

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

С.К. Крикалёв

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

Б.И. Крючков –
заместитель
главного редактора,

А.В. Кальмин –
ответственный секретарь,

Ю.М. Батурин,

М.Н. Бурдаев,

Л.К. Васильева,

С.П. Власенков,

Н.В. Волкова,

О.С. Гордиенко,

П.П. Долгов,

В.М. Жуков,

С.А. Жуков,

О.В. Котов,

Г.Д. Орешкин,

В.И. Почуев,

В.Н. Саев,

И.Г. Сохин,

М.В. Сураев,

М.М. Харламов,

В.М. Усов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

К первым итогам международного мегаэксперимента «Марс-500». <i>А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, Б.В. Моруков</i>	5
Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (<i>продолжение</i>). <i>В.А. Соловьёв,</i> <i>В.Е. Любинский, Е.И. Жук</i>	16
Человек на МКС: творчество или детерминизм? <i>С.К. Крикалёв</i>	28
Адаптивно-компетентностный подход к решению проблемы управления качеством подготовки космонавтов в интересах гарантированного обеспечения заданного уровня безопасности и надежности космических полетов. <i>И.Г. Сохин</i>	37
Математическая формализация и решение многокритериальной нелинейной задачи планирования программы тренировок экипажей орбитального пилотируемого комплекса на комплексных и специализированных тренажерах. <i>А.А. Курицын</i>	50
Функционально-моделирующие стенды в задачах исследования операций и подготовки операторов космических манипуляционных роботов. <i>А.Г. Лесков</i>	61
Перспективы создания антропоморфных робототехнических систем для работы в космосе. <i>А.А. Богданов, И.М. Кутлубаев,</i> <i>В.Б. Сычков</i>	80
Внутренний объем обитаемого пространства пилотируемого космического аппарата, необходимый для выполнения полета определенной длительности. <i>В.И. Ярополов</i>	87

Систематизация подходов к сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов Российской Федерации. <i>Р.Р. Каспранский, Л.И. Воронин, В.И. Почуев, В.В. Моргун</i>	99
Уровни физической подготовленности космонавтов различных категорий на различных этапах подготовки к полету. <i>В.Г. Назин</i>	109
Навыки в профессиональной подготовке космонавтов по научно-прикладным исследованиям и экспериментам. <i>Е.В. Попова</i>	116
Уравнение перелета и его применение к расчету времени. <i>М.Н. Бурдаев</i>	121
Ветровые нагрузки на Марсе. <i>О.С. Цыганков, С.А. Морозов</i>	140
Человек летающий. <i>В.А. Пономаренко</i>	145
Расселение человечества вне Земли: проблемы и перспективы. <i>С.В. Кричевский</i>	158
«Процесс познания не обходится без неудач» (последнее интервью Б.Е. Чертока).....	164
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	172
Поздравляем с избранием в члены-корреспонденты РАН и РАМН!	172
Коллективу института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН	172
Первый российско-германский семинар по космической робототехнике.....	173
XXXIX Международные общественно-научные чтения, посвященные памяти первого космонавта Ю.А. Гагарина	174
Международный научный семинар в Казани	175
Информация для авторов и читателей	177

CONTENTS

The First Results of the Mars-500 International Mega-Experiment. <i>A.I. Grigoriev, I.B. Ushakov, B.V. Morukov</i>	5
Status and Development Prospects of Space Vehicle Control System (continued). <i>V.A. Solovyov, V.E. Lubinsky, E.I. Zhuk</i>	16
Man on the ISS: Creativity or Determinism? <i>S.K. Krikalev</i>	28
Competence-Based Approach to the Problem of Quality Management of Cosmonaut Training for Ensuring Safety and Reliability of Spaceflight. <i>I.G. Sokhin</i>	37
Mathematical Formalization and Solving of Multicriterion Nonlinear Problem of Planning ISS Crew Training on Integrated and Dedicated Simulators. <i>A.A. Kuritsyn</i>	50
Application of Hybrid Simulating Testbeds for Studying Robotic Operations and Training Space Robot Operators. <i>A.G. Leskov</i>	61
Prospects of Anthropomorphic Robotic Systems for Space Activity. <i>A.A. Bogdanov, I.M. Kutlubaev, V.B. Sychkov</i>	80
The Internal Habitable Volume of a Manned Space Vehicle Required for Performing Spaceflight of a Certain Duration. <i>V.I. Yaropolov</i>	87
Systematization of Approaches to Preservation and Strengthening of Occupational Health of Cosmonauts of the Russian Federation. <i>R.R. Kaspransky, L.I. Voronin, B.I. Pochuyev, V.V. Morgun</i>	99
Levels of Physical Fitness of Cosmonauts Having Different Health Status at Various Stages of Training for Flight. <i>V.G. Nazin</i>	109
Skill Formation in the Course of Cosmonaut Occupational Training. <i>E.V. Popova</i>	116
The Equation of Transfer and its Application for Calculating the Time of Transfer. <i>M.N. Burdayev</i>	121
Wind Effects on Mars. <i>O.S. Tsygankov, S.A. Morozov</i>	140
Homo Volans (a Flying Man). <i>V.A. Ponomarenko</i>	145
Space Colonization: Problems and Prospects. <i>S.V. Krichevsky</i>	158
“The Learning Process Does Not Go Without Satbacks” (the Last Interview with B.E. Chertok).....	164
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	172
Congratulations on Your Election as a Corresponding Member of RAS and RAMS!.....	172
To the Collective Body of S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences.....	172
The First Russian-German Workshop on Space Robotics.....	173

XXXIX International Social & Scientific Readings Dedicated to the Memory of the First Cosmonaut Yu.A. Gagarin.....	174
International Scientific Seminar in Kazan.....	175
Information for Authors and Readers.....	177

К ПЕРВЫМ ИТОГАМ МЕЖДУНАРОДНОГО МЕГАЭКСПЕРИМЕНТА «МАРС-500»

А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков, Б.В. Моруков

Вице-президент РАН, академик РАН и РАМН А.И. Григорьев; чл.-корр. РАН, академик РАМН И.Б. Ушаков; чл.-корр. РАМН Б.В. Моруков (ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН)

Приводится краткое описание методик и условий международного медико-физиологического эксперимента «Марс-500», в котором участвовали 6 испытуемых из 4 стран (Россия, Франция, Италия, Китай) 27–38-летнего возраста. Они в целом успешно выдержали 520-суточное автономное существование и практически полную изоляцию от внешнего мира. Обсуждаются первые итоги, связанные с механизмами адаптации, психофизиологического регулирования и перестройкой ряда физиологических процессов в организме испытуемых. Беспрецедентный объем исследований (более 100 крупных исследовательских проектов) позволяет надеяться, что полученные данные в области интегративной физиологии человека послужат адекватным базисом для будущей космической физиологии межпланетных путешествий.

Ключевые слова: адаптация, стресс, длительная изоляция, психофизиологические эффекты, системы жизнеобеспечения.

The First Results of the Mars-500 International Mega-Experiment.

A.I. Grigoriev, I.B. Ushakov, B.V. Morukov

The paper briefly describes the methods and conditions of MARS-500 international medical physiological experiment, in which six test persons aged 27-38 from four countries (Russia, France, Italy, and China) took part. In general they successfully got through a 520-day autonomous existence and almost full isolation from outside world. The report discusses the first results related to adaptation mechanisms, psycho-physiological regulation, and alteration of physiological processes in a subject's organism. An unprecedented amount of research (more than 100 large research projects) holds out a hope that the findings in the field of integrative human physiology will create an adequate basis for future interplanetary missions.

Key words: adaptation, stress, long-term isolation, psycho-physiological effects, life-support systems.

4 ноября 2011 года завершился 520-суточный международный медико-физиологический эксперимент (ММФЭ) с широким международным участием – заключительный в проекте «Марс-500». ММФЭ был посвящен изучению механизмов адаптации человека к моделируемым факторам пилотируемой экспедиции на Марс, работоспособности и здоровья человека в этих уникальных условиях. Изучались многочисленные взаимодействия (физиологические, психофизиологические, инженерно-психологические, эргономические, микробиологические и др.) в системе «человек–искусственная среда обитания».

ММФЭ был начат 3 июня 2010 года. В предыдущие 2 года проводились предварительные 14- и 105-суточные эксперименты с таким же числом участников (6 человек). В составе экипажа были три представителя России (командир, врач, физиолог-исследователь), по одному участнику от Франции (бортинженер), Италии (исследователь) и Китая (исследователь). Возраст участников – 27–38 лет к началу эксперимента.

Известно, что в реальной пилотируемой экспедиции на Марс экипаж будет подвергаться воздействию комбинации одновременно или последовательно дей-

ствующих шести групп факторов (рис. 1) [2, 3, 5]. Первые три из шести групп факторов моделировались в 520-суточном эксперименте «Марс-500», из последующих трех групп факторов лишь частично моделировались отдельные эффекты гемодинамическими способами или средствами виртуальной реальности.

