин В.И., Долговесов Б.С., Городилов М.А., Щадрин М.Ю. Особенности реализации обработки, отображения и регистрации мультимедийных данных для тренажерных комплексов ЦПК // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(29). – 2018. – С. 34–43.
- [9] Патент на полезную модель № 150302 «Система отображения визуальной информации космического тренажера». 10.02.2015. Авторы: Игнатьев С.В., Брагин В.И., Митин А.И., Пекарский А.В., Греков Н.С., Батраков В.В.
- [10] Батраков В.В., Игнатьев С.В. Предложения по информационному обмену между СОИ ПКУ на комплексе тренажеров российского сегмента МКС // Материалы XLIII научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. – Калуга, 2008.

REFERENCES

- [1] Batrakov V.V., Saev V.N. Composition of the ISS RS Integrated Simulator as a Real-time Control System. XXXVI Public Scientific Readings dedicated to the memory of Yu.A. Gagarin. – Gagarin City, 2009.
- [2] Batrakov V.V., Shevchenko L.E. Operating Personnel of the ISS RS Integrated Simulator. XXXVIII Public Scientific Readings dedicated to the memory of Yu.A. Gagarin. – Gagarin City, 2011.
- [3] Shukshunov V.E., Tsibliev V.V., Pototskiy S.I. Simulators and Simulator Complexes. Technology Development and Operational Experience – Moscow: Mashinostroenie Publ., 2005. – p. 36.
- [4] Shevchenko L.E., Polunina E.V., Saev V.N. A Complex of Technical Means to Train Cosmonauts under the ISS RS Program. (Monograph). – Star City, 2017. – p. 33.
- [5] Batrakov V.V. Information Support of Experts of the Interdepartmental Examination Board in the Course of the Complex Exam Trainings on Simulators of the ISS RS. – No 2(23). – 2017. – pp. 37–44.
- [6] Batrakov V.V., Bragin V.I., Shevchenko L.E. Information Display System for the MPCs of Space Simulators. XLVI Public Scientific Readings dedicated to the memory of Yu.A. Gagarin. – Gagarin City, 2019.
- [7] Batrakov V.V. Analysis of Checking Information in the Course of the Complex Exam Trainings on the ISS RS Simulators // The 12th International Scientific and Practical Conference “Manned Spaceflight”. – Star City, 2017.
- [8] Bragin V.I., Dolgovesov B.S., Gorodilov M.A., Schadrin M.Yu. The Features of Implementation of Processing, Displaying and Recording Multimedia Data for the Simulator Complexes at the CTC // Manned Spaceflight. – No 4(29). – 2018. – pp. 34–43.
- [9] Utility model patent № 150302 “Information Display System of a Space Simulator”. 10.02.2015. Authors: Ignatyev S.V., Bragin V.I., Mitin A.I., Pekarskiy A.V., Grekov N.S., Batrakov V.V.
- [10] Batrakov V.V., Ignatyev S.V. Proposals for Data Exchange between the IDS M&CPs of the ISS RS Integrated Simulator // Proceedings of the XLIII Scientific Readings dedicated to the scientific heritage of K.E. Tsiolkovskiy. – Kaluga, 2008.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ К ДЛИТЕЛЬНОМУ И БЕЗОПАСНОМУ ПРЕБЫВАНИЮ В НЕВЕСОМОСТИ

Р.М. Баевский, И.И. Фунтова, Е.С. Лучицкая

Докт. мед. наук, профессор Р.М. Баевский; канд. биолог. наук И.И. Фунтова;
канд. биолог. наук Е.С. Лучицкая (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

Статья посвящена изучению состояния сердечно-сосудистой системы и ее регуляторных механизмов неинвазивными методами, используемыми при постановке экспериментов на орбитальных станциях. Рассматриваются вопросы адаптации организма к условиям невесомости при длительных космических полетах.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, космический эксперимент, варибельность сердечного ритма, баллистокардиография, адаптация, регуляторные механизмы.

Some Features of Adaptation of the Cardiovascular System to a Long-term Weightlessness. R.M. Baevsky, I.I. Funtova, E.S. Luchitskaya

The paper deals with the study of the state of the cardiovascular system and its regulatory mechanisms by non-invasive methods applied in experiments on orbital stations. The issues of an organism adaptation to weightlessness during long-term space flights are considered.

Keywords: cardiovascular system, space experiment, heart rate variability, ballistocardiography, adaptation, regulatory mechanisms.

Дальнейшее развитие пилотируемой космонавтики неразрывно связано с длительными космическими полетами к Луне и, возможно, к другим планетам. При этом космическая медицина призвана обеспечить здоровье и высокую безопасную работоспособность членов экипажа в течение длительного пребывания организма в чуждой для него среде обитания. Поэтому годовые пилотируемые космические полеты являются важным этапом подготовки и апробации методик, средств и методов контроля за состоянием космонавтов.

Космические эксперименты, посвященные изучению сердечно-сосудистой системы человека, на протяжении многих лет, начиная с самых первых космических полетов, совершенствуются, в том числе благодаря успехам в развитии методов исследования и новым проблемам, которые встают перед учеными. С 2014 года на борту Международной космической станции (МКС) проводится медико-биологический эксперимент «Кардиовектор» с целью изучения и уточнения механизмов адаптации сердечно-сосудистой системы к длительному воздействию на организм человека условий и фак-

торов космического полета. Он направлен главным образом на исследование вегетативной регуляции кровообращения, изучение центральной гемодинамики и сократительной функции сердца [4].

Сеансы космического эксперимента «Кардиовектор» проводятся у российских космонавтов на борту МКС ежемесячно, а также дважды в предполетный период и после приземления. В ходе эксперимента производится запись электрокардиограммы, импедансной кардиограммы, сейсмокардиограммы, баллистокардиограммы (по трем взаимно перпендикулярным осям и трем осям вращения) и пневмотахограммы, что позволяет регистрировать и анализировать изменения в работе сердца в покое, а также при различных дыхательных тестах.

Закончившийся в марте 2016 года годовой полет российского космонавта явился рекордным по длительности пребывания на борту Международной космической станции. В ходе этого полета эксперимент «Кардиовектор» был проведен 11 раз. В определенной степени он может считаться аналогом проводившихся почти 20 лет назад экспериментов «Ночь» и «Пульстранс» в рекордном 438-суточном космическом полете на орбитальной станции «Мир» [3, 10].

В обоих длительных полетах применялись аналогичные методики: 1) анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) для исследования вегетативной регуляции кровообращения; 2) баллистокардиография – для оценки сократительной функции сердца.

Однако за 20 лет, прошедших между двумя полетами, указанные методы исследования были существенно усовершенствованы и, фактически, коренным образом изменились. Традиционные методы анализа ВСР, включающие временной и частотный анализы временных рядов кардиоинтервалов, были дополнены принципиально новым вероятностным подходом, который на основе математических моделей функционального состояния реализует методологию донозологической диагностики с количественной оценкой степени напряжения регуляторных систем (СН) и их функционального резерва (ФР). Вероятностный анализ СН и ВР позволяет оценить адаптационные риски, т.е. вероятность развития донозологических и преморбидных состояний в условиях длительного космического полета [7, 11].

Баллистокардиография получила дальнейшее развитие как метод регистрации пульсовых колебаний тела одновременно по шести осям (пространственная баллистокардиография) – трем линейным осям и трем осям вращения. Это позволило практически реализовать теоретическую возможность изучения полной энергии движений тела в пространстве, вызванных выбросом крови из сердца в аорту и легочные сосуды [5].

Хорошо известно, что значительных сдвигов в основных показателях гемодинамики – таких, как ударный и минутный объем крови, давление, частота сердечных сокращений (ЧСС), скорость быстрого и медленного кровенаполнения, – не наблюдается. Это происходит благодаря механизмам регу-

лянии человеческого организма, однако эволюционировали они на Земле, а в условиях невесомости происходит перенастройка этих механизмов для достижения оптимального «привычного» состояния системы. Многочисленные публикации свидетельствуют о наличии нескольких периодов адаптации к невесомости – острой, неполной и относительно устойчивой адаптации [2, 7, 8, 9].

Переходя к результатам изучения вегетативной регуляции кровообращения необходимо заметить, что накопленный опыт по проведению и анализу подобных исследований дал возможность получить данные об изменениях механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы с участием 25 российских космонавтов (КЭ «Пневмокард») [1, 6, 7]. Однако выяснилось, что после 6-месячного периода относительно стабильного функционального состояния наблюдаются разнонаправленные изменения параметров ВСП, указывающие на то, что организм находится в поиске нового уровня гомеостаза. На рисунках 1 и 2 представлена динамика изменений основных показателей ВСП во время годового полета на МКС. Интересно, что аналогичные физиологические реакции рассогласования наблюдались у российского космонавта на орбитальной станции «Мир» в эксперименте «Ночь» после 8-го месяца его пребывания в условиях невесомости [3, 8].

Необходимо отметить, что в послеполетном периоде на 4-е сутки после посадки частота пульса увеличивалась почти до 80 уд/мин в покое, а величина SDNN резко падала, при этом до нулевых значений падал показатель рNN50 и рос стресс-индекс, что указывает на активацию симпатического звена регуляции, обеспечивающего мобилизацию функциональных резервов.

Результаты эксперимента «Кардиовектор» показали, что после 185 суток полета отмечается рост величины стресс-индекса до максимально зарегистрированных значений за весь полет (216,9 усл. ед. на 250-е сутки полета) и мощности спектра ВСП в диапазоне очень медленных волн (VLF), который отражает активность уровня регуляции энерго-метаболических процессов. Анализируя эту закономерность, следует обратить внимание на публикацию данных со станции «Мир», которые свидетельствуют о том, что мощность VLF-составляющей в этот период полета тоже была значительно увеличена по сравнению с другими компонентами спектра. Авторами также приводятся данные, что в эксперименте «Ночь», где изучалась и гормональная регуляция, со 170-го по 287-й день полета определялся значительный рост концентрации адреналина в крови [8].

При анализе ВСП используются не только традиционные подходы математического и спектрального анализа, но и разработанная учеными нашего института математическая модель функциональных состояний организма [11], на основе обобщения результатов анализа variability сердечного ритма у всех российских космонавтов, совершавших полеты на станциях «Мир» и «МКС», а также в модельных экспериментах. Динамика показателей степени напряжения и функционального резерва (рис. 3) показывает,

что наиболее выраженными были отклонения на 163-и и 250-е сутки полета. Установленное таким образом увеличение адаптационного риска как раз коррелирует с увеличением мощности спектра сверхнизкочастотных колебаний в этот период.

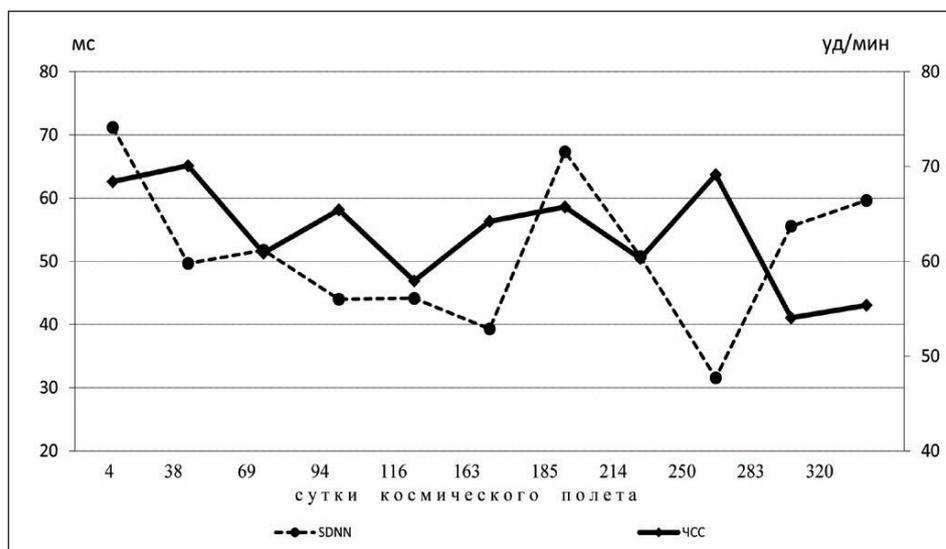


Рис. 1. Изменения ЧСС и SDNN на разных этапах длительного космического полета на МКС

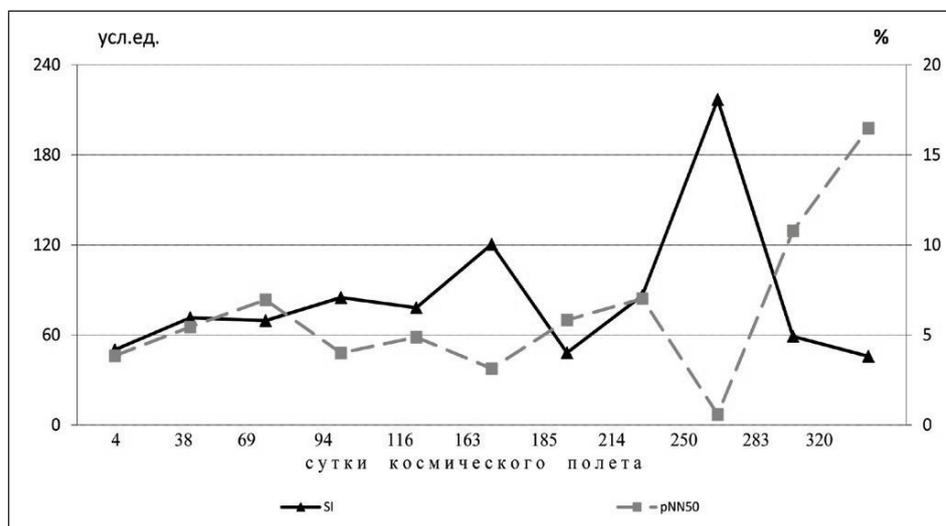


Рис. 2. Изменения pNN50 и SI на разных этапах длительного космического полета на МКС

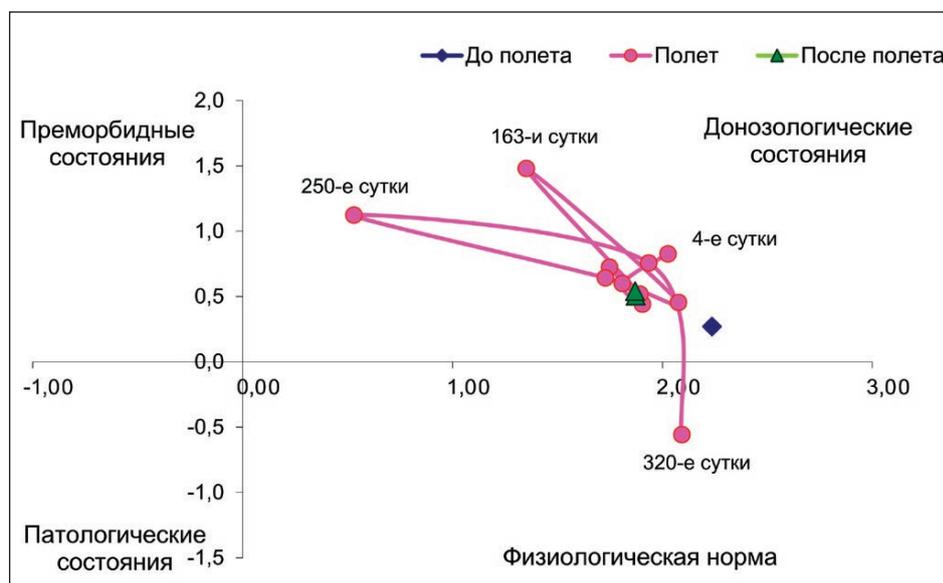


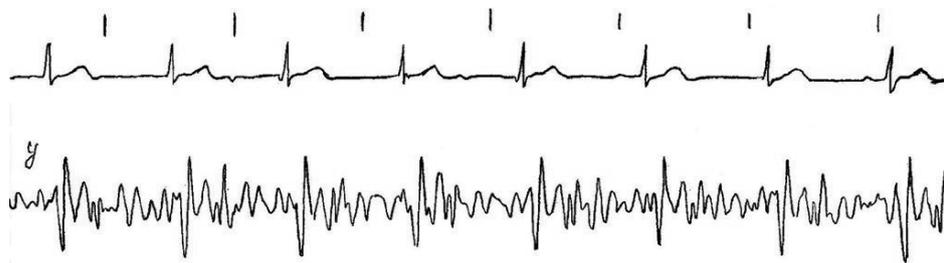
Рис. 3. Динамика показателей СН и ФР на разных этапах длительного космического полета на МКС

Таким образом, традиционный анализ ВСП показал почти полное совпадение закономерностей динамики активности основных звеньев вегетативной регуляции в двух рассматриваемых годовых полетах.

В эксперименте «Ночь» на ОС «Мир» регистрировалась одномерная линейная баллистокардиограмма. С 2014 года эксперимент «Кардиовектор» был оснащен специальным баллистокардиографическим датчиком, который позволяет записывать физиологические сигналы по трем взаимно перпендикулярным осям и трем осям вращения. Это дало возможность изучения пространственного распределения силы и энергии сердечных сокращений в разные периоды адаптации к условиям длительной невесомости (рис. 4).

Интересно, что имеются аналогии между результатами этих 2 исследований также и в баллистокардиографических данных. Анализ изменений формы БКГ записей в годовом космическом полете на МКС показал, что уже после нескольких дней пребывания в невесомости возникают изменения гемодинамики, которые проявляются ростом диастолических волн и искажениями нормальной формы БКГ.

В эксперименте «Ночь» также было отмечено значительное увеличение амплитуды и изменение формы баллистокардиографических комплексов, а параллельно с этим – сопровождающий их рост величины стресс-индекса. Как уже было отмечено, в годовом эксперименте «Кардиовектор» были выявлены аналогичные изменения.



А



Б

Рис. 4. А. Запись ЭКГ и БКГ по оси Y на станции «Мир».
Б. Запись ЭКГ и 6 осей БКГ на МКС

На рисунке 5 представлены графики, отражающие динамику изменений амплитудных показателей пространственной баллистокardiограммы по оси Y при задержке дыхания на вдохе и выдохе. Общей закономерностью является увеличение амплитуды по сравнению с предполетными значениями в 3, а то и в 4 раза. Для всех сегментов БКГ большая амплитуда наблюдается на вдохе, особенно четко это проявляется для сегментов ИJ и JK. Исключением являются первые дни пребывания в невесомости и 163-и сутки полета.

В первые дни пребывания организма в условиях микрогравитации параметры гемодинамики резко меняются. Активное перемещение масс крови в верхнюю часть тела и повышенное кровенаполнение легочного сосудистого русла не вызывают на вдохе заметного притока крови к правому

сердцу. Наоборот, требуется разгрузка малого круга кровообращения от избыточного объема крови. Такая «оперативная» разгрузка осуществляется левым желудочком. Так как функциональная проба с задержкой дыхания на вдохе и выдохе рассматривается с целью оценки активности правых и левых отделов сердца, то получаемые при этом записи БКГ представляют определенный интерес. Как видно из рисунка 5, на 4-е сутки полета по оси У наблюдается значительное увеличение амплитуды волн БКГ на выдохе. Этот же эффект появляется снова на 163-и сутки полета. А как раз в это время мы отмечаем переход от физиологической нормы в донологическое состояние и некоторое рассогласование в системе регуляции по данным ВСР.

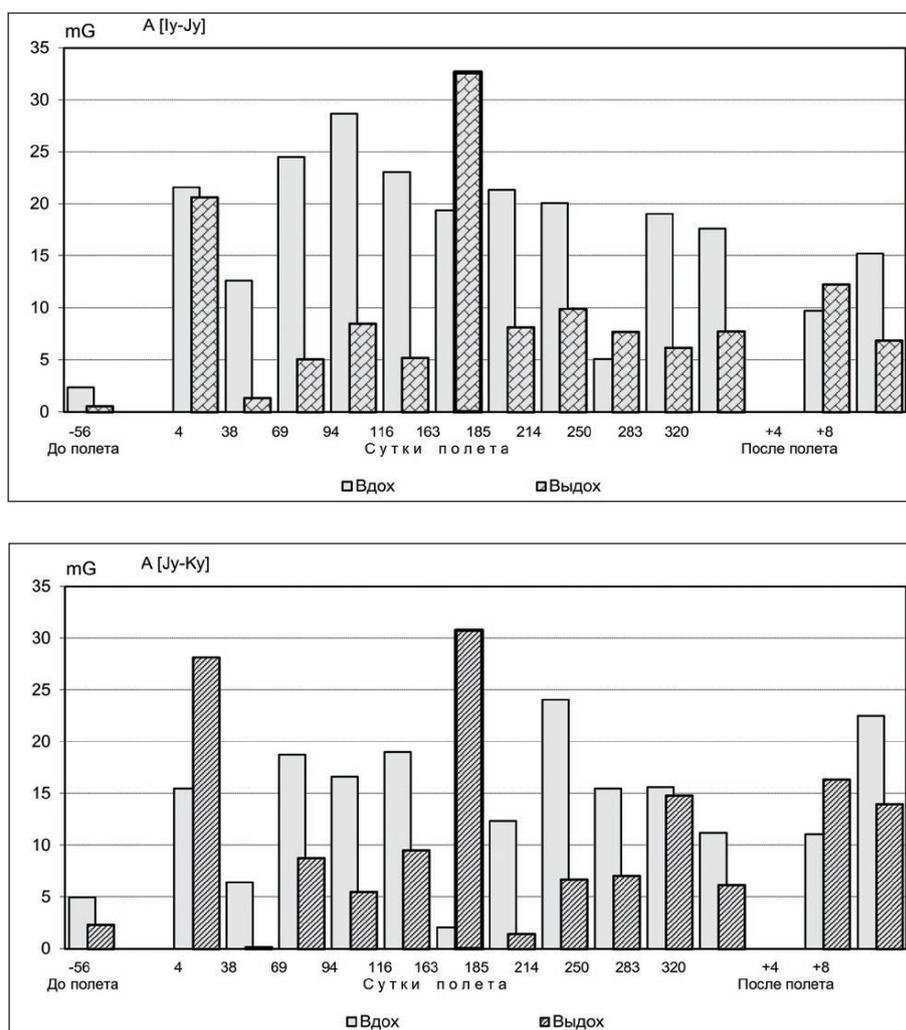


Рис. 5. Динамика амплитудных показателей пространственной баллистокardiограммы по оси У при задержке дыхания на вдохе и выдохе

Возможность оценки силы и энергии сердечного сокращения по данным пространственной баллистокардиографии – одна из задач космического эксперимента «Кардиовектор». На рисунке явно видны отличия усредненного кардиокомплекса БКГу на Земле и на 4-е сутки в невесомости. Видно также, что форма кривой и максимум силы сердечного сокращения очень похожи, а вот максимум энергии сердечного сокращения смещается к R-зубцу (рис. 6).