Задачами ММФЭ являлись:

- изучение влияния условий, воспроизводящих особенности пилотируемой экспедиции к Марсу, на состояние здоровья и работоспособность экипажа;
- организация деятельности экипажа и его взаимодействия с Центром управления ММФЭ (ЦУЭ) с учетом особенностей экспедиции;
- апробирование принципов, средств и методов контроля, диагностики и мониторинга параметров среды обитания в ходе сверхдлительного пребывания экипажа в замкнутой среде;
- моделирование деятельности экипажа на марсианской поверхности, а также выполнения динамических полетных операций;
- отработка принципов, методов и средств мониторинга, диагностирования и прогнозирования состояния здоровья и работоспособности, совершенствование средств оказания медицинской помощи и профилактики возможных нарушений здоровья;
- совершенствование средств получения, обработки и анализа физиологической, медицинской информации;
- изучение типов физиологической и психологической адаптации к автономному функционированию жесткой изоляции;
- создание и проверка системы информационно-справочного обеспечения деятельности экипажа, хранения и передачи электронной информации;
- отработка средств и методов телемедицины для дистанционного мониторинга здоровья человека;
- апробирование методов и автономных средств психологической поддержки;
- оценка современных технологий, систем и средств жизнеобеспечения и защиты человека.

Перечень основных экспериментов представлен в технических публикациях, посвященных этапам проекта [1], а также на сайте: <http://mars500.imbp.ru>.

Основные этапы 520-суточного ММФЭ представлены на рис. 2.

В первые 50 суток ММФЭ использовались все виды связи, включая голосовую. С 51-х по 470-е сутки – моделировалось увеличение времени прохождения радиосигнала «Земля–экипаж» от 8 до 736 с на 351-х сутках полета с последующим постепенным уменьшением задержки до исчезновения на 471-е сутки эксперимента. С этого момента снова использовались все виды связи, включая голосовую [1].

Организация режима труда и отдыха экипажа осуществлялась с учетом круглосуточного посменного дежурства одного члена экипажа на главном пульте управления.



Рис. 1. Факторы и условия пилотируемых экспедиций на Марс



Рис. 2. Структура эксперимента с 520-суточной изоляцией

Построение циклограммы работ и распределение времени на отдельные ее фрагменты соответствовали следующему основному режиму:

- сон – 8,5 ч;
- период после сна – 1,5 ч (включая 1 ч на завтрак);
- ежедневная оперативка – 0,5 ч;
- подготовка к работе, осмотр комплекса, ознакомление с циклограммой дня – 1,5 ч;
- работы с системами жизнеобеспечения – 2 ч;
- выполнение научных экспериментов – 4 ч;
- обед – 1 ч;
- физические тренировки – 1 ч;
- личное время и ужин – 4 ч.

Основными видами деятельности экипажа являлись:

1) выполнение научной программы эксперимента, при этом планирование и организация бортовых исследований и экспериментов осуществлялись самим экипажем на основе примерной циклограммы, составленной ЦУЭ;

2) поддержание физического и психического здоровья, работоспособности членов экипажа, которое осуществлялось посредством регулярного медицинского контроля и физических тренировок с использованием имеющихся тренажных средств; на основе данных медицинского контроля врач экипажа принимал решение о проведении профилактических и лечебных мероприятий, при необходимости в экстренных ситуациях обращался за помощью в ЦУЭ;

3) контроль параметров регулируемой среды гермообъекта, который проводился по регламенту в течение рабочего дня; экипаж осуществлял также регулярный гигиенический, токсикологический и микробиологический контроль состояния гермообъекта;

4) контроль и учет потребляемых ресурсов – пищи, воды, расходных материалов, запасных частей, ресурсов СОЖ;

5) регулярные профилактические и ремонтные работы по поддержанию нормального функционирования систем жизнеобеспечения гермообъекта, проведение в гермообъекте санитарно-гигиенических мероприятий и поддержание оптимальных бытовых условий;

6) повышение уровня квалификации членов экипажа, освоение смежных профессий, совершенствование языковой подготовки;

7) моделирование деятельности экипажа на поверхности Марса и управления кораблем.

ММФЭ проводился на базе наземного экспериментального комплекса ИМБП РАН. Экспериментальные модули (рис. 3), входящие в состав комплекса, предназначены для проведения научных экспериментов с участием испытателей в условиях искусственно регулируемой среды обитания. Комплекс включает в себя следующие системы и установки общим объемом 550 м^3 :

- экспериментальные установки (модули) – ЭУ-50, ЭУ-100, ЭУ-150 и ЭУ-250;
- имитатор марсианской поверхности (ИМП);
- рабочие места персонала при подготовке и проведении эксперимента;
- система обеспечения жизнедеятельности экспериментальных модулей

(СОЖ ЭУ).

В СОЖ ЭУ входили следующие компоненты:

- система вентиляции и кондиционирования воздуха,
- система снабжения кислородом и азотом, газового анализа, очистки атмосферы,
- система водоснабжения,
- система пожарной сигнализации, пожаротушения и аварийного оповещения,
- система канализации,
- система электроснабжения,
- система электроосвещения,
- система управления,
- система внутренней и внешней связи,
- система аварийной связи,
- система видеонаблюдения,
- комплекс технологического оборудования,
- система видеонаблюдения и контроля,
- инженерные системы (кондиционирование, энергоснабжение, холодно-снабжение, пожаротушение, пожарная сигнализация и т. д.).

Экспериментальные модули ЭУ-50, ЭУ-100, ЭУ-150 и ЭУ-250 выполнены в виде герметичных металлических цилиндров, горизонтально расположенных на опорах и соединенных между собой переходными отсеками.

Модуль ЭУ-50, общим объемом 50 м^3 , предназначен для имитации посадочного марсианского модуля с возможностью пребывания в нем трех членов экипажа в течение одного месяца.

В модуле ЭУ-50 имеются два люка, связывающие ЭУ-50 с модулем ЖУ-150 и с переходным отсеком (кессоном), расположенным перед имитатором марсианской поверхности.

Модуль ЭУ-100, общим объемом 100 м^3 , предназначен для проведения медицинских и психологических экспериментов и представляет собой помещение, разделенное на три зоны: лабораторию, процедурную зону и изолятор, и две вспомогательные: кухню и санузел.

Модуль ЭУ-100 соединен с модулем ЭУ-150 переходным отсеком и имеет два выхода в торцах – основной и аварийный.

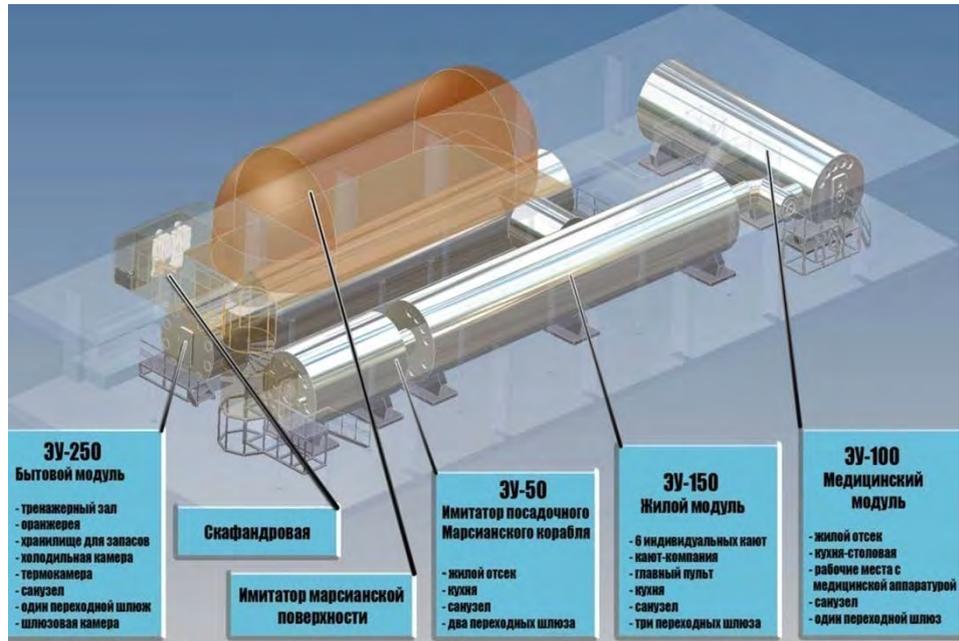


Рис. 3. Наземный экспериментальный комплекс

Модуль ЭУ-150, общим объемом 150 м^3 , предназначен для размещения шести членов экипажа. Внутри модуля расположены шесть индивидуальных кают для членов экипажа, кухня-столовая на шесть человек, кают-компания, главный пульт управления и санузел. В модуле ЭУ-150 имеются три переходных люка в модули ЭУ-50, ЭУ-100 и ЭУ-250.

Модуль ЭУ-250, общим объемом 250 м^3 , предназначен для хранения продовольственных и других запасов, технологического оборудования, запасного инструмента и принадлежностей. В модуле размещены зал с тренажерами для проведения физических тренировок, экспериментальная оранжерея, душевая установка и санузел.

Модуль ЭУ-250 имеет один переходной люк, соединяющий его с модулем ЭУ-150, и две герметичные двери.