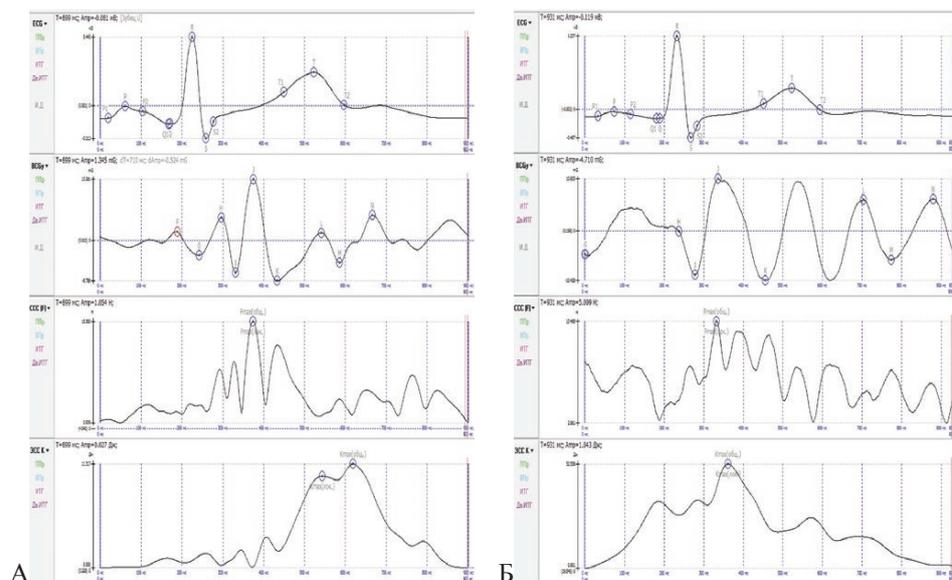


Рис. 6. Усредненные кардиокомплексы ЭКГ и БКГу, сила и энергия сердечного сокращения до полета (А) и на 4-е сутки пребывания в невесомости (Б)

Результаты пространственной баллистокардиографии в годовом полете на МКС подтвердили ранее сделанные выводы (на основании анализа данных предыдущих экспедиций) о более экономичной работе сердца в условиях невесомости. Сила сердечных сокращений уменьшалась незначительно, а в те же 163-и полетные сутки была даже больше предполетного уровня, но энергетические затраты существенно снижаются. Эти изменения подтверждают активацию энергетических процессов (отмеченное увеличение мощности сверхнизкочастотного компонента спектра ВСР) и, как следствие, увеличение адаптационного риска.

Выводы

Годовой полет российского космонавта на МКС подтвердил основной вывод, сделанный после рекордного 438-суточного полета врача-космонавта на ОС «Мир» о том, что резервы здоровья человека вполне достаточны для сверхдлительных космических перелетов, в том числе и к Марсу. Однако

полученные нами результаты подтверждают мнение многих специалистов, что 5–6 месяцев являются хорошо изученным и на данный момент оптимальным сроком пребывания человека в условиях невесомости. В течение этого времени успешно поддерживается внутрисистемный и межсистемный гомеостаз основных физиологических систем организма благодаря разработанным мерам профилактики. В дальнейшем же может наступать нестабильность функционального состояния, обусловленная тем, что в организме начинается поиск нового уровня гомеостаза, адекватного новым условиям окружающей среды. И в этот период необходимы оптимальные методы контроля и анализа функционального состояния организма человека для безопасного выполнения космического полета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Baevsky R.M., Baranov V.M., Funtova I.I., Diedrich A., Pashenko A.V., Chernikova A.G., Drescher J., Jordan J., Tank J. Autonomic cardiovascular and respiratory control during prolonged spaceflights aboard the International Space Station.// *J Appl Physiol*. 2007 Jul; 103(1):156-61. Epub 2007 Apr 19.
- [2] Baevsky R.M., Funtova I.I., Diedrich A., Pashchenko A.V., Chernikova A.G., Drescher J., Baranov V.M., Tank J. Autonomic function testing on board the ISS - update on "Pneumocard". *Acta Astronautica*, 61 (2007), 7–8, 672–675.
- [3] Baevsky R.M., Moser M., Nikulina G.A., Polyakov V.V., Funtova I.I., Chernikova A.G. Autonomic regulation of circulation and cardiac contractility during a 14-month space flight. – *Acta Astronautica*. Volume 42, Issues 1–8, January–April 1998, pp. 159–173.
- [4] Funtova I., Luchitskaya E., Tank J., Baevsky R. Main results of space experiment Cardiovector and view of its further extension. 69 IAC International astronautical Congress. ID 44294.
- [5] Inan O.T., Migeotte P.-F., Park K.-S., Etemadi M., Tavakolian K., Casanella R., Zanetti J., Tank J., Funtova I., G.K. Prisk and M.Di Rienzo. Ballistocardiography and seismocardiography: a review of recent advances, *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 19, No. 4, pp. 1414–1427, Jul. 2015.
- [6] Баевский Р.М., Лучицкая Е.С., Фунтова И.И., Черникова А.Г. Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях длительного космического полета. *Физиология человека*. Т. 39 № 5. 2013. – С. 42–53.
- [7] Баевский Р.М., Фунтова И.И., Лучицкая Е.С., Черникова А.Г. Изучение влияния длительной невесомости на вегетативную регуляцию кровообращения у членов экипажей международной космической станции. *Космический эксперимент «Пневмокард»*. Клиническая информатика и Телемедицина. 2013. Т. 9. Вып. 10.
- [8] Григорьев А.И., Баевский Р.М. Концепция здоровья и космическая медицина, М., Слово, 2007, 220 с.
- [9] *Космическая биология и медицина*. Том. 3, книга 2. Человек в космическом полете. М., «Наука», 1997.
- [10] *Орбитальная станция «Мир»*. Космическая биология и медицина. Том 1 и 2, М., 2002.
- [11] Черникова А.Г., Баевский Р.М. К проблеме физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа variability сердечного ритма. *Авиакосмическая и экологическая медицина*, 2002, № 5. С. 34–37.

REFERENCES

- [1] Baevsky R.M., Baranov V.M., Funtova I.I., Diedrich A., Pashenko A.V., Chernikova A.G., Drescher J., Jordan J., Tank J. Autonomic cardiovascular and respiratory control during prolonged spaceflights aboard the International Space Station. // *J Appl Physiol.* 2007 Jul; 103(1):156-61. Epub 2007 Apr 19.
- [2] Baevsky R.M., Funtova I.I., Diedrich A., Pashchenko A.V., Chernikova A.G., Drescher J., Baranov V.M., Tank J. Autonomic function testing on board the ISS - update on "Pneumocard". *Acta Astronautica*, 61 (2007), 7–8, 672–675.
- [3] Baevsky R.M., Moser M., Nikulina G.A., Polyakov V.V., Funtova I.I., Chernikova A.G. Autonomic regulation of circulation and cardiac contractility during a 14-month space flight. – *Acta Astronautica*. Volume 42, Issues 1–8, January-April 1998. pp. 159–173.
- [4] Funtova I., Luchitskaya E., Tank J., Baevsky R. Main results of space experiment Cardiovector and view of its further extension. 69 IAC International astronomical Congress. ID 44294.
- [5] Inan O.T., Migeotte P.-F., Park K.-S., Etemadi M., Tavakolian K., Casanella R., Zannetti J., Tank J., Funtova I., G.K. Prisk and M.Di Rienzo. Ballistocardiography and seismocardiography: a review of recent advances, *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, Vol. 19, No. 4, pp. 1414–1427, Jul. 2015.
- [6] Baevskiy R.M., Luchitskaya E.S., Funtova I.I., Chernikova A.G. Studies of the vegetative regulation of blood circulation under conditions of a long-term space flight. *Human physiology*. V. 39, No 5. 2013. pp. 42–53.
- [7] Baevskiy R.M., Funtova I.I., Luchitskaya E.S., Chernikova A.G. Studying the long-term influence of weightlessness on the vegetative regulation of blood circulation of the ISS crew members. SE "Pnevмокard". *Clinical Informatics and Telemedicine*. 2013. V. 9. Issue 10.
- [8] Grigiryev A.I., Baevskiy R.M., *The concept of health and space medicine*, Moscow, Slovo, 2007. p. 220.
- [9] *Space biology and medicine*. V. 3, Book 2. Man in space flight. Moscow, Nauka, 1997.
- [10] *Mir space station. Space Biology and Medicine*. V. 1 and 2, Moscow, 2002.
- [11] Chernikova A.G., Baevskiy R.M., *The problem of physiological norm: a mathematical model of functional status based on the analysis of heart rate variability*. *Aerospace and environment medicine*, 2002, No 5. pp. 34–37.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОТБОРА КАНДИДАТОВ В КОСМОНАВТЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ В 2017–2018 гг.

В.Г. Назин, В.Ю. Самарцев, Е.П. Шемчук,
А.В. Сердюк, А.А. Майков

Канд. техн. наук, профессор АВН В.Г. Назин;
В.Ю. Самарцев; Е.П. Шемчук; А.В. Сердюк; А.А. Майков
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена анализу результатов профессионального отбора кандидатов в космонавты по физической подготовленности, проведенного в 2017–2018 гг. в рамках второго открытого конкурса. Основой для выполнения анализа являлись документированные заключения о физической подготовленности претендентов, разработанные исходя из результатов выполнения ими нормативных физических упражнений на очном этапе отбора в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Ключевые слова: нормативные физические упражнения, профессионально важные физические качества, уровень физической подготовленности.

The Analysis Results of the Professional Selection of Cosmonaut Candidates by Physical Fitness in 2017–2018. V.G. Nazin, V.Yu. Samartsev, Ye.P. Shemchuk, A.V. Serdyuk, A.A. Maikov

The paper deals with the analysis results of the professional selection of cosmonaut candidates by physical fitness within the framework of the second open competitive selection in 2017–2018. The basis for the analysis was the documented medical assessments of candidates' physical fitness, obtained proceeding from the results of their performance of normative physical exercises at the face-to-face selection stage at the FSBO "Gagarin R&T CTC".

Keywords: normative physical exercises, professionally important physical capacities, physical fitness level.

Второй открытый конкурс по отбору в отряд космонавтов Роскосмоса проводился в 2017–2018 гг. Всего на участие в конкурсе заявки подали 420 человек, в том числе 87 женщин. На очный этап отбора в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (далее – НИИ ЦПК) было допущено 103 претендента в космонавты, включая 11 женщин. Профессиональный отбор кандидатов в космонавты на данном этапе включал в том числе отбор по физической подготовленности.

Всего к профессиональному отбору по физической подготовленности было допущено 55 претендентов в космонавты, включая 51 мужчину (93 %) и 4 женщины (7 %). При этом допущенные к отбору женщины и 37 претендентов мужчин являлись гражданскими специалистами (75 %), 3 претендента

(5 %) – военными специалистами, 11 человек (20 %) представляли летный состав в лице одного гражданского (2 %) и 10 военных летчиков (18 %).

Проведение отбора, в том числе, порядок обеспечения безопасности, медицинского контроля, оформления и представления результатов и т.д., осуществлялось в соответствии с действующей документацией [1].

В ходе отбора оценивались уровни физической подготовленности претендентов, а также уровни их отдельных физических качеств, профессионально важных для космонавтов – выносливости, силы, быстроты, ловкости; специальной физической подготовленности (СФП) – устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов космического полета; бортовой физической тренированности (БФТ) – способности выполнять физические тренировки на борту пилотируемых космических аппаратов.

Расчет указанных уровней осуществлялся по 10-балльной шкале с помощью компьютерной версии методики исходя из результатов выполнения претендентами нормативных физических упражнений космонавтов.

Ввиду жестких временных ограничений в качестве таковых использовались только 12 из 28 нормативных для космонавтов упражнений – по 2 упражнения на каждое из 6 профессионально важных физических качеств, а именно:

- на выносливость: плавание 800 м вольным стилем, кросс 1 км (зимой – бег на лыжах 5 км);
- на силу: подтягивание на перекладине (для женщин сгибание–разгибание рук в упоре), угол в упоре на брусьях;
- на быстроту: челночный бег 10 x 10 м, прыжок в длину с места;
- на ловкость: упражнения на батуте (прыжки с поворотом на 90, 180, 360 градусов), прыжок-спад в воду с трамплина высотой 3 м;
- на СФП: проба Ромберга, ныряние в длину;
- на БФТ: бег на бегущей дорожке БД-1, ручная велоэргометрия на велотренажере ВБ-4.

Выполнение указанных упражнений каждым из претендентов осуществлялось в течение 2 дней. При этом общие временные затраты на тестирование одной группы претендентов из 2–4 человек составляли ~8 часов.

Итоговый вывод о готовности претендентов к отбору по физической подготовленности осуществлялся исходя из соотношения их расчетных и требуемых уровней физической подготовленности.

Требуемые уровни физической подготовленности претендентов различных категорий определялись следующими условиями:

- для претендентов из числа военных и гражданских летчиков-мужчин – не ниже 5,6 балла;
- для претендентов из числа военных и гражданских специалистов: мужчин – не ниже 4,8 балла, женщин – не ниже 4,0 баллов.

Индивидуальные результаты отбора претендентов документировались в соответствующих заключениях об их физической подготовленности, представляемых в конкурсную комиссию НИИ ЦПК.

Анализ указанных результатов выявил следующее:

1. Требуемые для отбора уровни физической подготовленности из 55 претендентов показали 35 человек (64 %), в том числе:

- из 51 мужчины – 33 человека (65 %), из 4 женщин – 2 человека (50 %);
- из 10 военных летчиков – 6 человек (60 %);
- из 41 гражданского специалиста (мужчин и женщин) – 25 человек (61 %);
- 3 военных специалиста (100 %);
- гражданский летчик.

2. Средний уровень физической подготовленности 35 претендентов, прошедших данный вид отбора, составил 6,18 балла, в том числе:

- у 33 претендентов-мужчин – 6,29 балла, у 2 женщин – 4,30 балла;
- у 25 гражданских специалистов (мужчин и женщин) – 5,94 балла;
- у 6 военных летчиков – 6,57 балла;
- у 3 военных специалистов – 6,95 балла;
- индивидуальный уровень у гражданского летчика – 7,59 балла;

3. Исходя из результатов отбора в целом (с учетом физической подготовленности претендентов, их медицинских и психологических показателей, уровня образования и профессиональной компетенции, возраста и т.д.), Государственная межведомственная комиссия отобрала из мужчин 8 кандидатов в космонавты, в том числе:

- гражданского летчика;
- из 6 военных летчиков – 3 человека (50 %);
- из 3 военных специалистов – 1 человека (33,3 %);
- из 25 гражданских специалистов – 3 человека (12 %).

4. Индивидуальные уровни физической подготовленности 8 отобранных кандидатов в космонавты составили:

- у гражданских специалистов – 6,83, 5,52 и 4,60 балла;
- у военного специалиста – 5,88 балла;
- у военных летчиков – 6,53, 5,90 и 5,64 балла;
- у гражданского летчика – 7,59 балла.

5. Средний уровень физической подготовленности 8 отобранных кандидатов в космонавты составил 6,06 балла. При этом он оказался (рис. 1):

- в 1,92 раза выше среднего уровня 20 претендентов, не прошедших отбор по физической подготовленности;
- в 1,21 раза выше среднего уровня 47 претендентов, не прошедших отбор в целом.

6. Двое из 8 отобранных кандидатов в космонавты (гражданский летчик и гражданский специалист) уже на этапе отбора показали уровни физической подготовленности (соответственно 7,59 и 6,83 балла), превышающие требуемые на этапах подготовки космонавтов (соответственно, 7 и 6 баллов).

7. Отобранные кандидаты в космонавты в среднем оказались наиболее физически подготовленными в части СФП (средний балл – 8,42), силы (7,41), БФТ (6,27) и быстроты (5,16), наименее – в части ловкости (4,56) и выносливости (4,68).

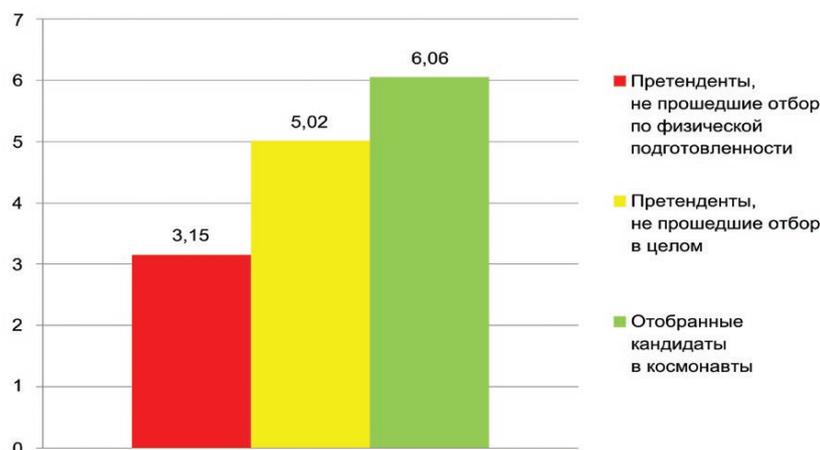


Рис. 1. Средние уровни физической подготовленности претендентов

8. Не прошедшие отбор по физической подготовленности претенденты в среднем оказались значительно менее подготовленными, чем отобранные кандидаты в космонавты, причем по всем профессионально важным физическим качествам (рис. 2).

9. Претендентов, не прошедших отбор по физической подготовленности, особо отличает крайне низкая выносливость – ее средний уровень оказался почти в 3 раза меньше, чем у отобранных кандидатов в космонавты.

10. Сравнение указанных выше результатов отбора с результатами предыдущего профессионального отбора кандидатов в космонавты, проведенного в НИИ ЦПК на основе первого открытого конкурса в 2012 году, указывает если не на тенденцию, то на факт повышения физической подготовленности претендентов в космонавты:

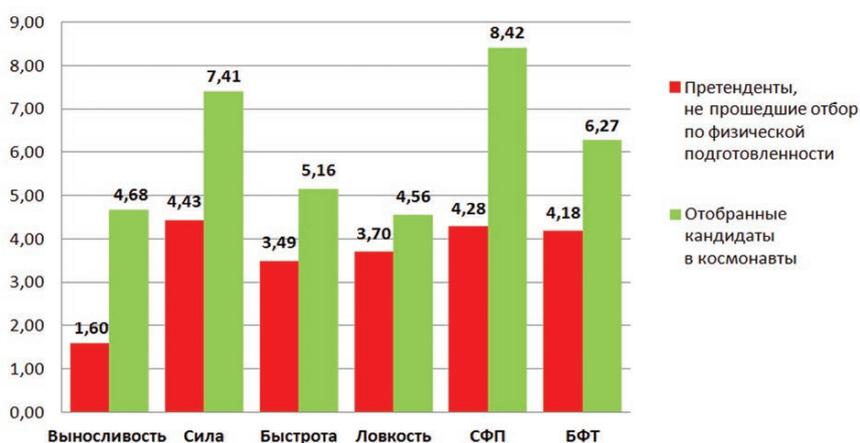


Рис. 2. Средние уровни профессионально важных физических качеств

- средний уровень физической подготовленности 55 претендентов, участвовавших в нынешнем отборе, составил 5,04 балла; 42 участвовавших в предыдущем отборе – 4,18 балла;
- средний уровень физической подготовленности 35 претендентов, прошедших этот вид отбора ныне, составил 6,18 балла; 21 прошедшего прежде – 5,56 балла;
- средний уровень физической подготовленности ныне отобранных 8 кандидатов в космонавты составил 6,06 балла, 8 отобранных ранее – 5,62 балла.

Выводы

В целом, исходя из анализа результатов профессионального отбора кандидатов в космонавты по физической подготовленности, проведенного в НИИ ЦПК на основе второго открытого конкурса в 2017–2018 гг., можно сделать следующие основные выводы:

1. Отбор по физической подготовленности, как и ранее, показал себя одним из важнейших видов профессионального отбора кандидатов в космонавты:

- данный вид отбора не смогли пройти 36 % допущенных к нему претендентов;

- не прошедшие отбор по физической подготовленности претенденты далее, как правило, не рассматривались в качестве кандидатов в космонавты.

2. Хорошая физическая подготовленность 8 отобранных кандидатов в космонавты явилась одним из важнейших факторов их успеха: средний уровень их физической подготовленности оказался почти в 2 раза выше, чем у 20 претендентов, не прошедших отбор именно по физической подготовленности, и примерно на 20 % выше, чем у 47 претендентов, не прошедших отбор в целом.

3. По сравнению с предыдущим отбором 2012 года уровень физической подготовленности претендентов заметно вырос – в среднем примерно на 20 %.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Профессиональный отбор космонавтов / Под ред. Крючкова Б.И., Харламова М.М., НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2009. – 209 с.

REFERENCES

[1] Professional Selection of Cosmonauts / Ed. by Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., 2009. – p. 209.

Авторы выражают благодарность А.Д. Беляевой за помощь в подготовке материалов статьи.

ДИСКУССИИ

DISCUSSIONS

УДК 629.78:001.891

DOI 10.34131/MSF.19.3.83-88

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИГРАФА ПРИ ОТБОРЕ КАНДИДАТОВ В КОСМОНАВТЫ

Б.И. Крючков, Л.М. Королев, О.О. Рюмин

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. психол. наук, проф. Л.М. Королев;
канд. мед. наук О.О. Рюмин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье в интересах реализации комплексного подхода при отборе кандидатов в космонавты, способствующего исключению вероятных факторов риска и негативных проявлений в будущей профессиональной деятельности космонавта, рассматриваются возможности повышения качества методик тестирований и инструментального обеспечения процедур отбора кандидатов в космонавты за счет использования полиграфа как специального метода психофизиологического исследования.