Имитатор марсианской поверхности, общим объемом 1200 м^3 , предназначен для имитации марсианской поверхности и включает в себя:

- имитатор марсианской поверхности, представляющий негерметичный отсек, высотой внутри помещения 3 метра, предназначенный для пребывания экипажа в скафандрах, изолирующих от внешней среды;
- негерметичные лестницу и кессон, отделяющий модуль ИМП от модуля ЭУ-50 и имеющий кладовую для хранения скафандров, гардероб и переходную дверь;
- компрессорную установку с ресивером для вентиляции скафандров.

Каждый из экспериментальных модулей представляет собой независимую систему, включающую в себя системы жизнеобеспечения, электроснабжения, управления и т. д.

Во время эксперимента поддерживались и постоянно контролировались основные физические параметры среды обитания, включающие температуру газовой среды, ее состав и запыленность, шум и освещенность в различных зонах, относительную влажность и пр.

Значения параметров среды обитания, содержание микроорганизмов в атмосфере и на поверхностях, концентрация вредных примесей в воздухе модулей не должны были превышать значений, указанных в ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате».

Контроль за динамикой показателей среды обитания в экспериментальных модулях осуществлялся испытателями и наземной службой по утвержденным методикам и графикам. Регистрация параметров атмосферы в табличной форме производилась каждые два часа (табл. 1).

Таблица 1

Параметры атмосферы в наземном экспериментальном комплексе
(на 28 октября 2011 г., 513-е сутки эксперимента)

	Норма	Фактически		
		ЭУ-150	ЭУ-100	ЭУ-250 (тренажерный зал)
Парциальное давление O ₂ (%)	19–25	20,8	20,0	20,8
Парциальное давление CO ₂ (%)	не более 1	0,13	0,01	0,34
Относительная влажность (%)	40–75	48,3	40,2	48,3
Температура (°C)	18–28	23,6	23,6	20,6

Значения параметров среды обитания не превышали предельно допустимых.

В научной программе эксперимента приоритет отдавался исследованиям, которые направлены на решение проблем медико-физиологического обеспечения полета человека на Марс.

Научная программа включала 105 российских и совместных с другими странами исследовательских проектов по следующим направлениям:

- 1) физиологические и клиничко-физиологические исследования (всего 26);
- 2) психофизиологические и психологические исследования (26);
- 3) биохимические, иммунологические и биологические исследования (34);
- 4) микробиологические, санитарно-гигиенические и микробиологические исследования (8);
- 5) операционно-технологические эксперименты (11).

Средняя повторяемость проводимых исследований – один раз в 60 суток.

Медико-физиологический контроль в процессе эксперимента включал ежедневный (субъективную оценку состояния здоровья по специальной анкете; утренний и вечерний контроль основных показателей жизнедеятельности – давление, частоту пульса, температуру тела, массу тела) и расширенный контроль (углубленную оценку деятельности сердечно-сосудистой системы – электрокардиографические исследования в покое и при нагрузке, по показаниям проведение холтеровского мониторирования и мониторирования артериального давления, оценку дыхательной функции; лабораторные методы исследования крови и мочи; приватные медицинские и психологические конференции).

Каждые 6 месяцев (а также по показаниям) проводились заседания медицинской комиссии: анализ данных углубленного клинико-физиологического обследования, использование средств телемедицины, электронные приватные медицинские и психологические конференции.

Смена постельного белья производилась один раз в десять суток, смена нижнего белья (футболки, трусы, носки) производилась один раз в трое суток. По результатам 105-суточного эксперимента в модуле ЭУ-250 был установлен душ, который использовался экипажем. Ежедневно проводилась уборка помещений комплекса с использованием пылесоса, дезинфицирующих растворов. В модуле ЭУ-250 была организована локальная зона для сушки спортивного белья.

Питание испытателей в первые 250 суток ММФЭ обеспечивалось рационом, сформированным немецкой стороной, в котором использовались продукты, производимые известными на мировом рынке европейскими фирмами (ARPETITO, KELLOG, NIPP, COORPENTATH, ENERVIT). По содержанию необходимых организму человека пищевых веществ рацион питания соответствовал принятым физиологическим нормам для контингентов, чья профессиональная деятельность по энерготратам относится к категории средней тяжести (до 3000 ккал). Пищевой состав рациона отвечал рекомендациям Всемирной организации здравоохранения.

Режим питания в ММФЭ – 5-разовый: завтрак, второй завтрак, обед, полдник, ужин, то есть три основных приема пищи и два легких перекуса.

В процессе ММФЭ на основании результатов оценки состояния испытателей с учетом высказываемых ими замечаний выдавались рекомендации по коррекции продуктового состава рациона питания, предусматривающие уменьшение калорийности путем временного исключения из потребления отдельных продуктов.

В течение «марсианского десанта» питание испытателей было аналогично питанию на Международной космической станции (МКС), а в последующие сроки носило смешанный характер.

В качестве психологической поддержки экипажа в эксперименте использовались те же методы и средства, что и у экипажей МКС (книги, фильмы, музыка, обзоры новостей и т. п.). Средства психологической поддержки были сформированы с учетом мнения каждого члена экипажа, а все вспомогательные материалы и средства были загружены в ЭУ до начала эксперимента. Обзоры новостей передавались трижды в неделю по компьютерной сети.

Экипажу была предоставлена возможность непосредственного обращения в комплекс моделирования ЦУЭ за информацией о полете межпланетного экспедиционного комплекса. Итоговые характеристики информационного обмена в эксперименте приведены в табл. 2.

Таблица 2

Итоговые характеристики информационного обмена в эксперименте «Марс-500»

Показатель	Направление	Количество сообщений
Количество служебных радиogramм	Земля–экипаж	1874
	Экипаж–Земля	1382
Канал личной переписки	Земля–экипаж	3141
	Экипаж–Земля	2398

Опыт длительных полетов на МКС позволил сформулировать ряд задач, решение которых было важно для обеспечения высокой эффективности профилактических мероприятий по поддержанию физической работоспособности в межпланетных космических полетах.

Было предусмотрено несколько этапов проверки эффективности тренировок, построенных по специальной программе с применением различных инструментальных средств.

На первом этапе оценивалась эффективность тренировок, выполняемых с использованием силового тренажера MDS (Австрия), эспандеров и вибротренажера (Германия). На втором этапе оценивалась эффективность локомоторных тренировок в активном и пассивном режимах беговой дорожки и тренировок на велоэргометре. На третьем этапе выполнялось предусмотренное условиями эксперимента прекращение тренировок.

Через каждые 30 дней выполнялась тестовая программа оценки состояния и уровня тренированности членов экипажа с использованием тестов на бегущей дорожке, на силовом тренажере, стабиллоплатформе и проведение теста на велоэргометре с газоанализом. Предварительные результаты оценки уровня работоспособности экипажа указывали на то, что предложенная система физических тренировок позволяет не только сохранять уровень общей работоспособности членов экипажа в условиях эксперимента, но и повышать уровень тренированности.

Моделирование гемодинамических эффектов микрогравитации проводилось у трех участников «марсианского десанта» на 251–257-е сутки. Использовались методы:

- антиортостатическое положение тела -12° (АНОП) в ночное время;
- ношение противоперегрузочного костюма «Кентавр» (надевался и подготавливался утром и снимался вечером в АНОП);
- оценка гемодинамических и метаболических эффектов: водный баланс, экскреция электролитов почками, биохимические методы исследования гормональной регуляции; исследование жидкостных сред методом импедансометрии; функциональная ортостатическая проба.

Программа операций на имитаторе поверхности Марса включала: использование средств виртуальной реальности; тестовые проверки робототехники на этапе приближения к Марсу; обучение группы высадки операциям по управлению робототехникой; подготовку скафандров «Орлан-Э» к выходу (ЭУ-50, воздушный шлюз); подготовку роботизированных устройств и астронавигационных приборов к работе.

Три «выхода» включали:

- установку и активацию астронавигационных приборов;
- выезд на поверхность ровера и приведение его в состояние управляемого движения, размещение стационарных датчиков регистрации физических и химических параметров;
- регистрацию установленными датчиками физических и химических параметров в процессе движения ровера;
- возвращение группы высадки, закрытие люка.

При выполнении деятельности в имитаторе марсианской поверхности оценивалось: качество вождения и управления марсоходом; плавность маневрирования, общего времени экспедиции и статуса выполнения ее задач. Проводилась оценка нейрокогнитивных тестов, в которых от оператора требовалось: эффек-

тивно классифицировать информацию; выполнять нужные для экспедиции расчеты и принимать адекватные решения; распознавать полезную для экспедиции информацию; декодировать закодированные сообщения; определить маршрут для другого вездехода; выполнять проверку актуальности базы геологических данных; выполнять другие операционные процедуры.

Нейрокогнитивные тесты были предназначены для оценки оперативной памяти, сосредоточенности, распределенного внимания оператора, внимания, умения планировать и принимать решения, способности к зрительному сканированию и восприятию, а также устойчивости внимания (с оценкой утомления).

Выводы из результатов 520-суточного ММФЭ можно сделать пока только самые общие, носящие сугубо предварительный характер.

1. Международный экипаж оказался устойчивым к большинству психофизиологических факторов, общих условий экспедиции и условий замкнутой среды обитания.

2. Не выявлено значимых отклонений в состоянии здоровья испытуемых (при расчетном риске 0,63 для одного члена экипажа за данный период воздействия).

3. Уровень работоспособности, включая когнитивные тесты, оставался адекватным на важнейших этапах эксперимента и в нештатных ситуациях (суточное отключение электроэнергии и недельное отсутствие связи с экипажем).

4. Очевидных конфликтов, в том числе при моделировании двух нештатных ситуаций, выявлено не было.

5. Система использования физических тренировок позволила сохранить необходимый уровень общей работоспособности членов экипажа, при этом экипаж функционировал как единое целое.

6. Превалирование числа радиogramм и сообщений от наземного центра управления и по каналу личной переписки по вектору «экипажу» свидетельствует об эффекте преимущественно автономной жизнедеятельности марсианского экипажа и стойкой перестройке соответствующих психофизиологических механизмов регуляции.

7. Исследования в ММФЭ «Марс-500» – показательный пример интегративной физиологии человека и биомедицины [4], позволяющий на различных уровнях оценивать значимость разнообразных физиологических маркеров и характеристик при выполнении высокомотивированной социально значимой деятельности, носящей в отдельные периоды творческий и эвристический характер в экстремальных условиях.

Подробно результаты анализа всех полученных данных представлены в специальных публикациях и материалах международного симпозиума 23–25 апреля 2012 года (Москва, Российская академия наук).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белаковский М.С., Волошин О.В., Демин Е.П., Моруков Б.В. Проект «Марс-500». – ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2011.
- [2] Григорьев А.И. Физиологические проблемы пилотируемой экспедиции на Марс // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2007. – № 93 (5). – С. 473–488.
- [3] Пилотируемая экспедиция на Марс / Ред. А.С. Коротеев. – М.: Рос. акад. косм. им. К.Э. Циолковского, 2006.
- [4] Наточин Ю.В. Физиология, биомедицина, медицина // Успехи физиол. наук. – 2008. – № 39 (2). – С. 8–31.
- [5] Циблиев В.В., Наумов Б.А., Саев В.Н., Ярополов В.И., Щербаков М.В. Что ждет экипаж при полете на Марс и как к этому готовиться // Полет. – 2009. – № 1. – С. 14–17.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (продолжение)

В.А. Соловьёв, В.Е. Любинский, Е.И. Жук

Дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР, лауреат Государственной премии в области науки и техники, докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН В.А. Соловьёв; докт. техн. наук В.Е. Любинский; лауреат Государственной премии в области науки и техники, доктор политических наук, канд. техн. наук, профессор Е.И. Жук (ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»)

В статье рассматриваются основные проблемы эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления космическими полетами. Основное внимание уделяется вопросам контроля космических аппаратов и обеспечения функционирования бортовых систем. При этом раскрываются суть интегральной оценки состояния контролируемых параметров и особенности управления полетом при возникновении нештатных ситуаций. В статье показаны роль и задачи специалистов по эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления, а также отражены принципы математического моделирования в процессе контроля и анализа работы бортовых систем. В заключении приводится состав отчетных документов послеполетного анализа.

Ключевые слова: эксплуатации бортовых систем, оперативный контур управления космическими полетами, телеметрическая информация, специальное математическое обеспечение, моделирование полетных операций.

Status and Development Prospects of Space Vehicle Control System (continued). V.A. Solovyov, V.E. Lubinsky, E.I. Zhuk

The paper discusses key issues of the onboard system operation in on-line mission control loop. The main attention is paid to issues of spacecraft control and onboard system support. Herewith, the paper reveals the essence of the integral estimation of controlled parameters and the specificity of flight control in off-nominal conditions. The paper shows the role and tasks of space vehicle system experts and also covers principles of mathematical modelling in the course of controlling and analyzing onboard systems operation. In conclusion the paper presents a package of reporting documentation concerning post-flight analysis.

Key words: onboard systems operation, on-line mission control loop, telemetry data, customized software, flight operations simulation.

4. Основные задачи эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления

Управление любой технической системой обязательно включает в качестве неотъемлемого элемента осуществление того или иного вида контроля (текущих значений параметров движения, состояния подсистем, качества выполняемых подсистемами функций и т.п.), предполагающего наличие обратной связи по контролируемым переменным.

В области *контроля полета космических аппаратов* и обеспечения функционирования бортовых систем основными задачами, решаемыми оперативно, являются следующие:

- контроль выполнения запланированных операций;
- оценка состояния и функционирования бортовых систем;

- распознавание нештатных ситуаций и выработка рекомендаций по устранению неисправностей;
- разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации бортовых систем;
- моделирование работы бортовых систем для оценки выполнимости плана полета.

В решении первых трех задач участвуют специалисты Главной оперативной группы управления (ГОГУ), экипаж космического аппарата и автоматический бортовой комплекс управления (БКУ), в остальных двух – только ГОГУ.

В общем случае реализация процесса управления полетом представлена на схеме (см. рис. 15):

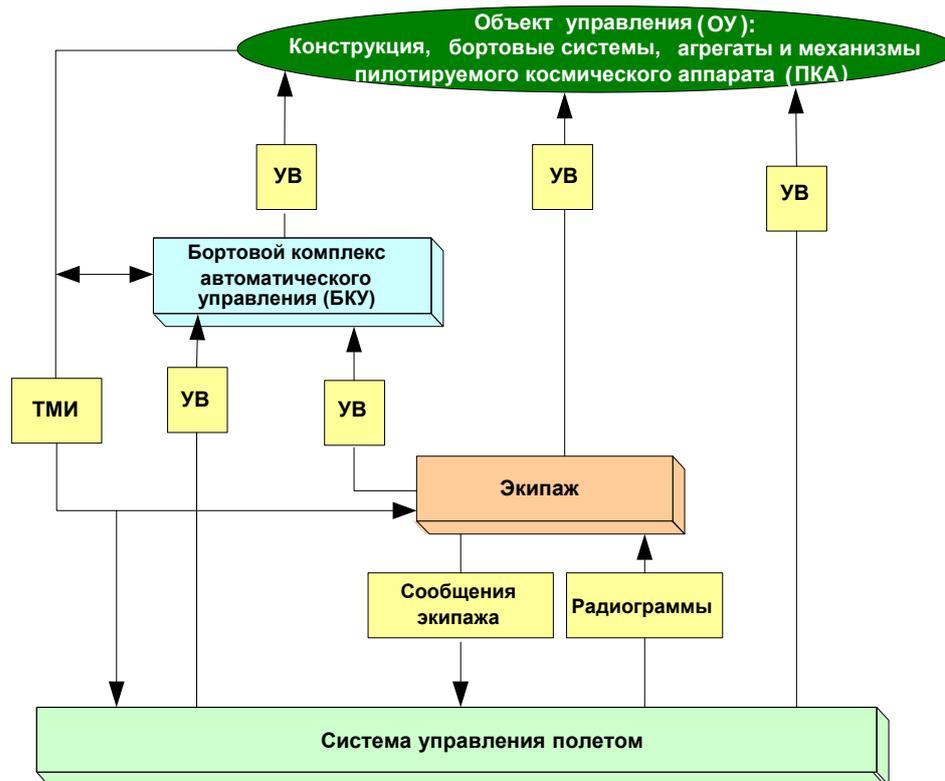


Рис. 15. Реализация процесса управления
(ТМИ – телеметрическая информация, УВ – управляющее воздействие)

Понятие «управление космическим полетом» существенно более широкое, нежели управление движением КА, при котором достаточно иметь обратную связь по вектору текущего фазового состояния аппарата, реализуемую с помощью бортовых навигационных систем и внешнетракторных измерений (ВТИ) в рамках баллистико-навигационного обеспечения (БНО) полета. Процесс контроля при управлении космическим полетом, включающий наблюдение и оценивание характеризующих его параметров, естественно, имеет более емкое наполнение, чем при управлении только движением КА. Общий алгоритм контроля космического полета представлен на рис. 16.