Ключевые слова: отбор кандидатов в космонавты, метод инструментального выявления скрываемой информации, профессиональная деятельность, полиграф, профессионально важные качества.

The Opportunity to Use a Polygraph When Selecting Cosmonaut Candidates. B.I. Kryuchkov, L.M. Korolev, O.O. Ryumin

The paper considers opportunities to improve the quality of testing techniques and instrumental provision of cosmonaut candidate selection procedures using a polygraph as a specific method of psycho-physiological examination in order to ensure a comprehensive approach to the selection of cosmonaut candidates excluding potential risks and negative manifestations in future professional activity of a cosmonaut.

Keywords: selection of cosmonaut candidates, instrumental method for revealing hidden information, professional activity, polygraph, professionally important qualities

В настоящее время специалистами отечественной и зарубежной физиологии и психологии внедряется в различные виды профессиональной деятельности метод инструментального выявления скрываемой информации с помощью полиграфа (детектора лжи).

В целом история полиграфа, которая насчитывает уже более ста лет, доказала высокую эффективность метода. Однако споры между его сторонниками и противниками относительно его правомерности и надежности не

прекращаются до сих пор [1, 5]. В России полиграф как способ выявления факторов риска стал применяться относительно недавно.

Проблематика особенностей профессиональной деятельности космонавтов состоит в том, что ее цели и задачи предъявляют повышенные требования к профессионально важным качествам специалиста и вызывают необходимость постоянного поиска новых методов совершенствования системы профессионального отбора кандидатов в космонавты. Внедрение метода инструментального выявления скрываемой информации с помощью полиграфа является одним из возможных способов повышения эффективности отбора кандидатов в космонавты.

Важную роль при отборе кандидатов в космонавты может играть методика обследования на полиграфе (специальное психофизиологическое исследование), направленная на получение информации о правомерных поступках, которые претендент когда-либо совершал в своей жизни, а также о его мотивации и пристрастиях, которые могут отрицательно сказаться на качестве осуществления профессиональной деятельности будущего космонавта.

Перечислим задачи, которые могут быть решены с помощью полиграфа:

- получение информации о прошлом претендента;
- уточнение биографии;
- выявление зависимости от алкоголя, наркотиков и азартных игр;
- выяснение преступных и нечестных помыслов;
- выявление связей с преступным миром;
- получение информации о заболеваниях и скрытых психофизиологических проблемах;
- получение информации о мотивации претендента.

На рисунке показан эпизод тестирования на современном полиграфе.

Техническое оснащение и процедуры обследований достаточно просты, что делает полиграф удобным средством для тестирования больших групп претендентов в космонавты.



Тестирование на полиграфе

В связи с оценкой и отбором кандидатов в космонавты выявление ложных сообщений о прошлых негативных фактах биографии претендентов с использованием полиграфа имеет практическое значение. Соккрытие фактов трактуется как безнравственное, а использование полиграфа для установления данного факта – как полезное и необходимое [8].

Правовые основы использования проверок на полиграфе в нашей стране были в свое время разработаны Российским агентством экономической безопасности и управления рисками Торгово-промышленной палаты России при внедрении стандартов, регламентирующих порядок проведения специального психофизиологического исследования во внесударственной сфере, а также порядка подготовки и аттестации полиграфологов, работающих вне сферы оперативно-разыскной деятельности.

Морально-этические аспекты при проведении специального психофизиологического исследования с применением полиграфа предполагают, что проверка на полиграфе проводится только на добровольной основе, предусматривает письменное согласие обследуемого, результаты исследования не подлежат разглашению, а результаты проверки используются с учетом прав обследуемого. На сегодняшний день законодательного механизма обеспечения данных условий в России пока нет [4]. Решение морально-этических проблем ложится на полиграфологов, которые должны осознавать свою ответственность, быть честными и объективными, свободными от предубеждений, поддерживать на уровне и постоянно совершенствовать свое мастерство, обеспечивать необходимые условия исследования на полиграфе, соблюдать конфиденциальность и профессиональную тайну.

Организационно-методические аспекты проведения специального психофизиологического исследования предполагают, что обследование с использованием полиграфа могут осуществлять специалисты, имеющие высшее образование, прошедшие обучение по специальному психофизиологическому исследованию на полиграфе и имеющие документ о профессиональной переподготовке, дающий право на данный вид деятельности. Процедура проверки на полиграфе включает заблаговременное уведомление обследуемого лица о сроках, целях и порядке проведения исследования, получение заявления на его добровольное согласие, разъяснение прав и порядка тестирования. Человек вправе отказаться от участия в исследовании до начала тестирования и в процессе его проведения. Детально проработанная процедура проведения обследования обычно составляет от 2 до 5 часов (при отборе космонавтов можно ограничиться 2 часами) и включает обсуждение вопросов, которые будут задаваться непосредственно в ходе психофизиологического исследования, проведение предварительных тестовых действий, которые направлены на адаптацию участника к условиям тестирования, снятие напряжения и тревоги, установление фоновой динамики изменений физиологических показателей. Информация, полученная во время проведения исследования, не подлежит

разглашению без согласия обследуемого. Условия хранения и использования материалов должны исключать возможность их утраты и несанкционированного доступа к ним.

Опыт работы с полиграфом при отборе и расстановке кадров показал, что его совместное использование с другими методами отбора эффективно. Проверка на полиграфе выступает как надежный метод выявления неблагоприятных факторов в биографии испытуемых, профилактики девиантного (устойчивого поведения личности, отклоняющегося от общепринятых норм) и нечестного поведения, повышения надежности персонала. Результаты многочисленных обследований на полиграфе показывают, что вероятность выявления нежелательных факторов риска в кадровой работе в ходе специального психофизиологического исследования с использованием полиграфа взаимосвязана с индивидуально-психологическими особенностями обследуемых [2, 6, 7].

Комплексный подход при отборе кандидатов в космонавты призван составить наиболее полную картину о поведении человека, а также с наибольшей точностью исключить возможные факторы риска и негативные проявления в будущей профессиональной деятельности космонавта. Данные, полученные в ходе обследования на полиграфе, необходимо использовать для формирования представлений о жизненных стратегиях претендента и о его приоритетах, а также для реализации оптимальных оценочных мероприятий в процессе отбора кандидатов в космонавты.

В рамках действующей системы отбора космонавтов метод полиграфа целесообразно использовать в двух направлениях: первое – обследование претендентов по отбору кандидатов в космонавты, выявление среди них нежелательных лиц и недопущение их к деятельности в космической сфере; второе – оценка и коррекция готовности кандидатов в космонавты к экстренным действиям в критических ситуациях.

Вместе с тем, результат проверки на полиграфе не может считаться достоверным на 100 %, так как психофизиологический инструментальный выявляет лишь эмоциональное состояние и физиологические реакции по поводу предмета тестирования.

Специфика проведения исследований с применением полиграфа заключается в том, что для получения выводов непосредственно показания прибора не используются, поскольку они по своей природе отражают лишь состояние и динамику физиологических процессов человека и не содержат никакой другой информации, которая могла бы прямо указывать на достоверность или недостоверность утверждений субъекта. С помощью полиграфа с достаточно высокой точностью можно определить лишь относительную значимость для индивида предъявляемых стимулов, в качестве которых обычно используют вопросы, озвучиваемые специалистом. Таким образом, применяя полиграф с целью оценки достоверности высказываний человека, мы имеем типичную ситуацию диагностики не по прямым, а по косвенным

признакам, отличительной чертой которой, в свою очередь, является неизбежное наличие определенного уровня ошибок.

Количество или доля ошибочных заключений по результатам тестирования на полиграфе зависят от ряда факторов. К основным из них следует отнести:

– слабую подготовку и некомпетентность полиграфологов, которые могут проявляться в неправильном выборе адекватных ситуации методик тестирования, нарушении стандартов и требований их применения, небрежности, невнимательности;

– ошибки, причины которых связаны с индивидуальными особенностями протекания психофизиологических процессов и конструктивными недостатками самих технических средств, используемых для их регистрации, отображения, анализа и оценивания.

Среди способов борьбы как с причинами ошибок, неизбежно возникающих в результате тестирования на полиграфе, так и с их негативными последствиями можно упомянуть следующие. Это, прежде всего, недопущение использования полиграфа в качестве единственного источника информации для принятия решения и, как следствие, обязательное включение этой технологии в единую систему совместно с другими способами и средствами изучения человека. Одновременно, это устранение опасности ошибок и ущерба, наносимого неквалифицированным использованием полиграфа и полученными в ходе тестирования результатами ввиду низкого качества подготовки полиграфологов и отсутствия или умышленного игнорирования ими единых стандартов проведения тестирования на полиграфе. Ненадлежащая система контроля качества работы полиграфологов, помимо прочего, порождает условия для коррупции, когда полиграфолог волен делать все, что хочет его начальник или заказчик, а не то, что он должен делать [3].

Кроме того, с помощью полиграфа можно задавать только специфические вопросы о конкретных событиях, произошедших в конкретное время. Общие вопросы задаются в определенной последовательности контрольных вопросов. Однако вероятность получения неверных результатов увеличивается тем больше, чем более обобщенными становятся сами вопросы. Поэтому составлению вопросника должно быть уделено самое пристальное внимание.

Выводы

1. В целях снижения возможных факторов риска в будущей профессиональной деятельности при отборе кандидатов в космонавты тестирование претендентов с помощью полиграфа можно считать целесообразным.

2. При организации исследования претендентов с применением полиграфа необходимо учитывать правовые, морально-этические и методические основы его проведения.

3. Необходимо рассматривать использование тестирований на полиграфе в составе комплекса других методов и средств, используемых для изучения кандидатов в космонавты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горюнова Л.Н., Степанова Н.А., Третьяков В.П., Чикер В.А. Психологические и социальные аспекты применения полиграфа при отборе кандидатов на государственную службу // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2015. Выпуск 7. С. 116–130.
- [2] Знаков В.В. Психология понимания правды. СПб., 1999.
- [3] Пеленицын А.Б., Комиссарова Я.В., Сошников А.П. Психологические и методологические аспекты исследований с применением полиграфа. // Психологические и методологические аспекты исследований с применением полиграфа. Материалы научно-практической конференции «Профессиональные и методические аспекты проведения психофизиологических исследований с применением полиграфа» (Москва, 17 марта 2012 года) // Сборник научных статей / науч. ред. докт. пед. наук, проф. А.М. Балбеко. – М.: Изд-во МАГМУ, 2012. – С. 129–142.
- [4] Степанов А.А. О проблемах использования полиграфа в России: пора бить тревогу // Защита информации. 2012. № 5. С. 39–41.
- [5] Третьяков В.П., Степанов А.А., Горюнова Л.Н. Использование полиграфа для отбора и подготовки персонала энергетических предприятий // Бюллетень Межрегиональной эргономической ассоциации. 2013. № 28. С. 18–21.
- [6] Фрай О. Детекция лжи и обмана. СПб.: Прайм-Еврознак, 2005.
- [7] Чистяков И.Н. Взаимосвязь психологической установки субъекта и вероятности распознавания скрываемой информации в опросе с использованием полиграфа: Дис. ... канд. психол. наук. М., 2010.
- [8] Экман П. Психология лжи. СПб.: Питер, 2010.

REFERENCES

- [1] Goryunova L.N., Stepanova N.A., Tretyakov V.P., Chiker V.A. Psychological and social aspects of polygraph application in selecting candidates for civil service // Topical issues of labor psychology, engineering psychology and ergonomics. – Moscow: “Insatitut Psikhologii RAN” Publishing House, 2015. Issue 7, pp. 116–130.
- [2] Znakov V.V. Psychology of understanding the truth. St. Petersburg, 1999.
- [3] Pelenitsin A.B., Komissarova Ya.V., Soshnikov A.P. Psychological and methodological aspects of investigations with the use of a polygraph // Psychological and methodological aspects of investigations with the use of a polygraph. Proceedings of the Scientific and Practice Conference “Professional and methodological aspects of psychophysiological investigations performed by using a polygraph” (Moscow, March 17, 2012) // Collection of scientific articles / Science Editor D.Ed. Professor A.M. Balbebo. – Moscow: MAGMU Publishing House, 2012. – pp. 129–142.
- [4] Stepanov A.A. Issues concerning the polygraph examinations in Russia: it’s time to sound the alarm // Zashchita informatsii [Data Protection]. 2012. No 5. pp. 39–41.
- [5] Tretyakov V.P., Stepanov A.A., Goryunova L.N. Selection and training of the staff of energy enterprises using polygraphs // Journal of the Inter-Regional Ergonomics Association. 2013. No 28. pp. 18–21.
- [6] Frai O. Lie detection. St. Petersburg: Praim-Evroznak, 2005.
- [7] Chistyakov I.N. Interaction between a subject’s mentality and the probability of recognition of withheld information during polygraph examinations: Dissertation. Candidate of Psychological Sciences. Moscow, 2010.
- [8] Ekman P. Psychology of lying. St. Petersburg, 2010.

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 004.946:519.876.5

DOI 10.34131/MSF.19.3.89-107

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИМИТАЦИИ В ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМАХ

А.П. Кручинина, В.В. Латонов, В.А. Чертополохов

А.П. Кручинина; В.В. Латонов; В.А. Чертополохов
(МГУ имени М.В. Ломоносова)

Представлен обзор технологий и технических средств, применяемых для создания симуляций и тренажеров, в том числе для задач космической отрасли, а также технологий отслеживания тела человека и визуальной имитации. Приведен пример реализации на шлеме виртуальной реальности совместно с костюмом виртуальной реальности. Эта гибридная технология позволит решать не только задачи тренировки и отработки действий в различных ситуациях, но и задачи телеуправления объектами разной степени сложности.

Ключевые слова: космос, тренажер, визуальная имитация, трекинг, виртуальная реальность.

Review of Visual Imitation Technologies in Simulator Systems.

A.P. Kruchinina, V.V. Latonov, V.A. Chertopolokhov

The paper presents the overview of technologies and technical facilities used to create simulations and simulators, including for the space industry, as well as technologies for tracking the human body and visual simulation. An example of the realization using the virtual reality headset together with the virtual reality suit is given. This hybrid technology will allow solving not only the tasks of training and practicing operations in various situations, but also the tasks of remote controlling of objects of different complexity.

Keywords: space, simulator, visual simulation, tracking, virtual reality.

Создание динамических и визуальных стимуляторов для имитации различных процессов сделало возможным разработку тренажерных систем разных типов. Тренинги на авиатренажерах – одна из неотъемлемых частей обучения пилотов пассажирской авиации во всем мире. Тренажеры применяются и для подготовки человека к решению других задач. Часто это связано с высокими издержками при ошибочных действиях обучаемого в реальных условиях, а также с подготовкой к действиям в чрезвычайных ситуациях.

Одной из сфер деятельности человека, требующей специальной подготовки, является деятельность в условиях космического полета: тренировочных полетов для космонавтов не предусмотрено. Кроме того, специфические условия работы и жизни в космосе непривычны для человека и могут привести к возрастанию количества ошибочных действий, в том числе фатальных. Поэтому нельзя обойтись без наземной подготовки космонавтов с использованием специальных технических средств, моделирующих условия деятельности в космическом полете.

В космическом полете возникает явление, называемое сенсорным конфликтом [1]. Для подготовки космонавтов к работе в космосе еще на заре пилотируемых полетов кандидаты в космонавты проходили отбор на динамических стендах: качелях Хилова, кресле Барани и центрифуге. Со временем первые два симулятора сенсорного конфликта [2] перестали применяться, и сегодня их можно увидеть, например, в музее Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. Тренировки на центрифуге, напротив, получили развитие в 80-е годы прошедшего века и применяются до настоящего времени.

Для тренировок на центрифуге были разработаны и усовершенствованы алгоритмы симуляции старта и спуска, а также в начале 2000-х создан алгоритм имитации условий, схожих с условиями микрогравитации [3].

Продолжение освоения космоса и увеличение времени пребывания человека в условиях космического полета требуют дальнейшего совершенствования комплекса технических средств подготовки к полету с использованием современных технологий. Перспектива лунных и марсианских миссий увеличивает количество задач, выполняемых космонавтами. Возникают новые задачи [4], такие, как:

- управление и телеуправление сборкой элементов космических комплексов;
- спуск, посадка и взлет с поверхности планеты;
- управление манипуляторами;
- управление и телеуправление планетоходами.

Подготовка к решению подобных задач требует дальнейшего совершенствования тренажеров. Одним из направлений развития тренажерной тематики стало создание достоверного виртуального окружения. Например, в NASA в 60-х годах начались исследования в области использования технологии виртуальной реальности для подготовки экипажей [5]. Виртуальная реальность может также использоваться космонавтами непосредственно для телеуправления объектами.

Перспективы развития тренажерной тематики с использованием технологий виртуальной реальности представлены в работах [6, 7]. Для создания тренажеров возможно использование нескольких типов симуляций. Классическим способом создания тренажера может считаться размещение макета кабины или ее части в натуральную величину [8] на имитационном

динамическом стенде, таком, как центрифуга. Сочетание имитационных динамических стендов с современными технологиями визуализации представляются авторам наиболее интересной проблематикой. Подобное сочетание сделает возможным создание тренажеров нового типа для решения актуальных и перспективных задач, связанных с освоением ближнего и дальнего космоса.

Рассмотрим компоненты симуляции, которые могут входить в состав современной тренажерной системы.

Визуальное окружение. В простейших случаях достаточно воспроизвести в натуральную величину приборную панель и необходимую индикацию на стандартном мониторе, обеспечивающем моноизображение. Однако симуляция на мониторе не задействует периферическое зрение. Кроме того, при повороте головы испытуемый видит интерьер рабочего помещения, поэтому не достигается необходимое погружение в процесс управления [9]. В ряде случаев, например, при решении задач телеуправления, по мнению авторов [9, 10], совершенно необходимо создание эффекта присутствия.

Зрение человека бинокулярно. Например, оценка расстояния до объектов, оценка объема объектов происходит благодаря парности получаемого от глаз изображения. Отсутствие объемности изображения не позволяет оператору выработать ряд специфических навыков, связанных с возможностью быстро оценивать расстояние до объектов. Поэтому необходимо обеспечивать стереовизуализацию, которая задействует и периферическое зрение.

Системы отображения экранного типа

Для решения задачи визуальной имитации в полном объеме используются панорамные экраны разных конструкций и шлемы виртуальной и дополненной реальности. Рассмотрим подробнее технологии, используемые в экранных системах и в шлемах виртуальной реальности.

Технология панорамных экранов, задействующих периферическое зрение, была разработана в первой половине XX века. В 1939 году на Всемирной выставке в Нью-Йорке был представлен панорамный экран системы Vitagata [11]. Однако такая технология не обеспечивала создание объемного изображения. Пользователь мог видеть лишь двухмерное изображение в большом диапазоне угла обзора.

Эта технология сегодня представлена многочисленными конфигурациями проекционных систем, которые различаются по нескольким параметрам. Одним из основных является форма экрана (рис. 1).

I. Система Computer Assisted Virtual Environment (CAVE) представляет собой помещение из квадратных экранов, окружающих наблюдателя («кубический экран»). Все экраны стыкуются друг с другом под прямыми углами. Боковые проекторы находятся с внешней стороны комнаты и проецируют изображение на внешние стороны экранов. Проектор, формирующий изображение на полу, расположен сверху. Также существуют модифи-

кации данного типа VR-систем, например комната StarCAVE, представляющая собой помещение в виде пятиугольной призмы.

II. Цилиндрический экран представляет собой усеченную поверхность цилиндра с разворотом примерно в 170° . Благодаря отсутствию углов на изображении не видны резкие переходы от одной проективной плоскости к другой. Каждый из проекторов светит на экран под углом, близким к прямому. Проекторы могут быть расположены как с внутренней стороны дуги экрана, так и с внешней. Число используемых проекторов может варьироваться, но их, как правило, не менее трех.

III. Конический экран (iCone display) является модификацией цилиндрического экрана и имеет форму перевернутого усеченного конуса. Отклонение конуса от вертикали составляет $5-10^\circ$, поэтому он внешне похож на усеченный цилиндр. Наклон экрана позволяет размещать проекторы выше, чем в случае использования цилиндрического экрана. Расположение проекторов на большей высоте позволяет избежать попадания тени проектора на экран [12].

IV. Куполообразный экран (iDome display) имеет вид усеченной сферы. Преимуществом системы iDome перед системой iCone является возможность полностью покрывать поле зрения человека по вертикали. Проектирование на поверхность экрана осуществляется при помощи систем криволинейных зеркал.

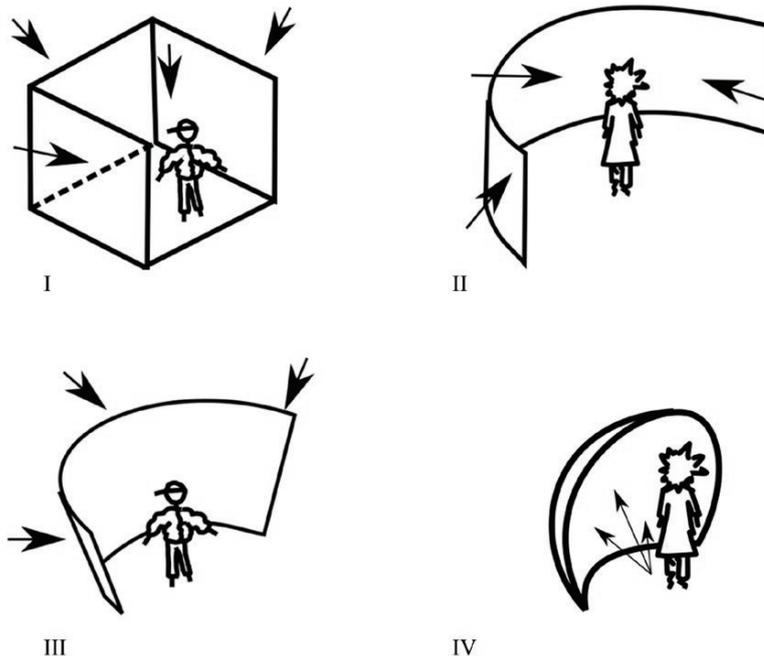


Рис. 1. I – «кубический экран»; II – цилиндрический экран;
III – конический экран; IV – куполообразный экран

Для корректного отображения происходящих в виртуальной среде событий необходимо регулярно обновлять и перестраивать изображение. Процесс построения и отображения сцены по ее специальному описанию называется рендерингом (rendering). Чтобы наблюдатель не замечал обновления изображения, его частота должна быть выше 24 Гц для центрального зрения и выше 60 Гц для периферического [13].

Более реалистичную визуальную имитацию, а значит и большую степень погружения обеспечивает стереоскопическое изображение.

Стереоскопическое изображение

Трехмерное изображение объекта формируется непосредственно в мозге человека из исходных изображений, получаемых парой глаз. Фактически мозг получает пару проекций одной и той же картинке на сетчатку глаз с различным смещением – *стереопару*.

Естественным образом *стереопара* возникает при сведении зрительных осей глаз на одной точке, в результате чего глаза видят один и тот же объект с разных ракурсов. Этот же механизм позволяет оценить расстояние до объекта. В случае, когда взгляд направлен на плоский экран, каждый глаз видит одну и ту же плоскую картинку. Поэтому проецируемые на сетчатку глаз изображения существенно не различаются и стереопара естественным образом не формируется.

Для решения задачи создания реалистичного изображения в некоторых случаях достаточно имитации бесконечного удаления визуализируемых объектов. Этот метод используется для большинства авиационных тренажеров и космических тренажеров, а также применялся для тренажеров управления крылатым космическим челноком на этапе спуска [14].

Получить эффект бесконечного удаления возможно с помощью коллиматорных зеркальных систем [15]. Схема одного из вариантов подобной системы приведена на рис. 2.

Изображение проецируется на полупрозрачный экран, установленный под углом 45° к наблюдателю. Отраженное изображение попадает на сферическое зеркало, которое перенаправляет его в сторону наблюдателя.

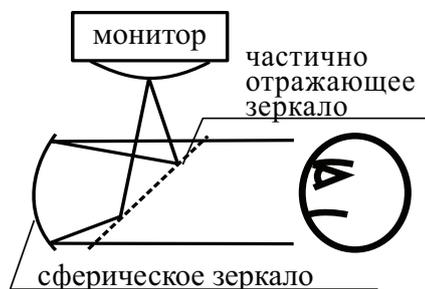


Рис. 2. Устройство зеркального коллиматорного дисплея

Проектор располагают таким образом, чтобы его линза находилась в оптическом центре зеркала. В результате исходящий от сферического зеркала световой поток получается параллельным, и у наблюдателя возникает иллюзия бесконечного удаления плоского изображения.

В общем случае, для создания 3D-эффекта на экране требуется искусственно формировать стереопару и проецировать на сетчатку разных глаз соответствующие изображения стереопары.

Для разделения изображений для глаз используются очки с фильтрами – 3D-очки. Можно выделить четыре основных типа 3D-очков:

1. Анаглифные очки, в которых вместо линз вставлены светофильтры цветов СМУ.
2. Поляризационные очки, в которых вместо линз вставлены разные поляризационные фильтры.

И анаглифные очки, и поляризационные очки используются для разделения двух изображений, выводимых одновременно на всю ширину экрана. На экран проецируются два изображения: или под разными углами, или в разных цветовых спектрах (анаглиф), или пропущенные через разные поляризующие фильтры (поляризация). Отражаясь от поверхности экрана, свет попадает на сетчатку глаз, проходя через фильтры в очках. Таким образом, при просмотре каждый глаз видит только одно изображение – то, которое «пропускает» расположенный перед глазом фильтр. Поскольку каждый глаз видит свое изображение под своим углом, при просмотре наблюдатель видит стереопару, за счет чего и возникает 3D-эффект.

3. Зеркальные 3D-очки. На экран подается два не перекрывающихся изображения, предназначенных для левого и правого глаза. В очках установлены поворотные зеркала, которые настроены так, чтобы на правый глаз попадало изображение с правой части экрана, а на левый глаз, соответственно, с левой. Данная технология пригодна исключительно для просмотра, исключая подвижность головы наблюдателя, поскольку повороты головы разрушают создаваемую очками стереопару.

4. Активные очки (Active Shutter 3D-system). Под воздействием управляющего сигнала очки перекрывают изображение попеременно для левого или правого глаза. В момент перекрытия одного из глаз на экране воспроизводится изображение, предназначенное для передачи на глаз, который остается непокрытым. Таким образом, на разные глаза подаются разные изображения, образующие стереопару.

Использование панорамных экранов с 3D-очками позволяет создать больший эффект погружения в симулируемую реальность, чем каждая из технологий отдельно.

Развитием технологии зеркальных очков можно считать носимый головной экран (Head Mounted Display, HMD) – шлем виртуальной реальности (VR-шлем). Идея носимых головных дисплеев появилась в 60-х годах XX века. Первый работающий прототип шлема виртуальной реальности

был собран в 1968 году профессором Массачусетского технологического института А. Сазерлендом и его учеником Б. Спроулом [16]. Тогда шлем был настолько тяжел, что его было необходимо подвешивать к потолку.

Сегодня существует множество различных моделей шлемов виртуальной реальности, однако работа каждого современного шлема строится по одним и тем же принципам.

Состав современного VR-шлема практически не зависит от конкретной реализации и включает [17]:

- дисплей (например, жидкокристаллический) или другой источник изображения;
- оптическую систему, имитирующую бесконечное удаление экрана и позволяющую зафиксировать его настолько близко к глазам, чтобы изображаемые объекты выглядели «в натуральную величину» и – в идеальном случае – в полном угле зрения;
- систему отслеживания положения головы наблюдателя (это необходимо для построения изображения в соответствии с положением и ориентацией головы относительно неподвижного пространства);
- крепление, фиксирующее все компоненты устройства на голове.

Стереопара и отображение сцены зависит от конкретной точки пространства, в которой находится наблюдатель. Для корректной визуальной имитации в виртуальной сцене изображения на стереоэкраны необходимо подавать в соответствии с перемещениями пользователя. Поэтому возникает задача отслеживания его физических перемещений относительно неподвижного окружающего пространства.

Особенность применения VR-шлемов заключается в неизбежно возникающей проблеме перекрытия для пользователя его собственного тела. Поэтому при использовании VR-шлема необходимо в реальном времени согласованно отображать расположение тела и конечностей пользователя в виртуальной сцене. Такая же задача возникает и при применении технологии VR в задаче телеуправления антропоморфными роботами.

Системы отслеживания

В задачах отслеживания движений часто применяется термин трекинг (*tracking*) – определение положения и ориентации объекта в трехмерном пространстве. Технология трекинга позволяет записывать движение объекта и воспроизводить его в виртуальном мире, создавая так называемых «виртуальных двойников». Технология отслеживания движения находит применение в игровой индустрии, робототехнике, медицине, компьютерной анимации [18]. Известный пример использования трекинга – технология *motion capture*, используемая при съемках фильмов для анимации персонажей.

Задачи, возникающие при съемке кино, часто решаются в постобработке. Для задач виртуальной реальности требуется отслеживание движения в режиме реального времени. Отслеживая перемещение зрителя, можно из-

менять изображение на экране так, как если бы пользователь перемещался в реальной сцене.

Задержкой воспроизведения называется время, которое проходит между реальным движением человека и откликом на его движение в виртуальной реальности. Под откликом может пониматься, например, движение его виртуального двойника, если речь идет о движениях человека, одетого в костюм виртуальной реальности. Величина задержки воспроизведения зависит от технических характеристик используемого компьютера (производительность видеокарты, тактовая частота процессора), а также от программного и аппаратного обеспечения оборудования, используемого для трекинга. Эта величина играет важную роль в задачах виртуальной реальности, поскольку при слишком большой задержке воспроизведения эффекта погружения не происходит. В ходе экспериментальных исследований было обнаружено, что эффекта погружения можно достичь при величине задержки воспроизведения не более 20 миллисекунд.

Существует несколько способов решения задачи отслеживания движения. Разделим их на две категории: определение координат тела с постоянной ошибкой и с накапливающейся ошибкой.

К системам отслеживания движения с постоянной ошибкой, их еще называют позиционными, относятся системы оптического, электромагнитного и ультразвукового трекинга.

Разберем принципы работы указанных видов систем трекинга.

1. Система оптического трекинга состоит из маркеров (групп маркеров, называемых телами), камер, осуществляющих отслеживание, и программного обеспечения, вычисляющего координаты камер и тел.

В системах оптического трекинга обычно используется один из двух видов маркеров:

- активные маркеры – светодиоды, генерирующие свой собственный свет;
- пассивные маркеры – маркеры, сделанные из световозвращающего материала, отражающие свет источника, расположенного около объектива камеры.

Каждая из камер включает в себя линзу и светочувствительную пластину. Координаты каждого маркера вычисляются по проекциям маркеров на светочувствительные пластины.

Системы оптического трекинга – наиболее простые в использовании системы отслеживания движений, поскольку маркеры удобно закреплять на подвижных объектах. Они не требуют сложной сборки, а также проводного подключения к компьютеру, за счет чего объект не ограничен в движениях.

Для корректной работы систем захвата движения необходима точная информация о взаимоположении камер или маркеров (в случае активных камер). Возникает задача калибровки, которую можно разделить на две подзадачи:

- коррекция искаженного из-за кривизны линз изображения, настройка фокусного расстояния и выдержки [19, 20, 21];
- предварительное вычисление расстояний между камерами и координат каждой из камер в неподвижной системе координат [22].

Каждая камера обладает собственным ограниченным полем зрения. Для корректного отслеживания маркера необходимо, чтобы его видели несколько камер. Получается, что каждая точка отслеживаемого физического пространства должна оказаться в поле зрения минимум двух камер. Чем больше должна быть зона отслеживания движения, тем больше камер необходимо устанавливать, что усложняет процедуру калибровки.

При необходимости отслеживать больше одного тела нужно, чтобы взаимоположения маркеров на каждом теле были попарно различны. Возможность визуально различать все тела позволяет решать задачу классификации тел, однозначно определяя подвижный объект по группе маркеров, установленных на нем.

К проблемам, возникающим при использовании оптического трекинга, нужно отнести невозможность отслеживать тело при потере видимости маркеров. При использовании системы на большом количестве отслеживаемых объектов тела могут друг друга перекрывать в поле видимости камер, поэтому увеличение числа используемых тел приводит к необходимости увеличения числа камер.

2. В системе электромагнитного трекинга в качестве датчика используется магнитометр – прибор, измеряющий характеристики магнитного поля. Магнитометры различаются по принципу работы (магнитостатические, индукционные, квантовые) и по параметрам, которые они измеряют.

В системах трекинга магнитометр закрепляется на движущемся объекте, положение которого нужно отслеживать. В то же время в окрестности движущегося объекта искусственно создается внешнее магнитное поле с известными свойствами.

Технология определения координат с помощью электромагнитного трекинга описана в работе [23]. Также возможно использование нескольких квазистатических электромагнитных полей (подобный пример описан в [24]). Для электромагнитного трекинга используются разные типы магнитометров. Обработка данных с магнитометров зависит от характера погрешностей конкретного типа магнитометра. Возможно использование и более сложных конфигураций электромагнитного поля, например, в работе [25] приводится метод вычисления положения объекта при помощи трехосных магнитометров и трехосных источников электромагнитного поля.

Преимущества электромагнитного трекинга – работоспособность в отсутствии прямой видимости, а также хорошая точность измерения координат и ориентации объектов [26].

К существенным недостаткам электромагнитного трекинга относится невозможность сделать беспроводной сенсор на подвижном объекте из-за

большого объема потребляемой энергии. Кроме того, электромагнитный трекинг невозможно использовать вблизи любых металлических предметов и устройств, способных исказить электромагнитное поле.

3. В системе ультразвукового трекинга используются передатчики сигнала – излучатели. Сигнал, в свою очередь, улавливается статичными сенсорами. На основе времени между отправлением и приемом сигнала вычисляется расстояние между излучателем и приемником. Ориентация объекта определяется с помощью связки трех передатчиков [27].

Как и в случае систем оптического трекинга, для корректной работы ультразвукового трекинга необходимо, чтобы была прямая видимость между излучателями и приемниками.

Задачи, решаемые для реализации ультразвукового трекинга, схожи с задачами при оптическом отслеживании. Среди алгоритмических подзадач:

- вычисление точного расположения приемников и передатчиков друг относительно друга [28];
- определение скорости распространения звуковых волн, которая зависит от температуры среды [29];
- фильтрация данных, поступающих с приемников сигналов.

Существенным недостатком систем ультразвукового трекинга является низкая частота измерений, из-за чего возникает большая задержка рендеринга изображения.

Системы трекинга с накапливающейся ошибкой основаны на использовании инерциальных приборов – акселерометров и датчиков угловых скоростей (ДУС). Инерциальный датчик представляет собой чувствительный элемент, изменяющий свои свойства под действием ускорения (в случае акселерометра) или угловой скорости (в случае ДУСов). В современных системах обычно используются MEMS-датчики, отличающиеся относительно небольшими размерами.

Для трекинга объекта в пространстве используется блок инерциальных датчиков, жестко закрепленный непосредственно на объекте. Обычно в одном блоке используются трехосные акселерометры и трехосные ДУСы.

Как и при позиционном трекинге, при инерциальном возникают подзадачи:

- калибровка датчиков блока акселерометров: вычисление углов несоосности между осями чувствительности, смещений нуля и мультипликативных коэффициентов, коэффициентов температурной зависимости;
- калибровка блока ДУСов: вычисление углов несоосности между осями чувствительности, смещений нуля, масштабных коэффициентов [30];
- оценка взаимной ориентации осей чувствительности акселерометров и ДУСов;
- фильтрация данных: отделение полезной информации от шума в данных, поступающих с датчиков [31];

Процесс обработки данных, поступающих с инерциальных датчиков, включает в себя решение дифференциальных уравнений, которые используют измерения с датчиков. Из-за этого ошибки оценки координат отслеживаемого тела увеличиваются со временем, что и является основным недостатком систем инерциального трекинга.

Системы инерциального трекинга часто используются в комплексе с другими источниками измерений, которые имеют невозрастающую ошибку оценки. Такой подход позволяет с высокой частотой корректировать ошибки оценки, построенной лишь по измерениям инерциальных датчиков. Примером может служить коррекция навигации транспортных средств (самолеты, морские суда и др.) по данным со спутниковой навигационной системы.

Костюм виртуальной реальности

Развитие вычислительной техники и компактных систем трекинга позволяет создавать системы для отслеживания движения всех частей тела человека, а не только его головы. Будем называть костюмом виртуальной реальности, или VR-костюмом систему, в которую входят:

- система отслеживаемых тел и датчиков, закрепленных на теле человека;
- система неподвижных измерительных устройств и неподвижных датчиков;
- вычислитель и его программное обеспечение.

При помощи VR-костюма создается аватар («виртуальный двойник» человека), который полностью воспроизводит положение и движения человека в виртуальной среде.

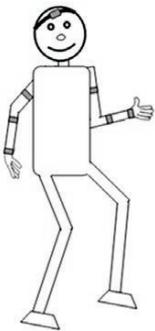
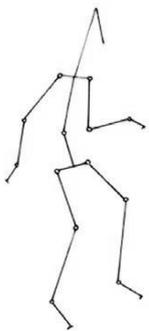
1) Человек в VR-костюме	2) Кинематическая модель	3) Виртуальный аватар
		

Рис. 3. Этапы трансформации субъекта из реального мира в виртуальный

На рис. 3 приведен ряд условных изображений, демонстрирующих идею и этапы преобразований информации о пространственных координатах положения тела человека в виртуальный аватар, позволяющий воспроизводить в копирующем режиме движения человека. На рисунке показаны: 1) человек в VR-костюме, состоящем из датчиков (оптических, магнитных, гибридных – в зависимости от выбранной реализации); 2) математическая модель человека, построенная с использованием кинематической модели и работающая по набору данных от VR-костюма; 3) виртуальный аватар, воспроизводящий движения человека в виртуальном пространстве.

Смешанная реальность – это тип комплексной визуальной имитации, при которой реальные и виртуальные объекты сосуществуют и взаимодействуют друг с другом в режиме реального времени. В смешанной реальности некоторые реальные объекты, например, пульта управления, имеют свое виртуальное представление. Физическое взаимодействие с реальными объектами находит свое отображение и в виртуальной сцене, позволяя осуществить взаимодействие аватара пользователя с виртуальными копиями этих объектов.

Авторами был разработан VR-костюм, который применяется в комплексе смешанной реальности для имитации работ на поверхности Марса и подготовки операторов телеуправления робототехническими системами. Работа VR-костюма обеспечивается на основе оптического трекинга ArtDTrack и набора инерциальных шестикомпонентных датчиков. Реализация выполнена на технических средствах панорамной системы виртуальной реальности (ПСВР), располагающейся в лаборатории математического обеспечения исследований динамических систем (МОИДС) физико-математического факультета МГУ [32].

Как видно из рис. 3, промежуточным описанием между человеком и его виртуальным аватаром является модель «скелета» человека. Эта модель представляет собой многозвенник, каждое звено которого моделирует какую-либо конечность или часть туловища. Требуется, чтобы VR-костюм обеспечивал точную оценку положения каждого из звеньев в режиме реального времени.

Алгоритм реального времени включает корректировку высокочастотных (с частотой в 200 Гц) инерциальных данных по оптическим данным (оптический трекинг), получаемым с частотой 60 Гц .

По измерениям, поступающим с инерциальных датчиков, строится оценка. Эти измерения содержат случайную ошибку с линейно возрастающей дисперсией и корректируются по данным оптической системы отслеживания каждый раз, когда приходят данные измерений. Измерения оптической системы содержат случайную ошибку с постоянной невозрастающей дисперсией.

Оптический трекинг (с постоянной ошибкой) был использован авторами в качестве источника измерений по нескольким причинам. Во-первых,

большинство существующих систем оптического трекинга взаимозаменяемы, что позволяет в случае замены системы оптического трекинга переделывать уже разработанное ПО достаточно быстро. Во-вторых, эти системы достаточно просты в развертывании на площадках и менее чувствительны к внешним помехам, чем системы ультразвукового и электромагнитного трекинга.

В качестве модели для коррекции также используется кинематическая модель человека. Эта модель позволяет однозначно восстановить положение рук и ног, если известны положения ладоней и стоп, и служит источником точных измерений некоторых координат, что уменьшает число оптических датчиков, необходимых для костюма.

Таким образом, если в поле зрения оптической системы попадают все маркеры, закрепленные на объекте, то оценка положения и ориентации строится по измерениям с инерциальных датчиков и с оптической системы [33]. В этом случае дисперсия ошибки стремится к нулю.

При перекрытии маркеров другими объектами или выходе из поля зрения видеокамер оценка строится только по показаниям инерциальных датчиков. Таким образом, трекинг осуществляется непрерывно. Более того, кратковременные потери оптической системой световозвращающих маркеров при применении гибридного подхода становятся не критичными, так как дисперсия ошибки оценки возрастает достаточно медленно. Точности отслеживания положения тела с использованием гибридной технологии зависят от исходной точности инерциальной и позиционной систем. Например, на ПСВР в МГУ имени М.В. Ломоносова достигается точность с ошибкой отслеживания менее 5 мм на всем протяжении времени отслеживания. Возможная точность при таком подходе зависит от параметров данных, получаемых от позиционной и непозиционной систем отслеживания. В этом случае удалось достичь частоты обновления сцены, равной 60 Гц. Разрешение используемого шлема виртуальной реальности – 2560×1440.

Принцип работы системы гибридного трекинга представлен на схеме (рис. 4).

Разработка костюмов виртуальной реальности позволит перейти от обследуемой виртуальной реальности, где пользователь может лишь просматривать трехмерное изображение, к интерактивной виртуальной реальности. В интерактивной виртуальной реальности, в отличие от обследуемой, пользователь может взаимодействовать с виртуальными объектами и управлять ими наподобие того, как он взаимодействует с реальными объектами в реальном мире. Такая технология обеспечения визуальной имитации позволяет существенно улучшить качество погружения в виртуальную реальность.

С использованием этой же технологии становится возможной «виртуализация» реальных объектов для создания смешанной реальности.

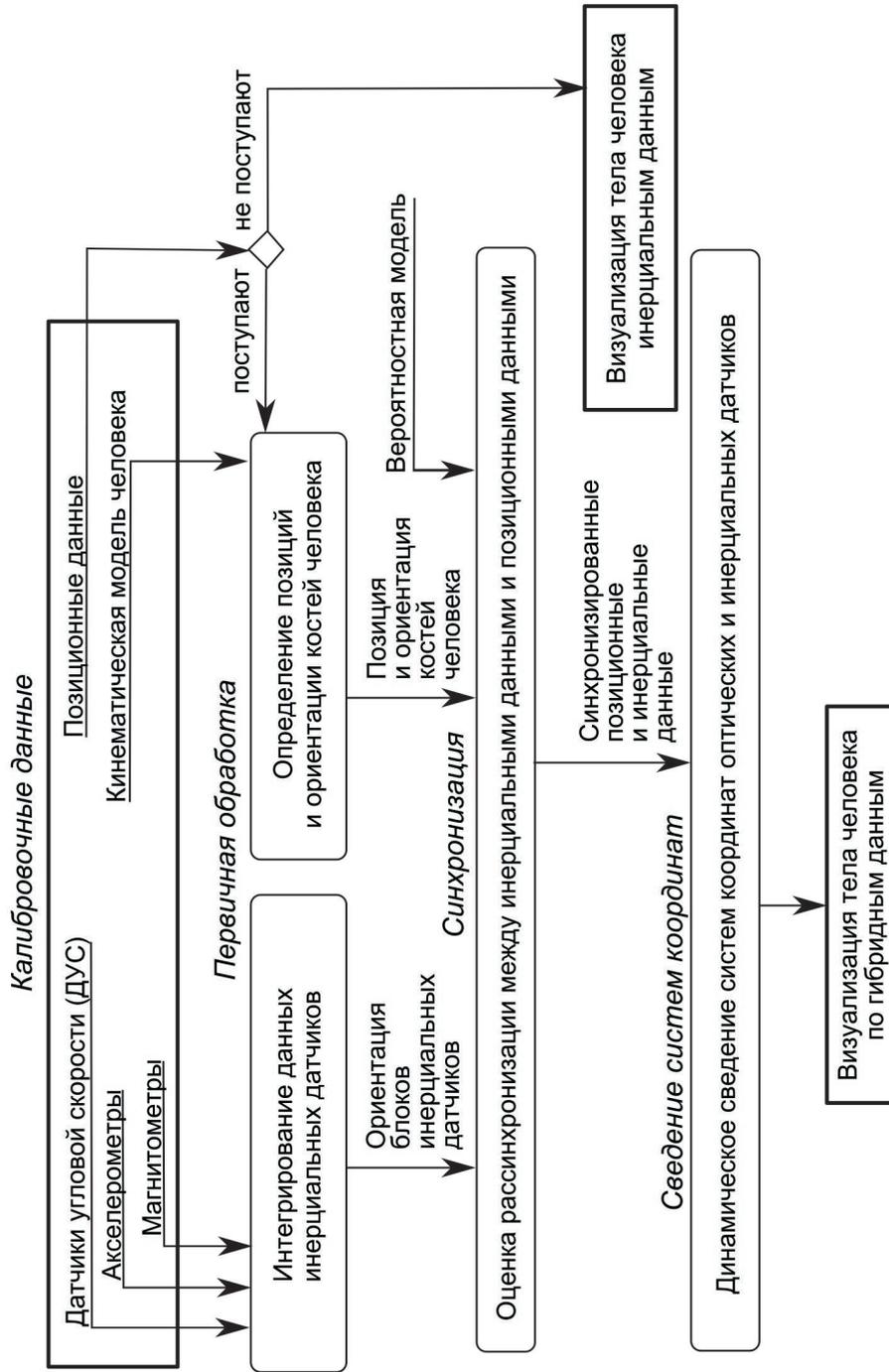


Рис. 4. Схема работы гибридной системы отслеживания движений

Выводы

1. С использованием технологий виртуальной реальности возможно создание и усовершенствование ряда тренажеров, в том числе: тренажеров спуска, посадки, управления средствами передвижения и систем телеуправления роботизированными системами.