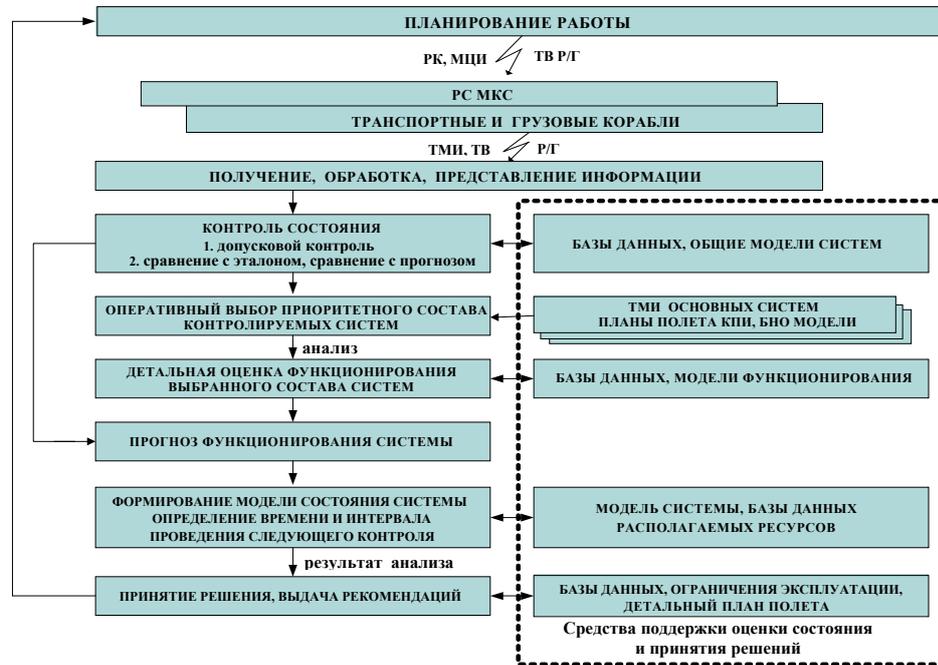


Рис. 16. Общий алгоритм контроля космического полета
(ТМИ – телеметрическая информация, ТВ – телевизионная информация,
р/г – радиограмма)

В целом, интегральная оценка состояния контролируемых параметров должна гарантировать в каждый момент времени достоверный ответ на следующие основные вопросы:

- способен ли КА выполнить поставленные перед ним задачи, в том числе обеспечить безопасность экипажа;
- адекватны ли реакции бортового сегмента автоматизированной системы управления космическим полетом (АСУ КП) и систем КА на формируемые УВ;
- в состоянии ли наземный и бортовой сегменты АСУ КП обеспечить требуемый информационный обмен;
- насколько состояние КА и АСУ КП в целом соответствует задачам реализации программы космического полета.

Таким образом, контролю подлежат все основные процессы и подсистемы КА и АСУ КП, участвующие в управлении, а также параметры внешней среды, в которой проходит полет. При контроле полета осуществляется оценка безопасности и состояния экипажа, состояния работоспособности и ресурсов пилотируемого КА, движения КА, внешней обстановки, выполнения полетных операций, научно-исследовательской программы и плана полета в целом.

В процессе контроля полета его объектом являются:

- состояние служебных систем КА, научной аппаратуры и экипажа;
- внутренние условия среды, в которой работает экипаж и функционируют технические средства КА (давление, состав и влажность атмосферы, температурный режим, уровень радиации, частоты и амплитуды колебаний конструкции и т.д.);

- параметры относительного движения взаимодействующих КА (например, при сближении, расстыковке, групповом полете), получаемые автономно с помощью бортовых измерителей;
- информация, получаемая с научной и прикладной аппаратуры;
- внешние условия (среда), в которых осуществляется полет;
- ресурсные параметры КА, претерпевающие изменения в ходе полета;
- параметры движения в инерциальном пространстве центра масс КА, получаемые от средств ВТИ или автономно с помощью бортовых измерителей;
- параметры углового движения КА;
- объем и качество выполнения задач полета на фиксированный момент времени;
- состояние АСУ КП.

Если в процессе контроля полета выявляется отклонение от нормы в состоянии или в функционировании космического аппарата, ГОГУ подготавливает и принимает **решение о действиях по ликвидации возникшей нештатной ситуации** (см. рис. 17). При этом в первую очередь оценивается время до наступления критической фазы нештатной ситуации, то есть до возникновения необратимых негативных последствий, влекущих утрату части функций КА или его жизнеспособности, или нарушение безопасности экипажа.

Если величина этого, так называемого располагаемого, времени достаточна в подготовке и принятии решения, то наряду со специалистами и руководством ГОГУ в подготовке и принятии решения по парированию нештатной ситуации

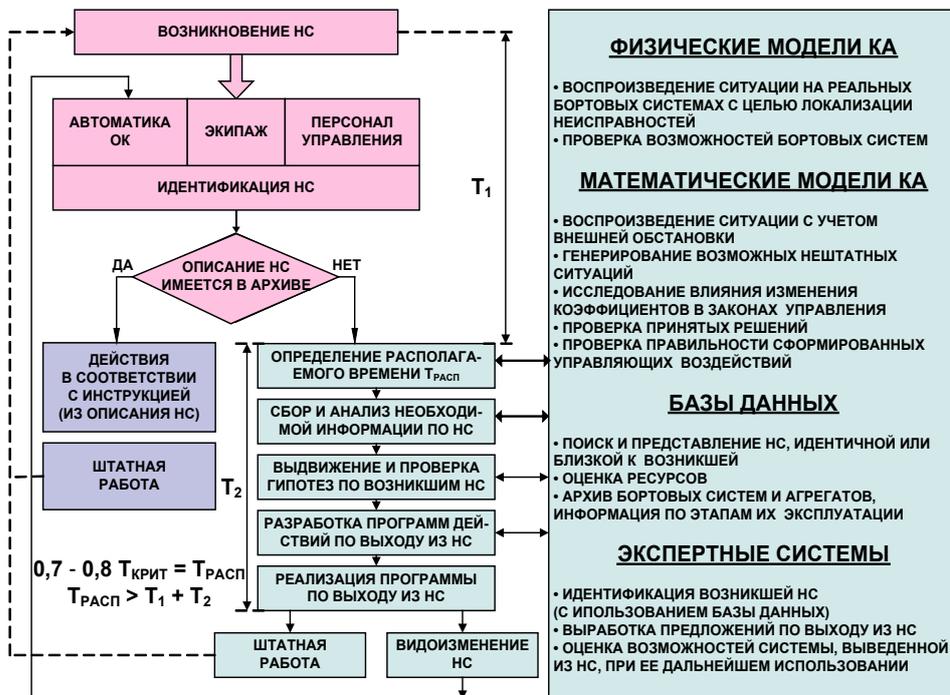


Рис. 17. Общая схема управления полетом при возникновении нештатной ситуации

принимают участие также специалисты и ответственные руководители соответствующих подразделений, участвующих в процессе реализации заданной программы полета. В случае дефицита времени на парирование нештатной ситуации, решение по программе действий подготавливается и принимается самостоятельно персоналом ГОГУ.

Разработанная программа действий в обоих случаях реализуется путем формирования в ГОГУ и передачи на КА необходимой командно-программной информации, при необходимости – с выдачей указаний и рекомендаций экипажу. В конечном итоге в процессе парирования нештатной ситуации могут быть внесены необходимые коррективы в план дальнейшего полета.

Таким образом, контроль полета выполняется экипажем КА, бортовым комплексом автоматического управления (БКАУ) и персоналом ГОГУ. При этом часть информации о значениях параметров поступает к этим звеньям от датчиков системы бортовых измерений, а часть параметров – от телевизионной системы (например, о положении подвижных деталей, крупных деформациях конструкции, состоянии наружной экранно-вакуумной теплоизоляции, относительном движении взаимодействующих КА). Располагаемые ресурсы КА оцениваются с использованием информации от телеметрических датчиков с последующим расчетом. Состав технических и программных средств обработки и отображения ТМИ в общем виде представлен на рис. 18.

Главная задача, решаемая при обработке ТМИ, заключается в следующем: в максимально короткий срок с момента события на борту КА (идеально – в реальном масштабе времени) получить достоверную и существенную информацию о параметрах состояния систем, чтобы путем ее дальнейшего анализа дать оценку состояния и качества работы объекта контроля (каждой системы и КА в целом).

Типовой формат отображения ТМИ представлен на рис. 19. Следует отметить, что объем контроля ТМ-параметров постоянно возрастает (см. рис. 20).