2. Системы на основе шлемов виртуальной реальности позволяют добиться большей степени погружения, нежели экранные системы.

3. Несмотря на достаточно давнее существование систем на основе шлемов виртуальной реальности, их основным недостатком остается отсутствие точного отслеживания движений тела человека. Гибридный трекинг полностью решает эту проблему и позволяет реализовывать взаимодействие с физическими объектами внутри виртуальной сцены.

4. Системы гибридного трекинга могут размещаться внутри макетов кабин существующих динамических тренажеров, повышая их обучающие возможности, а также достаточно компактны для размещения, например, на борту орбитальной станции для подготовки космонавтов к выходам в открытый космос.

5. Технологии смешанной реальности, основанные на гибридном трекинге, становятся основой следующего шага в развитии тренажеров для подготовки операторов сложных динамических систем и, в первую очередь, космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kornilova L.N. Effect of Otoliths Upon Function of the Semicircular Canals after Long-term Stay Under Conditions of Microgravitation / Kornilova L.N., Temnikova V.V., Sagalovitch S.V., et al. // *Physiological Journal*, 2007, Vol. 93, No. 2, pp. 128–138.
- [2] Кручинина А.П. Анализ математической модели вестибулярного стимулятора – качелей Хилова / Кручинина А.П., Якушев А.Г. // *Труды XVII Международного научно-технического семинара*. Алушта, сентябрь 2008 г. – ГУАП СПб, 2008. – С. 255–256.
- [3] Садовничий В.А. Математические задачи динамической имитации полета / Александров В.В., Чугунов О.Д. // *Издательство МГУ*, 1986. – 181 с.
- [4] Игнатъев С.В., Хрипунов В.П. Задачи и принципы создания комплекса тренажеров для подготовки космонавтов по лунной и марсианской программам // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2011. – № 2(2). – С. 94–98.
- [5] Fisher S.S. The Virtual Environment Display System / Fisher S.S., Humphries J., McGreevy M., Robinett W. // *ACM Workshop on Interactive 3D Graphics* – 1986.
- [6] Крючков Б.И. Создание моделей виртуальной реальности как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником экипажа и как условие определения потенциальных областей его полезного применения / Крючков Б.И., Усов В.М. // *Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника»*, СПб: Политехника-сервис. – 2013. – С. 230–244.
- [7] Крючков Б.И. Применение методов захвата движений в космической робототехнике при инженерно-психологическом проектировании человеко-машинного

- взаимодействия / Крючков Б.И., Усов В.М., Михайлюк М.В. // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(21). – 2016. – С. 57–78.
- [8] Садовничий В.А., Александров В.В., Лемак С.С., Лобашов Е.С. Алгоритмы динамической имитации аэрокосмического полета на стендах типа центрифуги. // Современные проблемы математики и механики. – Изд-во МГУ, 2009. – Т. 1. – С. 134–146.
- [9] Nechvatal J. Immersive Ideals / Critical Distances: A Study of the Affinity Between Artistic Ideologies Based in Virtual Reality and Previous Immersive Idioms / Nechvatal J. // LAP Lambert Academic Publishing AG & Co KG – 2010.
- [10] Simulation of the cosmonaut-robot system interaction on the lunar surface based on methods of machine vision / Kryuchkov B.I., Usov V.M., Chertopolokhov V.A. // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol. 42, No. 2-W4. – pp. 129–133.
- [11] Осипов М.П. Системы виртуальной реальности / Учеб. пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2012. – 48 с.
- [12] Simon A. The i-Cone™ – A Panoramic Display System for Virtual Environments / Simon A., Gobel M. // Proceedings of the 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2002.
- [13] Доценко В.И., Штефанова О.Ю., Якушев А.Г. Коэффициент стабилизации взора при компьютерном анализе нистагма как объективный интегральный показатель оценки вестибулярной функции // Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация: Материалы 2-й научно-практической конференции с международным участием, 25–26 ноября 2014 г. – СПб, 2014. – С. 62–64.
- [14] Page R.L. Brief History of Flight Simulation / Page R.L. – 2000 – Print – p. 11.
- [15] Rolfe J.M. Flight Simulation. Front Cover / Rolfe J.M., Staples K.J. – Cambridge: Cambridge University Press, 1988. – p. 282 – Technology & Engineering.
- [16] Sutherland I.E. A Head-Mounted Three Dimensional Display / Sutherland I.E. – Joint Computer Conference. – 1969. – pp. 757–764.
- [17] Hezel P.J. Head Mounted Displays for Virtual Reality / Hezel P.J., Veron H. – Bedford, Massachusetts: The MIRTE Corporation, 1993. – p. 43.
- [18] Гайниyarов И.М. Метод захвата движений как средство естественного интерфейса GraphiCon 2017 / Гайниyarов И.М., Обабков И.Н., Хлебников Н.А. // Компьютерное зрение, 24–28 сентября 2017, Пермь. – С. 193–196.
- [19] Hugemann W. Correcting Lens Distortions in Digital Photographs / Hugemann W. – EVU – 2010. – p. 12.
- [20] Bauer A. Computational Optical Distortion Correction Using a Radial Basis Function-Based Mapping Method / Bauer A., Vo S., Parkins K., Rodriguez F., Cakmakei O., Rolland J.P. // Optics Express. – 2012. – Vol. 20, No. 14. – pp. 14906–14920.
- [21] Gribbon K.T. A Real-Time FPGA Implementation of a Barrel Distortion Correction Algorithm With Bilinear Interpolation / Gribbon K.T., Johnston C.T., Bailey D.G. // Image and Vision Computing NZ. – 2003. – pp. 408–413.
- [22] Baker P. Complete Calibration of a Multi-Camera Network / Baker P., Aloimonos Yi. // Proceedings IEEE Workshop on Omnidirectional Vision. – 12–12 June, 2000.
- [23] Zhang Z. The Design and Analysis of Electromagnetic Tracking System / Z. Zhang, G. Liu // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. – 2013. – Vol. 5, No. 2. – pp. 85–89.

- [24] Paperno E. A New Method for Magnetic Position and Orientation Tracking / Paperno E., Sasada I., Leonovich E. // IEEE Trans. on Magnetics. – 2001. – Vol. 37, No. 4. – pp. 1938–1940.
- [25] Raab F.E. Magnetic Position and Orientation Tracking System / Raab F.E., Blood E.B., Steiner T.O., Jones H.R. // IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst. – 1979. – Vol. 15, No. 5. – pp. 709–717.
- [26] Система координатной привязки фотоизображений для РС МКС / Рурин О.С., Калифатиди А.К., Волоховский Д.А., Волик Л.В., Городецкий И.Г., Бронников С.В., Караваев Д.Ю., Рожков А.С. // Седьмой Международный аэрокосмический конгресс ИАС'2012, 26–31 августа 2012.
- [27] Chassange L. Ultrasonic Sensor Triangulation for Accurate 3D Relative Positioning of Human Robot Feet / Chassange L., Bruneau O., Bialek A., Faguier C., Brousard E., Barrois O. // IEEE Sensors Journal. – 2015. – Vol. 15, No. 5. – 2856–2865.
- [28] J. Zhao. Autonomous Ultrasonic Indoor Tracking System / J. Zhao, Y. Wang // Parallel and Distributed Processing with Applications. – 10–12 Dec. 2008.
- [29] Martin J.M. Ultrasonic Ranging Gets Thermal Correction / Martin J.M., Ceres R., Calderon L. // Sensor Review. – 1999. – Vol. 9, No. 1. – pp. 153–155.
- [30] Chatfield A.B. Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation / A.B. Chatfield – Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997. – p. 339 – Progress in Aeronautics and Astronautics.
- [31] Petovello M. Real-time integration of a tactical-grade IMU and GPS for high-accuracy positioning and navigation [Ph.D. thesis], UCGE Report No. 20173, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Canada, 2003.
- [32] <http://ve-group.ru/portfolio/panoramnaya-sistema-virtualnoy-realnosti-mgu/>.
- [33] Совместная обработка показаний инерциального блока и системы видеоанализа / Бобылев А.Н., Кручинин П.А., Чертополохов В.А. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 10(159). – С. 97–103.

REFERENCES

- [1] Kornilova L.N. Effect of Otoliths Upon Function of the Semicircular Canals after Longterm Stay under Conditions of Microgravitation / Kornilova L.N., Temnikova V.V., Sagalovitch S.V., et al. // Physiological Journal, 2007, Vol. 93, No. 2, pp. 128–138.
- [2] Kruchinina A.P. Analysis of the Mathematical Model of the Vestibular Stimulator – Khilov swing / Kruchinina A.P., Yakushev A.G. // Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Workshop. Alushta, September 2008. – GUAP St.P., 2008. – pp. 255–256.
- [3] Sadovnichiy V.A. Mathematical Problems of Dynamic Flight Simulation / Aleksandrov V.V., Chugunov O.D. // MSU Publ., 1986. – p. 181.
- [4] Ignatyev S.V., Khripunov V.P. Objectives and Principles of Creation of Simulator Complex to Train Cosmonauts Under the Lunar and Martian Programs // Scientific Journal “Manned Spaceflight” – 2011. – No 2(2). – pp. 94–98.
- [5] Fisher S.S. The Virtual Environment Display System / Fisher S.S., Humphries J., McGreevy M., Robinett W. // ACM Workshop on Interactive 3D Graphics – 1986.
- [6] Kryuchkov B.I. Developing VR-models to Train Cosmonauts How to Interact with a Robot-Crew Assistant and to Identify Potential Areas of its Application / Kryuchkov B.I., Usov V.M. // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Extreme Robotics”, St.P.: Politekhnika-servis. – 2013. – pp. 230–244.

- [7] Kryuchkov B.I. Engineering-Psychological Designing of Human-Machine Interaction / Kryuchkov B.I., Usov V.M., Mikhayluk M.V. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – No 4(21). – 2016. – pp 57–78.
- [8] Sadovnichiy V.A., Aleksandrov V.V., Lemak S.S., Lobashov E.S. Algorithms for Simulation of Aerospace Flight Dynamics on Centrifuge-Type Stands // Contemporary Problems of Mathematics and Mechanics. – MSU Publ., 2009. – Vol. 1. – pp. 134–146.
- [9] Nechvatal J. Immersive Ideals / Critical Distances: A Study of the Affinity Between Artistic Ideologies Based in Virtual Reality and Previous Immersive Idioms / Nechvatal J. // LAP Lambert Academic Publishing AG & Co KG – 2010.
- [10] Simulation of the Cosmonaut-Robot System Interaction on the Lunar Surface Based on Methods of Machine Vision / Kryuchkov B.I., Usov V. M., Chertopolokhov V.A. // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol. 42, No. 2-W4. – pp. 129–133.
- [11] Osipov M.P. VR-systems / Instruction aid. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod University, 2012. – p. 48.
- [12] Simon A. The i-Cone™ – A Panoramic Display System for Virtual Environments / Simon A., Gobel M. // Proceedings of the 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2002.
- [13] Dotsenko V.I., Shtefanova O.Yu., Yakushev A.G. Stabilization Factor in Computer Analysis of Nystagmus as an Objective Integral Indicator for Evaluation of Vestibular Function // Clinical Neurophysiology and Neurorehabilitation: Proceedings of 2nd Scientific and Practical Conference with International Participation, November 25–26, 2014. – St.P., 2014. – pp. 62–64.
- [14] Page R.L. Brief History of Flight Simulation / Page R.L. – 2000 – Print – p. 11.
- [15] Rolfe J.M. Flight Simulation. Front Cover / Rolfe J.M., Staples K.J. – Cambridge: Cambridge University Press, 1988. – p. 282. – Technology & Engineering.
- [16] Sutherland I.E. A Head-Mounted Three Dimensional Display / Sutherland I.E. – Joint Computer Conference. – 1969. – pp. 757–764.
- [17] Hezel P.J. Head Mounted Displays for Virtual Reality / Hezel P. J., Veron H. – Bedford, Massachusetts: The MIRTE Corporation, 1993. – p. 43.
- [18] Gainiyarov I.M. Motion-Capture Method as a Means of Natural Interface GraphiCon 2017 / Gainiyarov I.M., Obabkov I.N., Khlebnikov N.A. // Computer Vision, September 24–28, 2017, Perm. – pp. 193–196.
- [19] Hugemann W. Correcting Lens Distortions in Digital Photographs / Hugemann W. – EVU – 2010. – p. 12.
- [20] Bauer A. Computational Optical Distortion Correction Using a Radial Basis Function-Based Mapping Method / Bauer A., Vo S., Parkins K., Rodriguez F., Cakmakei O., Rolland J.P. // Optics Express. – 2012. – Vol. 20, No. 14. – pp. 14906–14920.
- [21] Gribbon K.T. A Real-Time FPGA Implementation of a Barrel Distortion Correction Algorithm With Bilinear Interpolation / Gribbon K.T., Johnston C.T., Bailey D.G. // Image and Vision Computing NZ. – 2003. – pp. 408–413.
- [22] Baker P. Complete Calibration of a Multi-Camera Network / Baker P., Aloimonos Yi. // Proceedings IEEE Workshop on Omnidirectional Vision. – 12–12 June, 2000.
- [23] Zhang Z. The Design and Analysis of Electromagnetic Tracking System / Z. Zhang, G. Liu // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. – 2013. – Vol. 5, No. 2. – pp. 85–89.

- [24] Paperno E. A New Method for Magnetic Position and Orientation Tracking / Paperno E., Sasada I., Leonovich E. // IEEE Trans. on Magnetics. – 2001. – Vol. 37, No. 4. – pp. 1938–1940.
- [25] Raab F.E. Magnetic Position and Orientation Tracking System / Raab F.E., Blood E.B., Steiner T.O., Jones H.R. // IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst. – 1979. – Vol. 15, No. 5. – pp. 709–717.
- [26] Photo Coordinate System for the ISS RS / Rurin O.S., Kalifatidi A.K., Volokhovskiy D.A., Volik L.V., Gorodetskiy I.G., Bronnikov S.V., Karavaev D.Yu., Rozhkov A.S. // The VII International Aerospace Congress IAC'2012, August 26–31, 2012.
- [27] Chassange L. Ultrasonic Sensor Triangulation for Accurate 3D Relative Positioning of Human Robot Feet / Chassange L., Bruneau O., Bialek A., Faguier C., Brousard E., Barrois O. // IEEE Sensors Journal. – 2015. – Vol. 15, No. 5. – 2856–2865.
- [28] J. Zhao. Autonomous Ultrasonic Indoor Tracking System / J. Zhao, Y. Wang // Parallel and Distributed Processing with Applications. – 10–12 Dec. 2008.
- [29] Martin J.M. Ultrasonic Ranging Gets Thermal Correction / Martin J.M., Ceres R., Calderon L. // Sensor Review. – 1999. – Vol. 9, No. 1. – pp. 153–155.
- [30] Chatfield A.B. Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation / A.B. Chatfield – Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997. – p. 339 – Progress in Aeronautics and Astronautics.
- [31] Petovello M. Real-time integration of a tactical-grade IMU and GPS for high-accuracy positioning and navigation [Ph.D. thesis], UCGE Report No. 20173, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Canada, 2003.
- [32] <http://ve-group.ru/portfolio/panoramnaya-sistema-virtualnoy-realnosti-mgu/>.
- [33] Boblyov A.N. Joint Data Proceeding of an Inertial Unit and Video Analysis System / Boblyov A.N., Kruchinin P.A., Chertopolokhov V.A. // UFU News. Technical Science. – 2014. – No 10(159). – pp. 97–103.

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.788:001.8

DOI 10.34131/MSF.19.3.108-133

ОТ ЖЮЛЯ ВЕРНА ДО МИССИЙ «АПОЛЛОНОВ» (КАК ПРИНИМАЛОСЬ РЕШЕНИЕ О ВЫСАДКЕ НА ЛУНУ)

Ю.М. Батурин

(Окончание. Начало в журнале № 2(31)/2019)

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ, докт. юридических наук, профессор, чл.-корр. РАН Ю.М. Батурин
(ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН)

Высадка человека на Луну рассматривается в рамках четырехфазной схемы развития технических нововведений. Статья фокусируется на принятии политического решения президентом США. Обсуждается влияние НАСА, политических советников президента Кеннеди, академического сообщества и успехов Советского Союза на его решение. На весах сравнивались цена национального престижа, научная польза, риск для экипажа и бюджетные расходы. Критикой научного сообщества, предупреждавшего, что научные результаты должны быть более весомы, пренебрегли. Демонстрируется, как победил первый фактор – национальный престиж. Показывается роль научных советников в механизме принятия президентских решений.

Ключевые слова: Луна, высадка на Луну, США, президент, принятие решения, годовщина.

From Jules Verne to “Apollo” Missions (How the Decision for Lunar Landing Was Made). Yu.M. Baturin

The landing of a man on the Moon is considered within the framework of a four-phase scheme for the development of technical innovations. The article focuses on making a political decision by the US President. The influence of NASA, political advisers to President Kennedy, the academic community and the success of the Soviet Union on making the decision is discussed. The price of national prestige, scientific benefit, the risk to the crew and budget expenditures were thoroughly weighted. The scientific community warned that scientific results should be more substantial, but this criticism was neglected. It is demonstrated how the first factor – national prestige – won. The role of scientific advisers in the presidential decision-making mechanism is shown.

Keywords: Moon, lunar landing, USA, president, decision-making, anniversary.

Экономические расчеты

Итак, пугающую конгрессменов сумму 33 миллиарда долларов удалось обойти в Послании, завуалировав ее фразой «по оценкам, от семи до девяти миллиардов долларов в год дополнительно в следующие пять лет». Тем не менее, эта тема оставалась по-прежнему острой. 13 ноября 1962 года Бюджетный отдел (бюро) администрации президента подготовил для президента Кеннеди финансовую справку, в которой рассматривалась стоимость лунной программы в зависимости от запланированного года достижения цели (табл. 1) [31]. Руководитель НАСА Дж. Уэбб выбрал вариант 1 как наиболее предпочтительный, чтобы обогнать русских в высадке на Луну.

Таблица 1

Стоимость программы высадки на Луну (в миллиардах долларов)

	Год	1963	1964	1965	1966	1967	Всего
Вариант 1	конец 1967	2,7	4,6	3,4	2,6	1,8	15,1
Вариант 2	середина 1967	3,1	4,6	3,2	2,4	1,8	15,1
Вариант 3	конец 1966	3,6	5,4	3,9	3,0	1,0	16,9
Вариант 4	конец 1968	2,7	3,7	3,5	2,7	2,1	14,7

В 1963 году критика лунного проекта усилилась. Президент Кеннеди, как и раньше, 9 апреля попросил вице-президента Джонсона и Национальный совет по космосу вновь внимательно проанализировать космическую программу: «Я ощущаю необходимость получить более ясное понимание ряда фактических и политических проблем, связанных с Национальной космической программой, которые постоянно обсуждаются в обществе в разных контекстах» [32]. Он, в частности, поставил вопрос: «До каких пределов программа могла бы быть уменьшена, начиная с 1964 финансового года, в областях, не сильно влияющих на осуществление программы «Аполлон» (а следовательно, не ставящая под угрозу график первой высадки на Луну)?» [32].

13 мая 1963 года Л. Джонсон направил президенту записку, в которой говорилось, что на сегодняшний день для лунного проекта требуется приблизительно 20 миллиардов долларов. В бюджете 1964 года на лунную программу предусмотрено 4,4 миллиарда долларов. Общий бюджет НАСА на 1964 год при условии, поставленном президентом, может быть уменьшен с 6,2 миллиарда до 5,7 миллиарда долларов [33]. Джонсон был оптимистом. В реальности бюджет был урезан значительно сильнее. Будто реагируя на заданный в «Нью-Йорк Таймс» вопрос: «Может ли администрация рассчитывать на бюджетную поддержку, необходимую для обеспечения высадки на Луну в 1969 году?», 18 ноября 1963 года, за четыре дня до трагической гибели президента Кеннеди, Сенат проголосовал за секвестр бюджета НАСА на 612 миллионов долларов. Фактически, утвердив бюджет НАСА на

1964 финансовый год, Конгресс выделил Агентству 5,1 миллиарда долларов, увеличив бюджет на 1,3 миллиарда по сравнению с 1963 годом, но урезав его на 0,6 миллиарда долларов по сравнению с тем, что просил президент.

Своего пика – 5,25 миллиарда долларов – бюджет НАСА достиг в 1965 финансовом году, а затем стал постепенно снижаться [34]. В 1966 году Дж. Уэбб был сильно разочарован отсутствием поддержки Белого дома, в то время как он боролся в Конгрессе за каждый цент.

Окончательная стоимость проекта «Аполлон» составила 25,4 миллиарда, приблизительно 180 миллиардов в долларах по современному курсу [35].

И все же вместе?

Мы видели, что на начальном этапе выбор лунной программы НАСА был для Кеннеди скорее личной реакцией на политическую ситуацию в начале 1961 года, нежели следствием рационального рассмотрения перспективной космической программы. Поэтому многие в его администрации, да и вне ее, открыто сомневались в правильности принятого решения. И все же, похоже, именно тогда президент стал рассматривать космическую деятельность как важнейший элемент своей будущей политики. Тем не менее, возможность перехода к совместному с СССР проекту сохранялась.

Н.С. Хрущев с большим запозданием реагировал на сигналы Кеннеди [36]. В своем письме к нему 21 февраля 1962 года, в котором он поздравлял Соединенные Штаты с первым орбитальным полетом Джона Гленна (полет Джона Гленна состоялся 20 февраля 1962 года), Хрущев предложил США объединить усилия в исследовании Вселенной. На следующий день Кеннеди позвонил Хрущеву и сказал, что дал указание своему правительству подготовить предложения по возможным совместным действиям. Предложения были сформулированы и направлены Хрущеву в письме Кеннеди 7 марта 1962 года. Речь в нем шла о сотрудничестве в пяти областях: метеорологические спутники, службы слежения, картирование магнитного поля Земли, спутники связи и космическая медицина. Кеннеди, в частности, отмечал: «...Исследование космоса – деятельность широкая и разнообразная, и возможности для сотрудничества многообразны. Предлагая возможные первые шаги, я отнюдь не собираюсь ограничивать наше взаимное рассмотрение желательных направлений сотрудничества...» [37]. Ответ Хрущева пришел через две недели. Он согласился с американскими предложениями и добавил свои [38].

Несмотря на возникавшую регулярно серьезную напряженность в отношениях между СССР и США, тема космического сотрудничества всегда жила в умах Н.С. Хрущева и Дж.Ф. Кеннеди. Так, во время июньской 1961 года встречи на высшем уровне в Вене, когда камнем преткновения стал статус Западного Берлина, и оба лидера обменялись неприкрытыми угрозами, Кеннеди, только что утвердивший космическую программу, которая впоследствии трансформировалась в проект «Аполлон», предлагал Хрущеву сотрудничество! [39]. Даже во время Карибского кризиса в октябре

1962 года президент США Дж. Кеннеди приказал всего лишь не предпринимать никаких действий в рамках двустороннего соглашения между СССР и США по космосу, подписанному в июне 1962 года в Женеве, пока не урегулирована ситуация вокруг Кубы, но не разорвал его! [36]. Тенденция к сотрудничеству двух держав в космосе выглядела вполне устойчивой.

Следом за обменом письмами между двумя лидерами 27, 28 и 30 марта 1962 года в здании ООН в Нью-Йорке состоялись переговоры по возможному сотрудничеству в области космической деятельности между советской и американской делегациями. Первую возглавлял академик Анатолий Благодиров, а вторую – заместитель руководителя НАСА Хью Драйден. Они продолжились в Женеве 29 мая и 8 июня 1962 года. Белый дом тщательно отслеживал идущие переговоры для уверенности в том, что любые достигнутые соглашения не выходили бы за политически допустимые рамки и не вызвали бы ожесточенной критики. Заместитель государственного секретаря Джордж Болл докладывал: «По нашим ощущениям выбранный пошаговый подход неформальных бесед между представителями научного сообщества предпочтителен для продвижения к будущему сотрудничеству и пора подумать о переходе на межправительственный уровень переговоров» [40].

Безусловно, кубинский кризис не мог не повлиять на отношение президента Кеннеди к идее совместного полета на Луну, но как ни удивительно, он от нее не отказался. Возможно, причиной тому – улучшившиеся после благополучного разрешения кризиса американо-советские отношения.

Критика проекта «Аполлон» нарастает

21 ноября 1962 года в Белом доме состоялась встреча президента Кеннеди с руководителем НАСА Дж. Уэббом, его заместителями – Хью Драйденом и Робертом Симансом, директором бюджетного отдела администрации президента Дэвидом Беллом, советником президента по науке Джеромом Визнером и некоторыми другими лицами, связанными с программой «Аполлон». Разговор шел откровенный, без дипломатических уверток и стремления к корректности, поэтому он оставался секретным до августа 2001 года.

Начиная с 1963 года, критические оценки лунной программы становились все более распространенными. Они выражались, в основном, через прессу, но выплескивались и на политических мероприятиях. Критика осуществлялась преимущественно с позиции первоочередных государственных задач, а также со стороны научного сообщества. 10 и 11 июня сенатский комитет по авиации и космическим исследованиям провел слушания, на которых десять известных ученых обсуждали проект «Аполлон». Большинство сетовали на то, что высший приоритет проекту был придан совершенно произвольно, и рассказывали, с какой пользой могли бы выделенные на лунную программу средства быть использованы в других областях. Филип Абельсон, редактор престижного журнала Science, рассказал о проведенном журналом опросе ученых, не связанных личными интересами

с НАСА, и оказалось, что за высадку на Луну проголосовали только трое из них, а против – 110. «Пилотируемые полеты для исследования космоса имеют ограниченную научную ценность, в то время как им придается нереалистично большое значение, – сказал он в своем выступлении. – Отвлечение талантов на космическую программу оказывает и будет оказывать прямое и косвенное разрушительное воздействие практически на все области науки, техники и медицины и... означает задержку победы над раком и психическими болезнями» [34]. Председатель комитета по международным отношениям сенатор Уильям Фулбрайт предположил, что «такое распределение приоритетов ведет к катастрофе» [34]. Экс-президент Дуайт Эйзенхауэр написал в широко читаемой газете «Saturday Evening Post», что «гонка к Луне, неизбежная трата огромных сумм и увеличение государственного долга – неверный путь» [34].

Многие весьма влиятельные личности в научном сообществе, хотя и не публично, тоже критически высказывались в отношении программы «Аполлон». Так, один из основателей Национального научного фонда Вэннивар Буш, во время войны инициировавший создание Национального исследовательского комитета по вопросам обороны и ставший первым его председателем, советник по науке президента Д.Ф.Рузвельта, методолог и организатор научных проектов, писал Дж. Уэббу, с кем он работал во времена президентства Г. Трумэна и которого хорошо знал лично:

«Трудность в том, что программа, как она выстроена, не звучит. Грустный факт: она не по карману нашей стране; ее результаты, хотя и ожидаются интересными, вторичны для благосостояния государства... Даже если научные достижения программы “Аполлон” окажутся реальными, не думаю, чтобы кто-то осмелился ими оправдывать расходы в 40 или 50 миллиардов долларов. Научное обоснование с этой точки зрения слабовато. Доводы имеют совершенно не ту природу, что нужно. Во-первых, утверждается, что мы вступили в лунную гонку, и на кону национальный престиж. Полагаю, аргументацией гонки мы можем пренебречь. Я не знаю, есть ли лунная гонка в действительности или нет. Лично я сомневаюсь. Но национальный престиж – штука куда более тонкая. Мужественная и хорошо продуманная линия поведения нашего президента, справившегося с угрозой размещения советских ракет на Кубе, повысила наш национальный престиж гораздо больше, чем дюжина полетов на Луну. Мы можем поднимать наш престиж по-разному, но концептуально выбранный способ незрелый... Другими словами, я слышу слова рационализации, но не холодный анализ... Я верю, что президент мог бы изменить свою позицию и свои указания без оглядки на сделанные шаги, которые смущали бы его... В рамках программы снижения налогов и планов приведения в порядок государственных финансов, у нас должно хватить здравого смысла резко сократить наши расходы на космос. В частности, можно было бы убрать все даты, связанные с высадкой на Луну. Фактически он мог бы объявить,

что ни сроки не будут устанавливаться, и никакие решения не будут приниматься, пока предварительные эксперименты и их анализ не прояснят ситуацию. Он мог бы без сожаления дистанцироваться от второстепенных недостаточно обоснованных программ» [41].

Так, спустя три года, по сути, был дан ответ Ричарду Нейштадту на поставленные им вопросы о соотношении национального престижа и экономических возможностей государства. Но у Дж. Кеннеди в голове уже была модель выхода из ситуации, в которой значительная часть расходов легла бы на Советский Союз, а победителя называть не придется. Для тех, кто особо озабочен престижем, оставался своего рода «фотофиниш» – как в XIX веке лошадь, победившую на скачках, определяли с помощью фотокамеры, так можно было назвать и «победителя»: астронавт или космонавт первый ступит на Луну? Это была интересная стратегия.

Проект совместного полета на Луну теряет шансы

В августе 1963 года Н.С. Хрущев поручил послу СССР в США А.Ф. Добрынину провести разговор с президентом Кеннеди и прислал ему специальное послание. 26 августа президент Кеннеди принял посла Добрынина в Белом доме. В числе вопросов, затронутых в послании Н.С. Хрущева, была и тема сотрудничества в космосе [36].

И уже в сентябре 1963 года администрация Кеннеди рассматривала идею превращения проекта «Аполлон» из инструмента соперничества в средство сотрудничества. Помощник президента США по национальной безопасности МакДжордж Банди посоветовал Кеннеди предложить СССР техническое и политическое (!) сотрудничество в космосе: «По моему убеждению, центральный вопрос состоит в том, будем ли мы соревноваться или сотрудничать с Советами в высадке человека на Луну: 1. *Если мы соревнуемся*, нам следует сделать все возможное для объединения усилий всех правительственных агентств Соединенных Штатов в рамках комплексной космической программы как можно скорее. 2. *Если мы сотрудничаем*, напряжение спадает, и мы можем легко объяснить, что именно наши чрезвычайные усилия 1961 и 1962 годов заставили Советов пойти на сотрудничество. Я – за сотрудничество, если оно возможно» [42]. И Кеннеди был уже готов выступить в ООН с предложением прекращения космической гонки и преобразования программы «Аполлон» в совместную российско-американскую программу [8].

20 сентября 1963 года, выступая на Генеральной Ассамблее ООН, Кеннеди, без обиняков обратившись к идее совместной американо-советской экспедиции на Луну, сказал: «Почему первый полет человека на Луну должен быть делом межгосударственной конкуренции? Зачем нужно Соединенным Штатам и Советскому Союзу, готовя такие экспедиции, дублировать исследования, конструкторские усилия и расходы? Уверен, нам следует изучить, не могут ли ученые и астронавты наших двух стран – а по сути, всего мира – работать вместе в покорении космоса, послав однажды на Луну

в этом десятилетии не представителей какого-то одного государства, но представителей всех наших стран» [43].

Предложение Кеннеди не нашло отклика в СССР и встретило неоднозначную реакцию в Соединенных Штатах. Президенту пришлось даже лично обращаться к некоторым конгрессменам со своего рода «оправданиями». Так, в письме члену палаты представителей Конгресса США Альберту Томасу, возглавлявшему подкомитет, контролирующий бюджет НАСА, Кеннеди объяснял, что его предложение было, в первую очередь, пиар-ходом, способом изящно выйти из лунной гонки после успеха США во время Кубинского ракетного кризиса [44]. Кеннеди так не удалось отговорить от его планов, тем более, что многие поддерживали его в этой инициативе, и контакты с советскими представителями продолжались.

26 октября Н.С. Хрущев, отвечая на вопросы журналистов, сказал, что Советский Союз не планирует посылать человека на Луну, что было чистой правдой, потому что к тому времени лишь в предложениях инженеров С.П. Королёва существовала многопусковая схема, не утвержденная на правительственном уровне, предполагавшая сборку лунного корабля на околоземной орбите из отдельно запускаемых модулей, очень сложная и дорогая. Через три дня после этого, 29 октября 1963 года, Джером Визнер подал президенту Кеннеди записку «Предложения США по совместной американо-советской лунной программе», в которой писал:

«Я уверен, что слова премьера Хрущева 26 октября о том, что СССР не планирует высадку человека на Луну, дает нам уникальную возможность осуществить предложение, сделанное вами в вашем выступлении в ООН, о совместной программе США–СССР, причем таким образом, чтобы это не только соответствовало целям США в отношении мирного сотрудничества, если они будут приняты СССР, но также решительно развеет сомнения, которые существовали в Конгрессе и прессе в отношении искренности и осуществимости самого предложения... Пилотируемая лунная программа подразумевает много больше, чем просто пилотируемая посадка... Русский может быть легко включен в состав высаживающегося на Луну экипажа, без технического усложнения проекта... Если предположить, что премьер Хрущев говорит правду (а я в это верю), то наше предложение даст СССР возможность разделить успех успешной лунной миссии, не понеся больших расходов, намного превышающих те, которые они, вероятно, планируют предпринять в рамках своей космической программы» [45].

12 ноября 1963 года президент Кеннеди в Меморандуме по национальной безопасности № 271 поручил директору НАСА Дж. Уэббу «взять лично на себя инициативу и основную ответственность в рамках правительства за развитие самостоятельной программы космического сотрудничества с Советским Союзом». Эта программа, сказал Кеннеди, должна включить «предложения по совместной высадке на Луну» [46]. Доклад предписывалось представить к 15 декабря 1963 года.

Спустя десять дней Кеннеди был убит. Менее чем через год был смещен Хрущев. Однако советско-американское сотрудничество по лунной программе еще некоторое время обсуждалось.

31 января 1964 года Дж. Уэбб, руководитель НАСА, доложил президенту Линдону Джонсону материалы по возможному американо-советскому сотрудничеству в проекте высадки человека на Луну, подготовленные по заданию Джона Кеннеди, сформулированному в Меморандуме № 271. Среди предлагаемых вариантов особый интерес представлял план запуска к Луне американского космического корабля мощной советской ракетой, обмен астронавтами, их тренировки в обеих странах и совместный полет. Правда, необходимо отметить, что в меморандуме оговаривалось недостаточное представление о реальном положении дел с лунной программой в СССР: «Что касается советских планов по пилотируемой лунной программе, то Хрущев сказал, что СССР не будет принимать предложение, пока они не будут готовы, и даже немного больше – что они работают над этой темой. Но неизвестно, проектируют ли они сверхтяжелую ракету-носитель, хотя двигатели для такой ракеты, по имеющимся сообщениям, находятся в разработке» [46].

Впрочем, ни одно из содержащихся в Меморандуме предложений не получило шанса на осуществление, потому что в 1964 году Советский Союз принял решение осуществлять собственную пилотируемую лунную программу. Собственно, главная причина отказа от совместной лунной программы состоит в том, что не договорились по выдвинутому Советским Союзом условию – предварительному договору о разоружении. Оно было сформулировано в письме Н.С. Хрущева Дж. Кеннеди: «Мы оба, мистер Президент, знаем, что принципы проектирования и производства боевых ракет и ракет космического назначения одни и те же... Мы надеемся, что соглашение по всеобщему и полному разоружению будет достигнуто». Кстати, на это обстоятельство обращал внимание президента Джонсона и Дж. Уэбб в своем докладе [46].

В чем был замысел истории?

Высказаться о значении высадки человека на Луну десять лет назад автор попросил легендарного разработчика космической техники (заместителя главного конструктора Сергея Павловича Королёва), академика Российской академии наук Бориса Евсеевича Чертока. «В истории мировой космонавтики, – отметил Б.Е. Черток, – всего три «опорных» события: 4 октября 1957 года – запуск первого искусственного спутника Земли, огромный скачок, открывший космическую эру; второе – 12 апреля 1961 года – полет человека в космос; и, наконец, 20 июля 1969 года – человек впервые ступил на поверхность Луны» [47].

СССР и США «поделили» главные события космонавтики со счетом 2:1. Но именно поделили в ходе острого соперничества. Если бы они «раздели-

ли» между собой в сотрудничестве хотя бы одно «опорное» событие, тогда создались бы совершенно новые условия, и не только линия развития мировой космонавтики, но и сам ход истории мог оказаться совсем иным. Этого не произошло. Почему? «В тот период истории у кормила власти в нашей стране не оказалось людей, способных трезво анализировать ход событий, проявить прозорливость и изменить официальный политический курс, не считаясь с установившимися догмами», – полагал Б.Е. Черток [47].

Но такой вывод справедлив и для американской стороны. После выступления Кеннеди в ООН в 1963 году Конгресс США внес поправку в закон о финансировании, которой вводился запрет использования каких-либо средств на «участие в экспедиции с посадкой на Луне, которая будет осуществляться в США совместно с любым другим государством без согласия конгресса» [39].

Мощные силы внутри обеих стран выступили против сотрудничества в лунной пилотируемой программе, хотя условия для этого уже тогда вполне созрели. А что было бы, если бы эти силы тогда не победили? На такой вопрос, который проходит «по кафедре» альтернативной истории, обычно отвечают, что история не знает (не любит) сослогательного наклонения. Но можно взглянуть на ситуацию и в ином ракурсе.

Итак, американцы и русские не летели вместе к Луне, не высаживались на ней в едином экипаже, не ставили флаги своих стран рядом, хотя все это, как мы видим, отнюдь не являлось политической фантастикой. Однако в исторических драмах несвершившееся является действующим лицом.

Кто знает, может быть, именно это рождавшееся, но так и не родившееся событие, ценой своего несвершения предотвратило ядерную войну, к которой обе страны были столь близки во время берлинского и карибского кризисов?

Кто знает, может, зародыш этого несостоявшегося события продолжает зреть и когда-нибудь совершенно неожиданно, на взгляд тех, кто не знает или не помнит о деталях тех событий полувековой давности, инициирует некий грандиозный (не обязательно космический) проект, который своими масштабами сделает пренебрежимо малыми неизбежные разногласия России и США?

Кто знает, может, История, неудачно испытав двух так необходимых ей исполнителей своего Замысла, просто ждет и подыскивает им достойную парную замену?

Кто знает, может, История в своих вечных вариациях уже увидела в несвершенной совместной высадке на Луну неверную последовательность ходов, и незаметно выстраивает новую цепочку вспомогательных событий, которая сделает несвершенное свершенным?

Ответы обязательно придут.

Но вернемся к проекту «Аполлон».

Мемориал павшему президенту

16 ноября 1963 года президент Кеннеди посетил мыс Канаверал, осмотрел космическую инфраструктуру, а 21 января начал трехдневное политическое турне в Сан-Антонио, где выступил с речью, в значительной своей части посвященной программе «Аполлон», и вечером улетел в Даллас, где и стал жертвой убийцы.

Парадоксально, но после трагической гибели Джона Кеннеди, при всех проблемах лунного проекта и возражений, с ним связанных, шансы на его осуществление только возросли: программа «Аполлон» стала своего рода мемориалом павшему президенту, и отныне никто не смел поднять руку на лунный план Дж. Кеннеди.

Что же касается сотрудничества с Советским Союзом, ситуация выглядела совершенно иначе. Линдон Джонсон не разделял взгляды Джона Кеннеди на сотрудничество с СССР в космосе. И когда в январе 1964 года НАСА представило ему доклад, предписанный Кеннеди в меморандуме по национальной безопасности 12 ноября 1963 года, Л. Джонсон, увидев, что встречных шагов со стороны Н.С. Хрущева нет, не стал настаивать на продолжении контактов с советским руководством в области космических исследований.

Став президентом США, Л. Джонсон попросил НАСА определить основные направления космической программы после завершения проекта «Аполлон». Дж. Уэбб сформировал для этого группу, которую возглавил Фрэнк Смит из Центра космических исследований Лэнгли. К январю 1965 года НАСА откликнулось документом с длинным списком открывающихся возможностей, но без указания приоритетов и не дав каких-либо рекомендаций по выбору главных направлений, кроме пожелания продолжать «сбалансированную» программу во всех областях космической деятельности [48]. Джонсон был абсолютно настроен довести лунную программу до успешного финала, но оказался связанным бюджетными требованиями, вызванными вьетнамской кампанией. Еще президент Кеннеди отдал приказ о вводе войск в Южный Вьетнам, где в разгаре была гражданская война. Северный Вьетнам поддерживал партизан. Впереди уже явственно просматривалось начало воздушной войны США против Северного Вьетнама. Дополнительные финансовые ограничения были связаны с детищем самого Л. Джонсона – программой «Великое общество», целью которой была борьба с бедностью. И НАСА, и лунная программа вновь оказались в зоне неопределенности.

Внешне дела с развитием программы «Аполлон» шли неплохо, без отставания от графика. Но политически и технически все выглядело иначе. К 1966 году Дж. Уэбб оказался без необходимой поддержки Белого дома, и к тому же ему приходилось постоянно сражаться в Конгрессе против непрекращающихся попыток урезать бюджет НАСА. Возникли серьезные проблемы со второй ступенью носителя «Сатурн V». Создание лунного модуля сильно отставало от графика, и к тому же он превысил расчетный вес.

К концу 1966 года было ясно, что не приходится рассчитывать на высадку экипажа на Луне ранее второй половины 1969 года. Руководители проекта были крайне удивлены интервью Вернера фон Брауна журналу «U.S. News & World Report», опубликованным 12 декабря 1966 года под заголовком «Человек на Луне в 1968?» В интервью фон Браун с рядом оговорок предположил: «Существует определенная вероятность того, что, если все действительно сладится, и мы не попадем в какие-нибудь крупные технические передряги, первая попытка посадки на Луну может быть сделана в 1968 году при четвертом старте носителя «Сатурн V» [34].

Психологически понятно, почему Вернер фон Браун – оптимист по натуре, к тому же поддерживающий хорошие связи в журналистских кругах, публично высказал позицию, отличающуюся от официальной. Но Дж. Уэбба заявление фон Брауна просто взбесило, и он написал ему довольно раздраженное письмо: «...Я убеждал Бюджетный отдел администрации, что мы не можем поступиться ни одной из запланированных 15 ракет «Сатурн V» без риска для всей программы... Ваши ответы на вопросы журнала делают риск возможным... Существует весьма низкая вероятность, что «Сатурн V» будет полностью готов к лунной миссии в 1968 году. При таких обстоятельствах представляется, что Вам нужно быть более аккуратным в общении с прессой и не прибегать к заявлениям такого рода, какие вы сделали в интервью журналу «U.S. News & World Report». Я надеюсь, Вы найдете способ вернуться к позиции, которая более соответствует официальной оценке» [49].