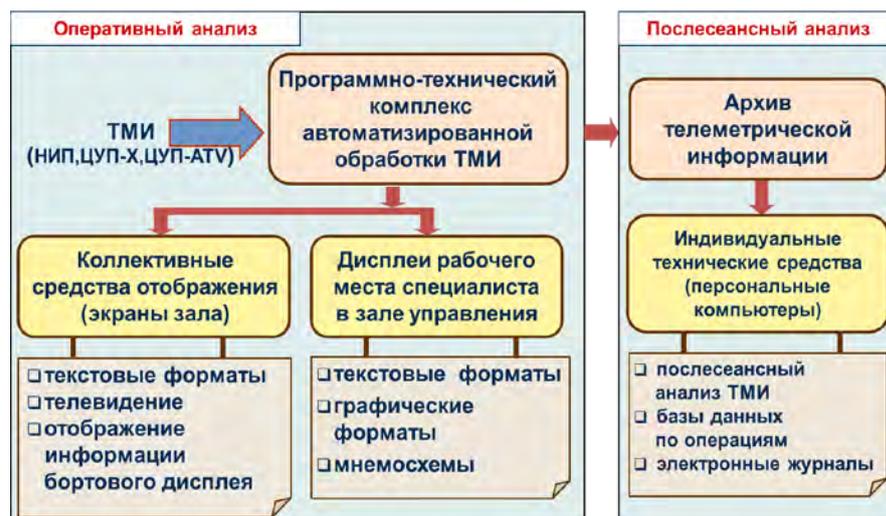


Рис. 18. Состав технических и программных средств обработки и отображения ТМИ

КАДР 40 СМ1		01.07.17.000		01.07.09		ВРЕМЯ2	
БРМЯ1		01.07.17.000		АТМОСФЕРА			
ДРО1	746.222	T278	27.128	SPAZGEPM	НЕТ СИГНАЛА		00.59.54
ДГЖО	750.000	T273	22.344	SPOKAP	НЕТ СИГНАЛА		00.59.54
ДГРК	751.928	T294	22.119	SATMCO			
				SDM	НЕТ СИГНАЛА		00.59.54
ДДИ	758.871			SDKABH	НОРМА		00.59.54
O2	163.090	SEMП	НЕТ ОТКАЗА	SYTE'KA	НОРМА		00.59.54
CO2	2.985	SЭЛ-Н	НЕТ ОТКАЗА	SO2NH	НОРМА		00.59.54
N2O	9.841	SBOЗДУХ	НЕТ ОТКА	SCO2BH	НОРМА		00.59.54
N2	0.047	MMPTCT	00.59.09	BBC			
CO	2.625	%	00.59.09	S0/GKRNL	1-ГОТОВН	S0/GCPC	1-ГОТОВ
		МГ/МЗ	00.59.09				
VS/ПЕРЕХ	НЕТ ПЕРЕХОДА	СЭД		VS/COMPL	НОРМА ПЕРЕХ.ПРОЦ		00.58.59
VS/P.МКС	СТАНДАРТНЫИ		00.58.59	GSH/FGNC	НЕТ АВАРИИ СЭДН		00.59.54
МАСТЕР	US-МАСТ+ЗАПР.ИЗМ		00.59.53	GSA/SENG	НЕТ СООБЩ-НОРМА		00.59.54
РЕК-МАСТ	ДО		00.59.53	GSC/SEN	НЕТ СООБЩ-НОРМА		00.59.54
АКТРЕЖ	ОСК +РАЗВ_ТГ		00.59.47	GSC/THRS	НЕТ СООБЩ-НОРМА		00.59.54
ГСООС	012КВН //В		00.59.47	GSC/MPBR	РАСХОД - НОРМА		00.59.54
ИУС	ГИВУС РР		00.59.53	GDOS	6198.35 КГ		00.59.49
ГОТБИНС	ГОТОВН УХОДОВ		00.59.53	BROT			
ОДУ				СЭП,СОСЕ			
КОЛ-ОДУ РАБОТА Д		ОДУ-СУБА		THS	186.927	РРСБ	ОСН.КАН.
ДШБ1	170.146	ДШБ2	172.572	TCS	7.799	РРП	ОСН.2 4
ДБГ1	21.553	ДБГ2	21.798	CAES	355.088	ТК	ОСН.КАН.
ДВО1	22.047	ДВО2	21.663	S/M-3-AB	0-НЕТ СВР НАГР	ТР	СОВМЕЩ.Р
БИТС				S/ОГР-Н	0-НЕТ ОГРАНИЧ	УПБ2S	4
НВВДСН	НЕТ СООБЩЕНИЯ	ТРЕБПВД	НЕТ ТРЕБ.ПЕР.ПВД		00.58.59	УПБ4S	4
ВЫБОР-А	БП1.ФС1.ЗУ1БСЗУ1		00.59.06	СТР			
ВЫБОР-Б	БП1.ФС1.ЗУ1БСЗУ1		00.59.06	S/OFKOB	НОРМА КО	S/OFKON	НОРМА КО

Рис. 19. Типовой формат отображения ТМИ

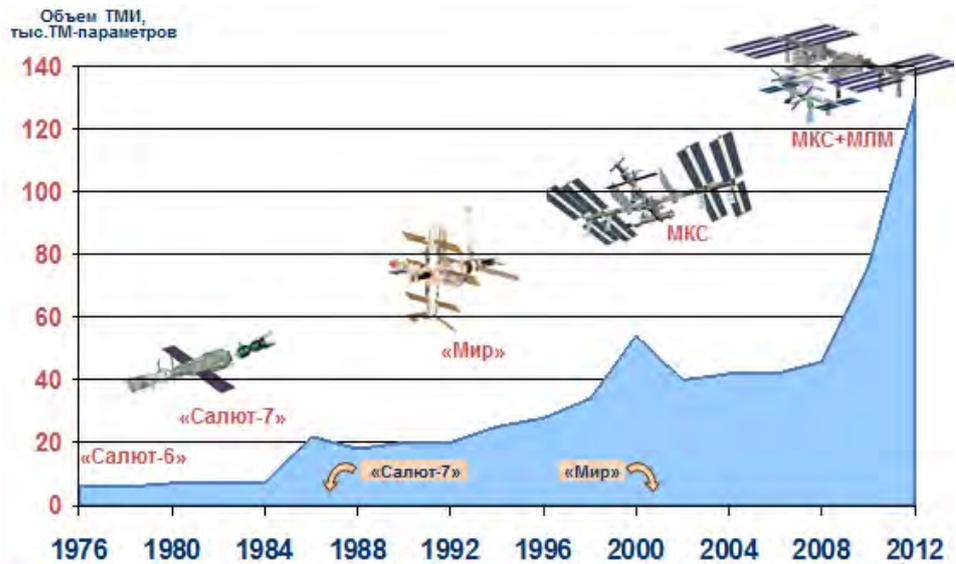


Рис. 20. Объемы контроля ТМ-параметров

В общем случае иерархическая структура форматов отображения ТМИ может быть представлена следующим образом (рис. 21):



Рис. 21. Иерархическая структура форматов отображения ТМИ

Решаемые задачи обработки ТМИ принято разделять на первичные и вторичные.

Первичная обработка (ПВО) заканчивается формированием результатов, содержащих информацию о физических значениях параметров ТМИ, привязанных к шкале времени.

Она включает в себя следующие подзадачи:

- выбор параметров и интервалов обработки ТМИ;
- отбраковку результатов аномальных измерений;
- сокращение избыточности ТМИ с использованием экстраполяторов, интерполяторов и т.д.;
- формирование массивов цифровой информации;
- дешифровку ТМИ (калибровку, тарирование) и привязку измерений к наземной и бортовой шкалам времени;
- визуализацию, документирование, архивацию и передачу по каналам информационного обмена.

Вторичная обработка (ВТО) ставит своей целью выделение смыслового содержания в результатах ПВО, связанного с оценением и идентификацией технического и функционального состояния бортовых подсистем и КА в целом.

К числу основных задач ВТО обычно относят:

- распознавание и идентификацию технических состояний бортовых подсистем (режим подсистемы);
- определение числа состояний определенного типа на контролируемом интервале времени;
- установление порядка следования технических состояний по времени и его соответствия заданной программе включения бортовых средств;
- определение фактических значений обобщенных критериев оценки состояния и их соответствия требуемым значениям;

- выявление подмножеств аномальных технических состояний;
- идентификацию аномальных состояний и причин их возникновения;
- прогноз технических состояний бортовых подсистем;
- визуализацию, документирование и архивацию результатов ВТО.

Процесс обработки ТМИ носит комплексный характер. При этом важную роль играют этапы планирования работ по летной эксплуатации бортовых систем (см. рис. 22).



Рис. 22. Этапы планирования работ по летной эксплуатации бортовых систем

Человеко-машинная система, осуществляющая по результатам обработки ТМИ ее анализ, образует *канал приема – переработки – передачи информации*, используемой ГОГУ для коррекции или продолжения выполнения плана полета.

Анализ телеметрических измерений по времени выполнения относительно реальных событий на борту может быть подразделен на следующие категории:

1. Оперативный анализ, выполняемый в реальном масштабе времени в ходе полета. Результаты его используют непосредственно для управления полетом. Оперативный анализ охватывает большую часть служебной ТМИ и отдельные группы измерений по экспериментальной и научной аппаратуре.

2. Послеполетный анализ, результаты которого используют для дальнейшего совершенствования конструкции, систем и оборудования КА. Послеполетный анализ заключается в более глубоком исследовании служебной ТМИ (например, для уточнения технических характеристик, выявления причин отклонений от нормы в работе систем). Он включает также все измерения по экспериментальной и научной аппаратуре.

В общем случае основные задачи специалиста по эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления представлены на рис. 23 и 24.

При анализе телеметрии возможны несколько способов оценки контролируемых параметров. Наиболее распространенный способ – сравнение получаемых с борта данных с матрицей нормальных состояний (значений), хранящейся в вычислительном комплексе. Более сложный способ – сравнение фактических дан-

ных с нормами, полученными на математической модели КА. Модель должна постоянно корректироваться в соответствии с командами, выдаваемыми на реальный КА, и текущим состоянием его систем.

Специальное математическое обеспечение (СМО) автоматизированного анализа ТМИ строится на основе унифицированных (типовых) алгоритмов. В этом случае для каждой отдельной задачи анализа работы различных бортовых систем в рамках типового алгоритма дополнительно проводится только алгоритмированные нетиповых процедур, которые в программах СМО оформляют в виде расчетных блоков.



Рис. 23. Основные задачи специалиста по эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления



Рис. 24. Общая технология проведения оперативного контроля работы бортовых систем

Моделирование в процессе контроля и анализа работы бортовых систем обобщенно (для примера) может быть представлено следующим образом (см. рис. 25–28):

По завершении космического полета (заданной программы полета) специалисты ГОГУ участвуют в анализе работы систем, выработке рекомендаций по их доработке и совершенствованию, в уточнении планов их дальнейшей эксплуатации. По результатам контроля персоналом ГОГУ выпускаются подробные отчеты: оперативные, ресурсные и статистические (рис. 29).