Помимо волнений за бюджет, у Дж. Уэбба были и другие основания для пессимизма, о которых он написал В. фон Брауну: «...В прошлом году меня в Конгрессе спросили, сократили ли мы разрыв с русскими в текущем году... И не ожидаю ли я по прибытии на Луну обнаружить там русских, как в свое время предсказывал Эдвард Теллер. Я ответил, что год назад был убежден – мы будем на Луне первыми, но за минувшее время у меня появилось много сомнений, и сейчас я совсем не так уверен в этом» [49].

Первое испытание «Сатурна V» успешно прошло 9 ноября 1967 года. Второе – 4 апреля 1968 года. В отличие от почти идеального первого испытания второе сопровождалось многочисленными нештатными ситуациями при работе каждой из трех ступеней носителя. Только мастерство и опыт подчиненных В. фон Брауна помогли верно диагностировать причины отказов. А это было критически важно, потому что НАСА планировало третий запуск «Сатурна V» использовать для выведения на орбиту пилотируемого корабля. Таким образом, в начале 1968 года было совершенно не ясно, достигнут ли США Луны раньше Советского Союза.

Разведывательная оценка

Разумеется, у Соединенных Штатов были возможности оценивать положение дел в СССР посерьезнее сомнений Дж. Уэбба. В 1960-х годах Центральное разведывательное управление использовало все свои возможности, что-

бы отслеживать развитие космических программ Советского Союза. Особое внимание привлекал проект высадки космонавтов на Луну. По данным ЦРУ Соединенные Штаты значительно опережали СССР в достижении этой цели. Но разведка полагала, что Советский Союз попытается совершить пилотируемый облет Луны до конца 1968 года. Руководители НАСА далеко не были уверены, назначать ли планируемый облет Луны «Аполлоном-8» на декабрь 1968 года.

Центральное разведывательное управление докладывало:

«1. За год после представления предыдущего доклада Советский Союз провел больше запусков, чем в другой сравнимый период...

2. Вообще говоря, советская космическая программа развивается, как прогнозировалось в наших сделанных ранее оценках... Данные прошедшего года указывают, что Советы продолжают работать над осуществлением все более сложных миссий, включая высадку космонавтов на Луну...

3. Учитывая новые данные и результаты аналитической работы, мы продолжаем считать, что советская пилотируемая лунная программа развивается не как конкурирующая с американской программой «Аполлон». Мы полагаем, что Советы предпримут попытку высадки своих космонавтов на Луну в конце 1971 или в 1972 году, более вероятно – в 1972 году. Самая ранняя возможная дата высадки с высоким риском – конец 1970 года...

4. Советы, вероятно, сделают попытку пилотируемого облета Луны как предварительный шаг перед высадкой на Луну и как способ уменьшить психологическое воздействие программы «Аполлон»... Неудача беспилотного облета Луны в ноябре 1967 года приводит к выводу о том, что пилотируемый облет невероятен до конца 1968 года, причем более вероятен 1969 год. Советы скоро, вероятно, предпримут новую попытку беспилотного облета Луны.

5. В пределах нескольких лет Советы, вероятно, попытаются вывести на околоземную орбиту космическую станцию... с экипажем 6–8 человек, способную оставаться на орбите до года и более» [50].

Руководители проекта «Аполлон» имели в виду разведанные, планируя полеты «Аполлонов» с экипажами, но решающей роли они не имели.

Совершенно очевидно, что американцам были хорошо известны совершенно секретные документы, касающиеся советской космической программы, в частности, Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О работах по исследованию Луны и космического пространства» 3 августа 1964 года, установившее сроки облета (1966 – первая половина 1967 г.) и высадки на Луну (1967–1968 гг.), и записка Л.В. Смирнова, С.А. Афанасьева и др. в ЦК КПСС от 9 января 1967 года о состоянии работ по осуществлению облета Луны пилотируемым космическим кораблем, констатирующая отставание от плана-графика [51].

Сроки и планы меняются

В начале 1968 года готовность «Аполлона» к пилотируемым пускам задерживали «Сатурн V», точнее, проблемы со второй ступенью, и лунный модуль, вес которого оказался значительно выше расчетного. Тем не менее НАСА обсуждало график предстоящих полетов, первый из них наметили на 8 октября. Миссии обозначили буквами алфавита:

С – летно-конструкторские испытания командного и служебного модулей «Аполлона» на низкой околоземной орбите (8 октября 1968 г.).

D – летно-конструкторские испытания командного, служебного и лунного модулей на низкой околоземной орбите.

E – летно-конструкторские испытания командного, служебного и лунного модулей вне низкой околоземной, но не на лунной орбите.

F – полное испытание «Аполлона» на окололунной орбите.

G – полет «Аполлона» с высадкой на Луне и возвращением.

Вскоре стало ясно, что лунный модуль не будет готов в 1968 году. Скорее всего, его испытания вряд ли удалось бы провести раньше февраля-марта 1969 года, а это означало, что и высадка на Луну до конца 1969 года оказывалась маловероятной. Столкнувшись с такой ситуацией, Дж. Лоу начал обдумывать изменение последовательности испытаний, в частности, провести полеты по околоземной и окололунной орбитам без лунного модуля уже в 1968 году. 9 августа, поскольку проблемы с лунным модулем разрешить не удалось, он изложил свою идею директору Центра пилотируемых полетов Роберту Гилруту, который быстро оценил все ее преимущества и позвонил Вернеру фон Брауну. В тот же день они встретились в офисе фон Брауна и обсудили такую постановку вопроса. Дж. Лоу записал в своем дневнике: «Все присутствующие проявили интерес к таким летным испытаниям и даже энтузиазм» [34]. Уэбб был шокирован, когда впервые услышал о таком изменении в графике, но довольно скоро увидел логику в том, что предлагалось. Было ясно, что высшее руководство НАСА не сможет просто отвергнуть план Лоу, но оказалось, что они также не были готовы и одобрить его, по крайней мере до успешного завершения миссии «С» («Аполлон-7»). 19 августа был объявлен новый график: вводилась новая, дополнительная миссия, получившая обозначение «С'» или «Сприм» («Аполлон-8»), причем, полетит ли «Аполлон-8» к Луне, повторит ли полет по околоземной орбите или будет выполнять какой-то иной план, было решено определить после анализа результатов «Аполлона-7». Это драматическое решение стало критической точкой, определившей впоследствии дату высадки на Луну. Как заметил Дж. Лоу, «лучшим вариантом могла бы стать отправка следом миссии D, затем миссии F, за которой, в свою очередь, и последует первая высадка на Луну. Другими словами, предлагалось выбросить миссию E» [34]. В дальнейшем для целей внутреннего планирования наметили следующие сроки: D – 1 марта, F – 15 мая, G – июль-август 1969 года. Однако для

публики решили сообщить более поздние даты – для D сдвинуть на две недели, а для F и G – на месяц. Дж. Лоу 20 августа выпустил собственную директиву, детализирующую график от 19 августа. Первая попытка высадиться на Луну назначалась на 8 июля 1969 года.

Первый пилотируемый полет космического корабля, предназначенного для полета к Луне, – «Аполлон-7» (экипаж – Уолтер Ширра, Дон Айзли и Уолтер Каннингем), состоялся 11–22 октября 1968 года. Все задачи полета были выполнены. Теперь препятствий для принятия решения об отправке «Аполлона-8» на лунную орбиту не осталось.

Месяцем раньше, 16 сентября, Уэбб отправился в Белый дом, чтобы обсудить с президентом Джонсоном комплекс вопросов, среди которых главный – как уберечь НАСА и особенно проект «Аполлон» при переходе власти к следующему президенту (еще в марте Линдон Джонсон объявил, что не будет выставлять свою кандидатуру на следующих президентских выборах). Уэбб понимал, что вряд ли он останется руководителем НАСА независимо от того, кто станет президентом – Губерт Хэмфри или Ричард Никсон. С Хэмфри они не ладили, а Никсон вряд ли оставит на должности такого убежденного демократа как Уэбб. Да и устал он после шести с половиной лет работы НАСА в бешеном темпе. К тому же со времен пожара «Аполлона» и гибели астронавтов Вирджила Гриссома, Эдварда Уайта и Роджера Чаффи 21 февраля 1967 года он постоянно подвергался критике со стороны Конгресса. Словом, все это привело к решению Дж. Уэбба отойти в сторону и дать проявить себя Томасу Пэйну, специалисту, стоящему далеко от политики. Уэбб хотел, чтобы Пэйн показал, что способен эффективно руководить НАСА, по крайней мере, до первой высадки астронавтов на Луну. К удивлению Уэбба, президент не только принял предложение Уэбба уйти в отставку, но и решил, что об отставке следует объявить немедленно, не выходя из Белого дома. Через президентскую пресс-службу Уэбб сделал заявление, что покинет пост руководителя НАСА 7 октября, в день, когда ему исполнится 62 года, причем у него не было возможности переговорить с Пэйном до того, как сообщение вышло в свет.

Хотя после успеха «Аполлона-7» момент для принятия решения по «Аполлону-8» был более, чем удачным, но решительный шаг так и не был сделан, в частности, из-за отставки Дж. Уэбба. Только 10 ноября на совещании руководителей высшего звена компаний, участвующих в создании корабля «Аполлон», после заслушивания докладов менеджеров НАСА был произведен опрос каждого, стоит ли утверждать «Аполлон-8» для облета Луны. Совещание рекомендовало Томасу Пэйну сделать это незамедлительно. 11 ноября Пэйн провел несколько совещаний внутри НАСА и в конце дня утвердил полетное задание «Аполлона-8» – выйти на окололунную орбиту. «Аполлон-8» с астронавтами Фрэнком Борманом, Джеймсом Ловеллом и Уильямом Андерсом стартовал 21 декабря, и в рождественский сочельник, 24 декабря, к вящему удовольствию американской публики экипаж по-

казал телевизионную картинку лунной поверхности. А затем, к всеобщему удивлению, включая даже Центр управления полетами, астронавты прочитали несколько строк из Библии о сотворении Земли:

«1. В начале сотворил Бог небо и землю.

2. Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною...

16. И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днем, и светило меньшее, для управления ночью, и звезды.»

Фрэнк Борман завершил трансляцию словами: «Спокойной ночи, всех благ, с Рождеством и да благословит Бог всех вас – всех на нашей доброй Земле» [34]. В памяти американского народа они остались как «сказочный экипаж», как «экипаж волшебников». Впрочем, были реакции и совершенно противоположного толка: НАСА обвинили в пропаганде религии на государственные деньги (но истец судебное дело проиграл) [52].

Закат лунной программы

В ноябре 1968 года президентом США был избран Ричард Никсон. Как и Дж. Кеннеди, он собрал «переходную команду» для того, чтобы подготовиться к принятию власти. Группу по космосу в ней возглавил нобелевский лауреат Чарльз Таунс из Калифорнийского университета в Беркли. В представленном им избранному президенту докладе обсуждались цели космической программы США на 1970-е годы. Как возможные, назывались высадка на Марс в 1980-х годах или космическая станция на околоземной орбите. Большая часть группы выступила против марсианского проекта, учитывая его дороговизну и сложность, но главное убежденность, что космическая программа на следующем этапе не должна сводиться к «единой монолитной цели, достигаемой по твердому графику» [53], а наоборот, диверсифицирована по многим направлениям. Но лунные исследования не исключались из стоящих задач. В первую очередь подразумевалось получение новых научных результатов. У группы Ч. Таунса было ясное понимание, что на подготовку к созданию лаборатории на Луне уйдет несколько лет, и раньше, чем это окажется возможным, русские тоже высадятся на Луне (по оценкам, в 1973 году) [53]. Но группа не предлагала совместные с Советским Союзом миссии, лишь сотрудничество, преимущественно в области межпланетных исследований автоматическими станциями, где СССР сохранял преимущество, и в частности, для изучения Луны.

Один из членов группы, подписавших итоговый документ, профессор Фрэнсис Клаузер написал письмо Чарльзу Таунсу, в котором настаивал на том, что доклад искусственно ограничивает возможности США в космосе. «Я уверен, что мы в состоянии доставить человека на Марс ранее 1980-х годов», – отмечал Клаузер. На это Таунс ответил: «Лично я солидарен с точкой зрения меньшинства авторов, полагающих, что тон доклада не очень правильно отражает ни реальный технический потенциал, оцениваемый

в длительной перспективе, ни физические возможности человека как весьма специфичного вида» [54].

Наступила пора принимать решения о дальнейшей (после высадки человека на Луну, которая должна была состояться в 1969 году) космической программе, но представления о ней, как выяснялось, весьма существенно различались. Новый советник президента по науке Ли ДюБридж, назначенный после инаугурации Р. Никсона 20 января, попытался сделать обзор предложений. Однако Дж. Уэбб, с которым ДюБридж, будучи президентом Калифорнийского технологического института (знаменитого Калтеха), столкнулся в 1960-х в связи с тем, что разделял скептицизм научного сообщества в отношении самоценности полетов человека в космос, и дал это понять Белому дому. Тогда в феврале 1969 года Р. Никсон попросил вице-президента Спиро Агню возглавить оперативную группу, задача которой – подготовить рекомендации в области будущих космических исследований. Но не все крупные фигуры, работавшие в НАСА, с восторгом восприняли С. Агню. Так, преемник Дж. Уэбба на посту руководителя НАСА Томас Пэйн 26 февраля 1969 года представил президенту собственную объемную записку [54]. Бывший заместитель руководителя НАСА Роберт Симанс, перешедший в министерство обороны и представлявший интересы военных в оперативной группе, направил 4 августа свое особое мнение вице-президенту С. Агню [54].

Президент Никсон не стал дожидаться доклада С. Агню и 7 марта 1969 года в заявлении о будущей космической программе Соединенных Штатов расставил точки над *i*: «Космические расходы должны занять надлежащее место в строгой системе национальных приоритетов. То, что мы будем делать в космосе, должно стать нормальной и регулярной частью жизни государства и планироваться в увязке со всеми другими важными направлениями» [55]. Стало ясно, что в области космических исследований целей, подобных «Аполлону», ожидать не стоит, пока Р. Никсон находится у власти. Расстроенный Т. Пэйн 15 августа объявил о своем предстоящем уходе в «Дженерал Электрик», что и сделал через месяц – в день представления доклада.

Человек на Луне

Еще два пилотируемых пуска были запланированы до миссии высадки – «Аполлон-9» и «Аполлон-10». Они выполнили свои задачи в марте и мае 1969 года и продемонстрировали, что НАСА готово доставить человека на Луну. Следующим должен был стать «Аполлон-11». Нила Армстронга еще 6 января предупредили, что он станет командиром «Аполлона-11» с Эдвином «Баззом» Олдрином как пилотом лунного модуля и Майклом Коллинзом как пилотом командного модуля. Им предстояли почти семь месяцев интенсивных тренировок.

НАСА в деталях готовило высадку экипажа на Луну в течение многих месяцев, а Море Спокойствия, как предполагаемое место первой посадки

корабля, было названо даже в 1962 году. Поскольку главной целью миссии были успешное прилунение, отбор нескольких образцов грунта и безопасное возвращение на Землю, ее планирование производилось по принципу минимизации требуемых действий: времени, проводимого астронавтами на Луне, незначительное их удаление от места посадки. Открытым оставался и вопрос: один астронавт или оба должны выходить на лунную поверхность.

Пока шли тренировки экипажа «Аполлона-11», в НАСА задумались над символической стороной миссии – как увенчать будущее достижение и подчеркнуть исторический характер первого посещения Луны человеком.

12 и 18 марта 1969 года Джулиан Шир, один из «внутреннего круга» руководителей НАСА, возглавлявший одновременно службу связи с общественностью, и менеджер-ветеран Дж. Лоу обменялись письмами, в которых обсудили обращенную широкому кругу лиц просьбу НАСА посоветовать, какие слова должны сказать астронавты, сделав первый шаг по Луне.

«Агентство интересуется предложениями об артефактах, которые должны быть взяты на Луну в этот исторический первый полет. Но мы не должны запрашивать предложения о том, что астронавты должны сказать, оказавшись на Луне, – писал Дж. Шир. – Что астронавты возьмут с собой в полет, пусть утвердит руководитель НАСА, но Агентство не должно предлагать им текст комментариев... Полагаю, что важны естественные эмоции экипажа «Аполлона-11», проявленные в этот исторический момент и показывающие, что именно чувствует человек, а не астронавт, дотренированный до такого состояния, что в нужный момент автоматически достает заготовленный текст из кармана... Возможно, кто-то опасается, что астронавты, коснувшись лунной поверхности, не произнесут слов приличествующего ситуации драматического накала; я не разделяю этих взглядов. Другие полагают, что на Луну должен лететь поэт. Колумб не был поэтом и не имел заготовленного текста, но его слова показались мне абсолютно драматичными: “Я пристал к берегу и увидел бегущих голых людей, несколько зеленых-зеленых деревьев, бескрайние воды и много фруктов”... Меривезер Льюис, путешествовавший с Уильямом Кларком (первая экспедиция в США, вышедшая по суше к Тихому океану – прим. Ю.Б.) записал: “В лагере большая радость. Перед нами открылся океан, великий Тихий океан, который мы так долго жаждали увидеть, отчетливо слышен рев или шум волн, разбивающихся о скалистый берег” (в трех простых словах Льюисом были сделаны три ошибки, что выдает его внутреннее состояние – прим. Ю.Б.). Пири в 1909 году, когда он достиг Северного полюса, просто слишком устал, чтобы произнести хоть слово. Он просто заснул. А на следующий день записал в дневнике: “Наконец-то полюс. Приз трех веков. Не могу заставить себя осознать это. Все кажется таким простым и банальным”. Слова этих великих путешественников кое-что говорят нам о них, и я надеюсь, что Нил Армстронг или Базз Олдрин скажут нам, что они увидели и почувствовали, но не то, что, как нам кажется, они должны сказать. Меня часто спрашивают,

действительно ли НАСА планирует предложить астронавтам какой-то текст. Мой ответ от имени НАСА: “нет”» [56].

Дж. Лоу ответил Дж. Шире: «Совершенно согласен с тобой, что слова, сказанные астронавтами, должны быть их собственными... Я встретился с Нилом Армстронгом, чтобы обсудить с ним наши идеи... и пришли к такому выводу» [56]. Собственно, Дж. Лоу прямо сказал Н. Армстронгу, что «какие бы слова ни были произнесены, это должны быть его собственные слова» [55].

К середине апреля специально созданный комитет по символической деятельности решил, что общее впечатление от того, как символика лунной миссии будет преподноситься миру, «должно заключаться в том, чтобы увековечить первую высадку на Луну как исторический шаг вперед всего человечества, сделанный Соединенными Штатами. Самый простой способ продемонстрировать, что исторический шаг – американское достижение, водрузить на месте посадки флаг Соединенных Штатов. Но как сделать так, чтобы флаг символизировал именно усилия американского народа, предпринятые им для достижения Луны, а не претензии на обладание ею. Последняя коннотация входит в противоречие с нашими национальными целями и несовместима с положениями Договора о мирном использовании космического пространства» [55]. Кое-кто ссылался на слова президента Джонсона в инаугурационной речи («... давайте вместе исследовать звезды»), предлагая поднять на Луне флаг ООН. Дж. Лоу вспоминал свою первую реакцию на это предложение: «Мой ответ не может быть воспроизведен здесь. Я буквально физически чувствую, что установка флага США на Луне представляет собой самый важный элемент всех наших усилий» [55].

19 апреля 1969 года Уиллис Шапли, заместитель администратора НАСА, подготовил записку о символической деятельности первого экипажа, которому предстояло высадиться на Луне. Главное требование – она не должна создавать угрозу безопасности астронавтов и создавать помехи основным целям миссии. Она должна быть простой, выполнена с хорошим вкусом и не иметь ни коммерческой составляющей, ни даже каких-либо меркантильных обертонов и демонстрировать, что первая высадка человека на Луну – это «исторический шаг всего человечества» [57], сделанный Соединенными Штатами Америки. (Таким образом, можно утверждать, что Н. Армстронг действительно обдумывал свою первую фразу на Луне, побуждаемый разговором с Дж. Лоу, но основа фразы про «шаг человечества» определенно выросла из меморандума У. Шапли. И это была не естественная реплика человека, родившаяся в ту секунду, как он шагнул на Луну – и как хотели Дж. Лоу и У. Шир, – а фраза подготовленная).

Далее в записке У. Шапли говорилось: «Исторический шаг человечества» должен символизироваться каким-то простым текстом, оставленным на Луне, определенными заявлениями, сделанными на Земле и, возможно, установлением миниатюрных флагов ООН и других международных орга-

низаций» [57]. В рамках описанного подхода предлагалось рассмотреть следующие символические предметы и действия:

- на Луне должен быть установлен и оставлен флаг США такой, чтобы можно было сфотографировать и продемонстрировать по телевидению и сам флаг, и его установку астронавтом; предлагались варианты – вертикальное положение флага или под углом, а также одновременное проведение эксперимента по фиксации солнечного ветра;

- сооружен памятный знак с соответствующей надписью, одновременно служащий контейнером для миниатюрных флагов, оставляемых на Луне (пирамидальной или цилиндрической формы);

- взят дублирующий возвращаемый контейнер с миниатюрными флагами всех стран для возможной передачи их президентом США главам государств;

- взяты и возвращены с Луны несколько флагов США для передачи их президентом или другими высшими должностными лицами США, возможно, с фотографиями астронавтов на Луне, в такие знаковые для американской нации места как Капитолий, Белый Дом, Национальный архив, Смитсоновский институт, библиотека Конгресса и др.

2 июля символическая программа была утверждена в сокращенном виде. Решено установить флаг США на металлическом флагштоке с разворачивающим устройством. Это должен быть единственный флаг, воткнутый в лунный грунт. У лунного модуля будет оставлена памятная пластинка, на которой изображены два полушария Земли с очертаниями континентов и государственных границ со словами «Здесь люди с планеты Земля впервые шагнули на Луну. Мы пришли с миром для всего человечества» (дата, подписи трех астронавтов и президента США) [57]. Утвержден был также набор миниатюрных символических предметов.