Рис. 25. Моделирование в процессе контроля и анализа работы бортовых систем

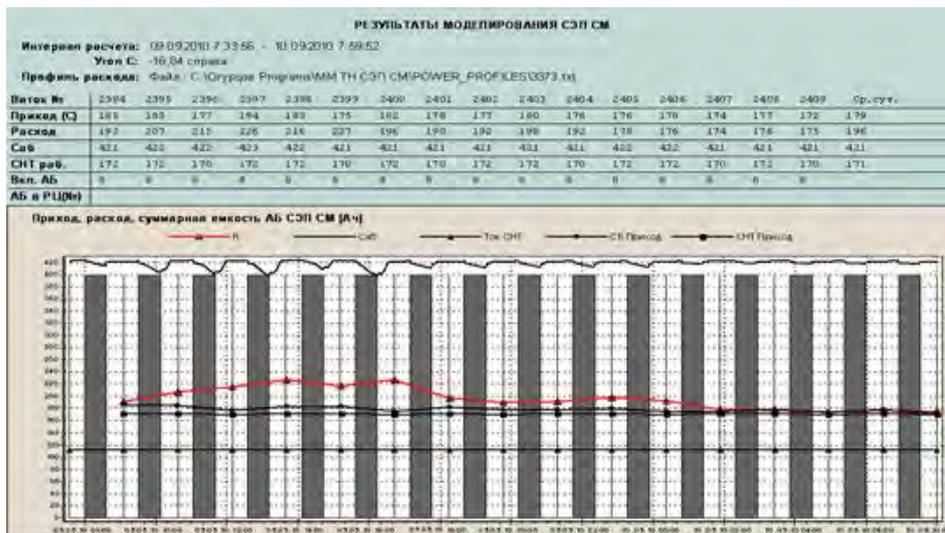


Рис. 26. Моделирование энергобаланса РС МКС

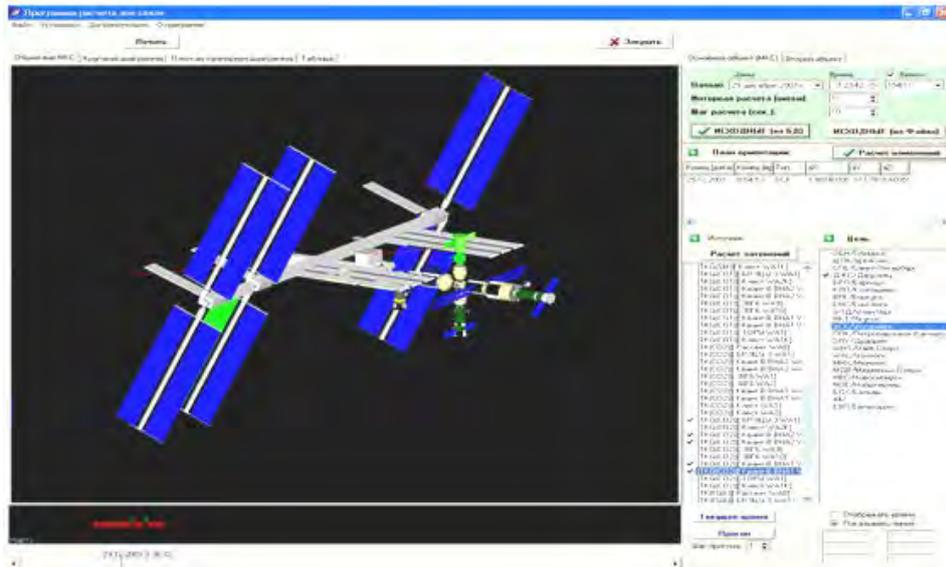


Рис. 27. Моделирование затенений антенн РС МКС

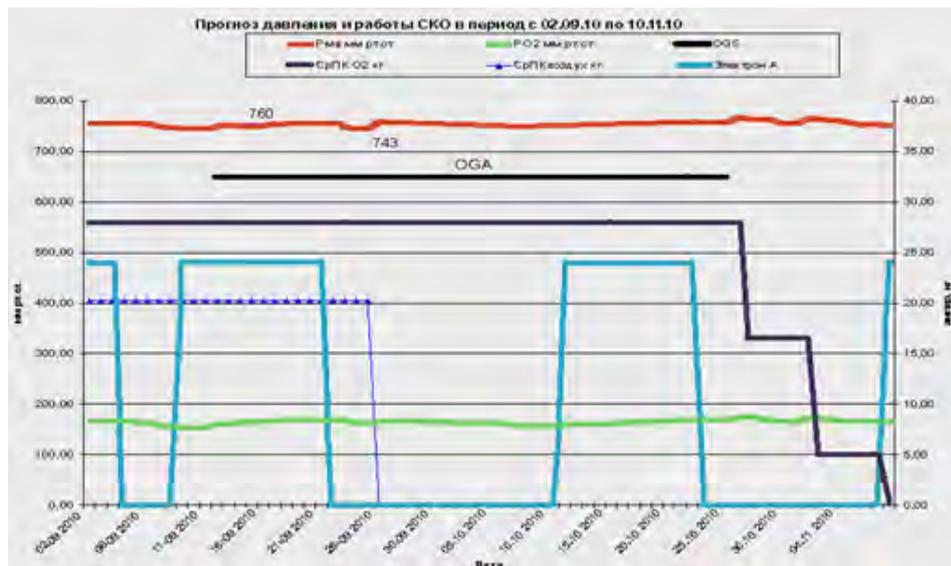


Рис. 28. Моделирование режимов работы средств кислородообеспечения РС МКС

Таким образом, наличие научно-обоснованной системы эксплуатации бортовых систем в оперативном контуре управления космическим полетом способствует повышению эффективности выполнения заданной программы полета с обеспечением необходимой безопасности полета (экипажа).

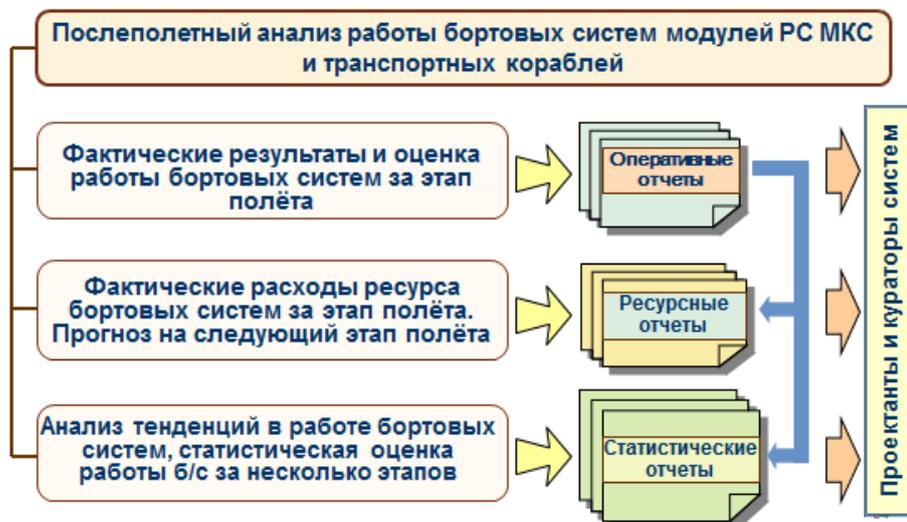


Рис. 29. Отчетные материалы послеполетного анализа работы бортовых систем

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соловьёв В.А. Управление космическими полетами: учеб. пособие: в 2 ч. / В.А. Соловьёв, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский. – Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
- [2] Кравец В.Г. Автоматизированные системы управления космическими полетами. – М.: Машиностроение, 1995.
- [3] Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов кораблей. – М.: Машиностроение, 1995.
- [4] Рабочие материалы научных исследований Благова В.Д., Матюшина М.М., Коваленко А.А., Скурского Ю.А.

ЧЕЛОВЕК НА МКС: ТВОРЧЕСТВО ИЛИ ДЕТЕРМИНИЗМ?

С.К. Крикалёв

Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, летчик-космонавт СССР, канд. психологических наук С.К. Крикалёв (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

На основе опыта обеспечения пилотируемого полета орбитального комплекса «Мир» в 1986–2000 и МКС в 2000–2012 годах, а также кораблей «Спейс Шаттл», выявляются структурные и организационные тенденции в осуществлении и обеспечении пилотируемых полетов в космос. Отмечена тенденция к росту детерминизма полетных операций, приводящего, в частности, к уменьшению гибкости реагирования системы «экипаж–Центр управления полетами» при возникновении нештатных ситуаций. Доказывается необходимость повышения децентрализации процесса управления полетом с передачей части полномочий ЦУПа экипажу МКС. Делается вывод о том, что пилотируемые полеты к Луне и Марсу, связанные с предельно высокой автономностью действий экипажа, будут невозможны без решения этой задачи: творчество и детерминизм должны находиться в разумном равновесии.