Первое путешествие человека к Луне началось в 9:32 по восточно-американскому времени 16 июля 1969 года. Четыре дня спустя в 16:17 после драматичного спуска лунный модуль коснулся поверхности Луны. Несколько секунд спустя Н. Армстронг сообщил на Землю: «Хьюстон, говорит Море Спокойствия. «Игл» («Орел» – название лунного модуля – прим. Ю.Б.) прилунился» [55]. Теперь по графику экипажу полагался отдых, но астронавты предложили начать выход на пять часов раньше. Разрешение было быстро получено, и в 22:56 Нил Армстронг, выйдя из лунного модуля, произнес: «Этот маленький шаг человека – гигантский скачок для всего человечества». Армстронг намеревался произнести “a man” («человек»), но под влиянием волнующего момента, хотя может быть, то была помеха в канале радиосвязи, «проглотил» артикль, и смысл несколько исказился [55]. Эдвин «Базз» Олдрин последовал за командиром 14 минут спустя. Два с половиной часа астронавты провели на Луне, выполняя поставленные задачи, начиная с установки американского флага. В это время президент Никсон позвонил из Овального кабинета, сказав, что «это самый историчес-

кий телефонный звонок, сделанный из Белого дома» [55]. 21 июля в 13:54 Н. Армстронг и Э. Олдрин покинули наш естественный спутник, чтобы встретиться с М. Коллинзом, ожидавшим их на окололунной орбите. Через три часа космические аппараты стыковались, затем «Аполлон-11» вышел на траекторию полета к Земле и в 12:50 24 июля приводнился в Тихом океане. Авианосец «Хорнет» доставил экипаж на Гавайские острова. Как и все прибывающие в Соединенные Штаты, члены экипажа «Аполлона-11» заполнили в порту Гонолулу (Гавайи) таможенную декларацию.

Цель, поставленная президентом Джоном Кеннеди восемью годами ранее, была достигнута. Проект оказался абсолютно успешным как в техническом, так и в политическом смысле.

GENERAL DECLARATION
(Outward/Forward)
AGRICULTURE, CUSTOMS, IMMIGRATION, AND PUBLIC HEALTH

Owner or Operator: NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
 Name of Vessel and Registration: U.S.A. No. APOLLO 11 Date: JULY 24, 1969
 Departure from: MOON Arrived at: HONOLULU, HAWAII, U.S.A.

FLIGHT ROUTING
(*Place* Column always to fill with every en-route stop and destination)

PLACE	TOTAL NUMBER OF CREW	NUMBER OF PASSENGERS ON THIS STAGE	CARGO
OLIVE RIDGE	COMMANDER WILLIAM S. PETERSON		
MOON	FLIGHT ENGINEER MICHAEL COLLINS	Signature Plans Discharge: <input type="checkbox"/> TEL	MOON ROCK AND MOON DUST SAMPLES ... Cargo Manifest Attached
JULY 24, 1969 HONOLULU	COLONEL FRANK B. ALDRIN, JR. EDWARD E. WHITE	Through all land Right: <input type="checkbox"/> TEL	
	COLONEL MICHAEL COLLINS	Discharge: <input type="checkbox"/> TEL Through all land Right: <input type="checkbox"/> TEL	

Declaration of Health
 Persons on board known to be suffering from illness other than conditions of the nature of accidents, as well as those cases of illness discharged during the flight: NONE

Any other conditions on board which may lead to the spread of disease: TO BE DETERMINED

Details of such discharging or medical treatment (place, date, time, method) during the flight. If no discharging has been carried out during the flight give details of such medical discharging:

Signed, if required: _____
 One Number Required

For official use only
 HONOLULU AIRPORT
 Honolulu, Hawaii
 ENTERED
 Ernest S. Murrell
 Customs Inspector

I declare that all statements and particulars contained in this General Declaration, and in any supplementary forms required to be presented with this General Declaration are accurate, exact and true to the best of my knowledge and that all through manifests will be accompanied and retained on the flight.

APOLLO 11
Mission Report

PREPARED BY
MISSION EVALUATION TEAM
NASA MANNED SPACECRAFT CENTER

NOVEMBER 24 1969
 DATE: APR 66 08-71 NASA # SP-235 I TDM SUBJECT SCIENTIFIC MSC
 2 GEN A 2 (SP-63)


 Scientific and Technical Information Office
 NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION 1971
 Washington, D.C.

Таможенная декларация, заполненная экипажем «Аполлона-11» по возвращении на Землю в порту Гонолулу

Титульный лист отчета экипажа «Аполлона-11»

Опередившие время

Группа С. Агню работала все лето, в том числе и в разгар всеобщего энтузиазма, вызванного успешной высадкой американских астронавтов на Луну, и 15 сентября 1969 года представила толстенный документ, призывавший Соединенные Штаты принять в качестве приоритетной «долгосрочную цель исследования планет человеком с пилотируемым полетом на Марс до конца века» [55]. Большой роли он не сыграл.

Дж. Лоу, возглавивший НАСА, на следующий день, 16 сентября, сразу же столкнулся с необходимостью принять решение, отменять ли некоторые полеты «Аполлонов», признав, что НАСА не справится с увеличившейся нагрузкой – планируемым запуском в 1973 году станции «Скайлэб». В январе 1970 года в связи сокращением бюджета был отменен заключительный полет программы «Аполлон-20», а в сентябре – «Аполлон-19» и «Аполлон-18». 30 октября Дж. Лоу написал советнику Никсона по науке Эдварду Дэвису, что «если выбор должен быть сделан, то, взвешивая аргументы, за “Скайлэб” их больше, чем за “Аполлон”. Научные результаты одного полета на “Скайлэб” обещают оказаться богаче полученных в результате шести посадок “Аполлонов”» [58].

В 1971 году, когда задумывалась многоцветная транспортная система «спейс шаттл», из-за огромной нагрузки на бюджет встал вопрос об отмене полетов кораблей «Аполлон-17» и «Аполлон-16». Тогда один из высших руководителей в администрации президента Никсона Каспар Уайнбергер написал записку президенту с резким возражением против такого решения: «Недавние полеты “Аполлонов” оказались успешными со всех точек зрения. Наиболее важным является тот факт, что они дали американскому народу столь необходимый подъем духа (в равной степени народам мира нужно было осознать американское превосходство). Заявление теперь или в ближайшем будущем, что мы отменяем полеты “Аполлона-16” и “Аполлона-17”, имело бы весьма негативный эффект, последовавший немедленно после триумфа “Аполлона-15” (Возвратился на Землю 7 августа 1971 года, за 5 дней до меморандума К. Уайнбергера – *Прим. Ю.Б.*). Это подтвердило бы уже распространяющуюся в стране и за рубежом веру в то, что наши лучшие годы позади, что мы занимаемся внутренними проблемами, сокращаем наши оборонные обязательства и добровольно начинаем отказываться от статуса сверхдержавы и сохранения мирового превосходства» [59]. Президент Никсон прочитал меморандум и начертал на нем «ОК». Полеты «Аполлона-16» и «Аполлона-17» состоялись.

Когда астронавты Ю. Сернан и Х. Шмидт, экипаж лунного модуля «Аполлона-17», после наиболее продолжительного и во многих отношениях самого продуктивного пребывания на Луне готовились к возвращению на Землю, Сернан укрепил на оставшейся части модуля табличку, которая гласила: «Здесь человек завершил первый этап исследования Луны» [55].

Так закончилась замечательная эпоха человеческой истории, продолжавшаяся всего 14 лет, но вместившая в себя столько шекспировских страстей и рациональных научных выкладок, всплесков энтузиазма и неожиданных разочарований, выдающихся успехов и обидных неудач, что их с лихвой хватило на то, чтобы наполнить жизни тысяч инженеров, конструкторов, ученых, администраторов и политиков счастьем пережитого творческого подъема и гордостью за уникальный, опережающий свое время результат.

Итоги лунной гонки

Итак, Соединенные Штаты выиграли лунную гонку у Советского Союза, хотя, как мы видели, еще за год до высадки американских астронавтов на Луну результат был неочевиден. Но тем не менее, именно США от имени человечества сделали шаг на Луну. Перечислим кратко причины триумфа США (табл. 2).

Таблица 2

Причины поражения СССР в пилотируемой лунной программе

СССР	США
Научно-технический и экономический потенциалы ниже	Научно-технический и экономический потенциалы выше
Распыление сил (сначала многопусковая схема, а после ее отмены две равноценные лунные пилотируемые программы)	Концентрация усилий на единой лунной пилотируемой программе
Непоследовательность политического руководства	Единая политическая воля
Ракетно-космические производства решали как военные, так и гражданские задачи одновременно	Военные и гражданские задачи были разделены, и лунная программа была поручена гражданскому агентству – НАСА
Реальная работа над лунными проектами началась на два с половиной года позже (1964)	Реальная работа над лунным проектом началась на два с половиной года раньше (1961 г.)
Безвременная смерть главного конструктора С.П. Королёва в 1966 г. затормозила все космические проекты	Трагическая гибель президента Дж. Кеннеди в 1963 г. сделала неприкосновенной цель высадки американцев на Луну
Значительная часть ресурсов была отведена лунной программе, успешно осуществляемой автоматическими станциями	Большая часть ресурсов была выделена для программы высадки человека на Луну

На пути к самому эффективному результату – человеку на Луне – в лунной гонке были и «промежуточные финиши», на которых завоеваны другие важные приоритеты (табл. 3).

Таблица 3

Этапы лунной гонки

Попасть в Луну (жесткая посадка)	СССР 14 сентября 1959 года, «Луна-2». Доставлены вымпелы СССР
Фотография обратной стороны Луны	СССР 7 октября 1959 года, «Луна-3»
Первая мягкая посадка на Луну	СССР 3 февраля 1966 года, «Луна-9»
Возвращение корабля от Луны и впервые вход в атмосферу со второй космической скоростью с возвращением живых существ	СССР 15–21 сентября 1968 года, «Зонд-5» (прототип лунного пилотируемого корабля, запущенный в беспилотном режиме)
Первый пилотируемый облет Луны	США 21–27 декабря 1968 года, «Аполлон-8»
Первая в мире стыковка пилотируемых космических кораблей (сборка)	СССР 16 января 1969 года, «Союз-4» и «Союз-5»
Первая стыковка пилотируемых космических аппаратов вблизи иного небесного тела	США 18–26 мая 1969 года, «Аполлон-10»
Высадка человека на Луну	США 20 июля 1969 года, «Аполлон-11»

Программа «Аполлон» была задумана в самом начале четвертой фазы – полномасштабного освоения – как эмоциональный ответ на космические достижения Советского Союза, великолепно продумана (бросается в глаза большое число крупных и выдающихся ученых в окружении американских президентов Д. Эйзенхауэра и Дж. Кеннеди, чьи записки высшие руководители государства читали, по меньшей мере, просматривали и давали по ним поручения), спланирована и безупречно выполнена по управленческим принципам, схожим с применяемыми в советской космической программе во времена С.П. Королёва (хотя, конечно же, задача копирования американским руководством не ставилась, скорее, брался в расчет манхэттенский пример). Ее успех не постепенный, а распределяемый естественными закономерностями на три-четыре десятка лет (что и предлагалось многими специалистами из финансово-экономических соображений), но достигнутый в четыре раза быстрее, в самом начале четвертой фазы (полномасштабное освоение), к сожалению, остановил естественное освоение Луны как американцами, так и Советским Союзом. Парадоксальный результат: быстрый, полный, ошеломляющий победный результат отменил длительную повседневную работу по лунным планам и в США, и в СССР. А другие страны еще были далеки от лунной цели. Чуть более века ушло у человечества на достижение Луны, если вести отсчет с Жюль Верна, и большая часть этого времени (около 70 лет) была потрачена на сугубо интеллектуальную, научно-техническую работу – рождение идей и их опытную проработку. Завершающая фаза глобального цикла оказалась предельно сжатой посредством своего рода δ -функции¹ – проекта «Аполлон», осуществляемом в импульсном режиме с такой энергетикой, что он разом решил дело. Метафорически говоря, американцы как бы выставили на студенческие соревнования (на четвертый этап космической «эстафеты») олимпийского чемпиона. И выиграли. Достижение было столь велико, что от настоящего полномасштабного освоения Луны отказались. Сегодня, когда, следуя инерционным (в мировом масштабе) путем развития, к возможности высадки на Луну приблизились Китай, Индия и другие страны, эта задача с запозданием появляется и в американской, и в российской повестках дня.

История принятия решения о высадке на Луну вновь становится актуальной для нашей страны. Когда Роскосмос со всех сторон упрекают в завышенных расходах и нецелевых тратах, когда раздаются голоса, что пилотируемая космонавтика и не приносит заметных научных результатов и не по карману государству, когда утверждают, что надо отказаться от пилотируемых полетов, поскольку они уже не добавляют престижа стране, именно сейчас необходимо посмотреть на ситуацию сквозь призму истории, и на примере споров, дискуссий, расчетов, а иногда и импульсивных

¹ δ -функция – или δ -функция Дирака – точечная импульсная функция, не равная нулю только в одной точке, где она равна бесконечности; в физике и инженерных приложениях описывает распределение точечных масс в классической механике или точечных зарядов в теории поля или единичных импульсов в радиотехнике.

решений в области крупнейшего пилотируемого проекта космонавтики в мире, обнаружить ошибки и действительно прорывные шаги, недочеты и удачи, и рационально, обдуманно, научно-технически и экономически обоснованно, опираясь на науку, инженеров и профессионально подготовленных управленцев, выстроить государственную стратегию развития пилотируемой космонавтики, не шарахаясь из стороны в сторону под влиянием крутых разворотов даже самых уважаемых космических держав.

ЛИТЕРАТУРА

- [31] Memorandum for the President. Draft. November 13, 1962. Appendix «Space Activities of the U.S. Government». – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol.I: Organizing for Exploration. – John M. Logsdon, Editor with Linda J. Lear, Jannelle Warren-Findley, Ray A. Williamson, and Dwayne A. Day. – Washington D.C., NASA History Office, 1995 (далее ExUn-I). p. 456.
- [32] James E. Webb to the President. November 30, 1962. – In : ExUn-I, p. 467.
- [33] Johnson Lyndon B. To the President. May 13, 1963 with attached report. – In: ExUn-I. pp. 469, 471–472.
- [34] Logsdon J.M. Project Apollo: Americans to the Moon. – In: ExUn-I. pp. 415–421, 427–431.
- [35] URL: <https://www.svoboda.org/a/30045700.html> (Дата обращения 19.07.2019).
- [36] Батурин Ю. Соперничество и сотрудничество в космосе. – Вестник Института Кеннана в России, 2007. № 12. – С.14–17.
- [37] Kennedy John F. to the Soviet Union Chairman Nikita Khrushchev, March 7, 1962. – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol.II: External Relationships. – John M. Logsdon, Editor with Dwayne A. Day and Roger D. Launius. – Washington D.C., NASA History Office, 1996 (далее ExUn-II). p. 148.
- [38] Khrushchev N. to President John F. Kennedy. March 20. 1962. – In : ExUn-II. pp. 149–152.
- [39] Эйзенхауэр С. Партнеры в космосе. Американско-российское сотрудничество после холодной войны. – М.: «Наука», 2006. – С. 32.
- [40] Bundy McG. Memorandum for the President. July 16, 1962. Attached: Ball G. Memorandum for the President “Bilateral Talks Concerning US-USSR Cooperation in Outer Space Activities”. – In: ExUn-II. p. 164.
- [41] Letter to James Webb from Vannevar Bush. 11 April 1963 – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol.VII: Human Spaceflights: Projects Mercury, Gemini, and Apollo. – John M. Logsdon, Editor with Roger D. Launius. – Washington D.C., NASA History Office, 1996 (далее ExUn-VII). pp. 605–607.
- [42] McGeorge Bundy. Memorandum for the President. “Your 11 a.m. appointment with Jim Webb. September 18, 1963. – In: ExUn-II. p. 166.
- [43] Logsdon John M. The Development of International Space Cooperation. – In: ExUn-II. p. 13.
- [44] Letter to Representative Albert Thomas from President John F. Kennedy 23 September 1963. – In : ExUn-VII pp. 612–614.

- [45] Memorandum from Jerome B. Wiesner to the President “The US Proposal for a Joint US-USSR Lunar Program”, 29 October 1963. – In: ExUn-VII. pp. 614–616.
- [46] National Security Action Memorandum No 271. Memorandum for the Administrator, National Aeronautics and Space Administration. – In: ExUn-II. pp. 166–181.
- [47] Батулин Ю.М. Несвершившаяся история: американцы и русские вместе на Луне. – Вестник Института Кеннана в России. – М., 2009. № 16. С. 95–98.
- [48] Summary Report: Future Programs Task Group, January 1965. – In: ExUn-I. pp. 473–490.
- [49] Memorandum to Dr. Wernher von Braun, Director of NASA Marshall Space Flight Center, from James E. Webb, NASA Administrator, December 17, 1966. – In : ExUn-VII. pp. 649–650.
- [50] Memorandum to Holders National Intelligence Estimate Number 11-1-67 “The Soviet Space Program”. Submitted by Richard M. Helms, Director of Central Intelligence. 4 April 1968. – In: ExUn-VII. pp. 685–687.
- [51] Советская космическая инициатива в государственных документах 1946–1964 // Под ред. Ю.М. Батулина. – М.: РТСОфт, 2008. С. 269–272, 322–325.
- [52] URL: <https://www.svoboda.org/a/30032604.html> (Дата обращения 21.07.2019).
- [53] Townes Charles, et al. Report of the Task Force on Space, January 8, 1969. – In: ExUn-I. pp. 505–506.
- [54] ExUn-I. pp. 512–522.
- [55] Logsdon J.M. Project Apollo: Americans to the Moon. – In : ExUn-VII. pp. 433–439.
- [56] Letter to Julian Sheer from George M. Law. 18 March 1969. – In: ExUn-VII. pp. 727–728.
- [57] Shapley W.Y. NASA Memorandum. – In: ExUn-VII. p. 731.
- [58] ExUn-VII. p. 753.
- [59] ExUn-I, p. 547.

REFERENCES

- [31] Memorandum for the President. Draft. November 13, 1962. Appendix «Space Activities of the U.S. Government». – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol.I: Organizing for Exploration. – John M. Logsdon, Editor with Linda J. Lear, Jannelle Warren-Findley, Ray A. Williamson, and Dwayne A. Day. – Washington D.C., NASA History Office, 1995 (later on ExUn-I). p. 456.
- [32] James E. Webb to the President. November 30, 1962. – In : ExUn-I, p. 467.
- [33] Johnson Lyndon B. To the President. May 13, 1963 with attached report. – In: ExUn-I. pp. 469, 471–472.
- [34] Logsdon J.M. Project Apollo: Americans to the Moon. – In: ExUn-I. pp. 415–421, 427–431.
- [35] URL: <https://www.svoboda.org/a/30045700.html> (access date 07.19.2019).
- [36] Baturin Yu.M. Competition and cooperation in space. – Bulletin of the Kennan Institute in Russia 2007. No 12. pp. 14–17.
- [37] Kennedy John F. to the Soviet Union Chairman Nikita Khrushchev, March 7, 1962. – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol.II: External Relationships. – John M. Logsdon, Editor with Dwayne A. Day and Roger D. Launius. – Washington D.C., NASA History Office, 1996 (later on ExUn-II). p. 148.
- [38] Khrushchev N. to President John F. Kennedy. March 20, 1962. – In : ExUn-II. pp. 149–152.

- [39] Eisenhower S. Partners in space. U.S.-Russian cooperation after the cold war. – Moscow: “Nauka”, 2006. p. 32.
- [40] Bundy McG. Memorandum for the President. July 16, 1962. Attached: Ball G. Memorandum for the President “Bilateral Talks Concerning US-USSR Cooperation in Outer Space Activities”. – In: ExUn-II. p. 164.
- [41] Letter to James Webb from Vannevar Bush. 11 April, 1963 – In: Exploring the Unknown. Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program. Vol. VII: Human Spaceflights: Projects Mercury, Gemini, and Apollo. – John M. Logsdon, Editor with Roger D. Launius. – Washington D.C., NASA History Office, 1996 (later on ExUn-VII). pp. 605–607.
- [42] McGeorge Bundy. Memorandum for the President. “Your 11 a.m. appointment with Jim Webb. September 18, 1963. – In: ExUn-II. p. 166.
- [43] Logsdon John M. The Development of International Space Cooperation. – In: ExUn-II. p. 13.
- [44] Letter to Representative Albert Thomas from President John F. Kennedy, 23 September, 1963. – In : ExUn-VII pp. 612–614.
- [45] Memorandum from Jerome B. Wiesner to the President “The US Proposal for a Joint US-USSR Lunar Program”, 29 October, 1963. – In: ExUn-VII. pp. 614–616.
- [46] National Security Action Memorandum No. 271. Memorandum for the Administrator, National Aeronautics and Space Administration. – In: ExUn-II. pp. 166–181.
- [47] Baturin Yu.M. The unraveled story: Americans and Russians together on the Moon. – Bulletin of the Kennan Institute in Russia. Moscow, 2009. No 16. pp. 95–98.
- [48] Summary Report: Future Programs Task Group, January 1965. – In: ExUn-I. pp. 473–490.
- [49] Memorandum to Dr. Wernher von Braun, Director of NASA Marshall Space Flight Center, from James E. Webb, NASA Administrator, December 17, 1966. – In : ExUn-VII. pp. 649–650.
- [50] Memorandum to Holders National Intelligence Estimate Number 11-1-67 “The Soviet Space Program”. Submitted by Richard M. Helms, Director of Central Intelligence. 4 April, 1968. – In: ExUn-VII. pp. 685–687.
- [51] The Soviet space initiative in state documents 1946–1964 // Ed. Yu.M. Baturin. – Moscow: «RTSoft», 2008. pp. 269–272, 322–325.
- [52] URL: <https://www.svoboda.org/a/30032604.html> (access date 07.21.2019).
- [53] Townes Charles, et al. Report of the Task Force on Space, January 8, 1969. – In: ExUn-I. pp. 505–506.
- [54] ExUn-I. pp. 512–522.
- [55] Logsdon J.M. Project Apollo: Americans to the Moon. – In : ExUn-VII. pp. 433–439.
- [56] Letter to Julian Sheer from George M. Law. 18 March 1969. – In: ExUn-VII. pp. 727–728.
- [57] Shapley W.Y. NASA Memorandum. – In: ExUn-VII. p. 731.
- [58] ExUn-VII. p. 753.
- [59] ExUn-I. p. 547.