Ключевые слова: пилотируемые полеты, детерминизм, Международная космическая станция, Центр управления полетами, нештатные ситуации, автоматические аппараты, информация, автономность действий экипажа.

Man on the ISS: Creativity or Determinism? S.K. Krikalev

The experience of providing operation of MIR orbital complex in 1986–2000 and ISS in 2000–2012 as well as Space Shuttles allowed finding out structural and organizational tendencies in implementation and support of manned spaceflight. There is a tendency to the increase of determinism of flight operations, leading in particular to a decrease in reaction flexibility “crew–Mission Control Center” system in off-nominal situations. The necessity to increase the decentralization of the flight control process and to transfer a portion of responsibilities of MCC to the ISS crew is reasoned here. It is concluded that manned missions to the Moon and Mars, associated with an extremely high autonomy of crew operations would be impossible without solving the following problem: creativity and determinism must be reasonably balanced.

Key words: manned missions, determinism, International Space Station, Mission Control Center, off-nominal situations, unmanned vehicles, information, autonomy of crew operations.

Введение

Двенадцать лет пилотируемого полета Международной космической станции (МКС) – достаточный срок, чтобы на основе накопленного опыта работы экипажей, Центров управления полетами (ЦУП) в Москве и Хьюстоне, групп технических специалистов стран-участниц программы попытаться выявить имеющиеся структурные и организационные тенденции в осуществлении и обеспечении пилотируемых полетов в космос. Получение статистически значимого результата возможно лишь при рассмотрении всего спектра достижений современной пилотируемой космонавтики: результатов пятнадцатилетней эксплуатации орбитального комплекса «Мир», краткосрочных орбитальных полетов кораблей «Спейс Шаттл», работы экипажей семнадцати основных экспедиций на МКС.

Даже предварительный анализ выполнения программы МКС с 2000 по 2012 год дает основание для вывода об увеличении уровня бюрократизации процессов, связанных с обеспечением полета, целевого использования, работы экипажей МКС.

Ниже на примерах летной эксплуатации МКС показана тенденция к росту детерминизма полетных операций, приводящего, в частности, к уменьшению гибкости реагирования системы «экипаж–ЦУП» при возникновении нештатных ситуаций (НшС) в ходе полета. В связи с этим нельзя не отметить, что более свободная и творческая атмосфера в выборе решений экипажем на орбитальном комплексе «Мир» дала возможность с успехом парировать крайне сложные проблемы, возникавшие в полете.

Представляется вполне очевидной необходимость преодоления сползания к почти полному контролю с Земли за действиями экипажа, повышения децентрализации процесса управления полетом с передачей части полномочий по принятию управленческих решений и предоставлением соответствующих технических возможностей экипажу МКС (рис. 1). Пилотируемые полеты к Луне и Марсу, дальнейшее освоение человечеством Солнечной системы, связанные с предельно высокой автономностью действий экипажа, будут невозможны без решения этой задачи.



Рис. 1. Увеличение автономности действий экипажа

Характеристика проблемы

На протяжении многих лет, теперь уже десятилетий, продолжаются дискуссии о преимуществах и недостатках пилотируемой космонавтики по сравнению с беспилотными полетами в космос. Сейчас уже никто не спорит о том, что некоторые (может быть большинство) функции лучше выполняют автоматы. Фотографирование Земли, фотографирование участков небесной сферы в разных диапазонах спектра – все это лучше делают автоматические аппараты. Получение «чистой невесомости» для проведения экспериментов на пилотируемом комплексе затруднительно, так как системы жизнеобеспечения, да и сам экипаж являются «возмущающими» эту невесомость факторами. Спутники связи с самого начала космонавтики были беспилотными аппаратами.

Так зачем же мы посылаем в космос людей? В чем люди лучше автоматов?

Автоматы выполняют свои функции по заранее запланированным программам. И чем проще программа, чем больше в ней повторяемых элементов, тем больше преимуществ имеет автомат. Если программа полета становится более сложной, если алгоритм должен ветвиться для учета различных вариантов, то сложность алгоритма начинает увеличиваться в геометрической прогрессии в зависимости от того, сколько шагов «ветвления» мы собираемся предусмотреть. Если для выполнения функции в космическом полете необходимо предусмотреть большое количество вариантов начальных условий, если необходимо выполнять следующие шаги программы в зависимости от результатов выполнения предыдущих шагов (как это часто бывает при испытаниях новой техники или при выполнении новых космических экспериментов), то здесь без человека не обойтись.

Из этого следует вывод, что человек лучше автомата работает только в трудно предсказуемых условиях.

Впервые необходимость детерминировать принятие решений человеком обратила на себя внимание российских космонавтов во время их подготовки к полетам по программе «МИР–Шаттл». Планируя совместную деятельность с коллегами из NASA, мы столкнулись с огромным количеством так называемых «правил полета», пришедших из программы «Спейс Шаттл». Во время кратковременного полета челночного корабля для каждой предусмотренной ситуации описывалась необходимая последовательность действий экипажа. В зависимости от результатов этих действий предписывались последующие действия и т.д. И так во многих ситуациях, на несколько шагов «вглубь». Все это было понятно и логично. По замыслу разработчиков в условиях дефицита времени эти правила должны были облегчить принятие решений в полете. Однако сразу же возник вопрос – а как же мы выполняли наши многочисленные долговременные полеты, не имея таких правил, и при этом добивались решения тех задач, которые ставились перед экипажем программой полета?

На самом деле, подобные «правила», разумеется, существовали и в российской практике пилотируемых полетов, они только назывались по-другому и были проработаны на меньшую «глубину». Для длительных полетов у нас просто не было возможности детально проработать все возможные операции на несколько шагов вперед. Поэтому существовал сравнительно небольшой список нештатных ситуаций, действия в которых жестко детерминировались, а действия на следующих шагах должны были определяться экипажем на основании имеющихся знаний, навыков и накопленного опыта в реальном масштабе времени. И это всегда «работало».

Оба описанных подхода имеют свои положительные и отрицательные стороны. Отрицательной стороной российского варианта можно считать высокие требования к уровню подготовки и квалификации персонала, ответственного за принятие решений (будь то персонал ЦУПа или экипаж космического корабля). Эти требования становятся особенно жесткими в условиях дефицита времени при парировании НшС. Положительной стороной подобного подхода является увеличение гибкости системы в целом, поскольку хорошо подготовленный оператор может принимать адекватные решения даже в самой сложной ситуации. А для длительного полета это становится жизненно важным.

Остается лишь сделать следующий вывод: более высокая степень детерминированности действий экипажа представляется оправданной лишь для кратковременных полетов или при выполнении каких-либо уникальных или жизненно важных операций (рис. 2).



Рис. 2. Высокая степень детерминированности действий экипажа представляется оправданной лишь для кратковременных полетов

Увеличение детализации описания действий экипажа различными инструкциями и радиограммами напоминает программирование компьютера. Согласившись, что заранее предписанные действия компьютер выполняет лучше человека, а человек имеет преимущества перед компьютером в отношении гибкости действий, мы тут же, в реальной практике осуществления космического полета, начинаем уничтожать это преимущество, жестко регламентируя действия экипажа.

В этой связи проблема правильного информационного обеспечения экипажа становится ключевой. Можно допустить, что на этапе создания и испытания систем космического корабля, прежде чем жестко запрограммировать последовательность действий с помощью компьютера, мы создаем версию этой логики и просим космонавта-испытателя по шагам «вручную» пройти эту последовательность. Однако:

1) такой подход допустим только на время испытаний; во всех эксплуатационных режимах функционирования пилотируемого комплекса или какой-либо его системы необходима максимальная автоматизация всех связанных с этим процессов. Но, к сожалению, на практике мы видим, что компьютероподобный алгоритм «попадает» в инструкции экипажа и «живет» там годами;

2) усложнение компьютерных алгоритмов, увеличение их объемов и сложности ветвления идет в ногу с развитием компьютерной техники. Увеличиваются объемы памяти компьютеров, увеличивается быстродействие процессоров и т.д. Однако, сколько-нибудь эффективных методов «апгрейда» человеческой памяти или увеличения быстродействия мыслительных процессов в человеческом мозге пока не найдено (речь идет, безусловно, о нормальных индивидуумах без экстраординарных способностей). Количество предоставляемой космонавту информации уже превышает человеческие возможности по ее оперативной обработке.



Рис. 3. Увеличение объемов загружаемой в члена экипажа информации приводит к усложнению поиска нужного ответа

Это можно проиллюстрировать на примере бортовых инструкций, требующих выполнения действий в ограниченное время (таких как инструкции по срочному покиданию (emergency)). Попытки **все и подробно** описать приводят к тому, что время на чтение превышает время на выполнение операций (действия в течение первых пяти минут после аварии описываются на 3–4 листах).

Дальнейшее увеличение объемов загружаемой в члена экипажа информации будет приводить к усложнению поиска нужного ответа (действия), и, как результат, к пропуску блоков существенной информации (рис. 3). Попытки исправить это (1) увеличением тренировочной нагрузки – тупиковый путь, поскольку бездумное увеличение объемов информации, с которой должен справиться экипаж, каждый раз быстро превышает любое увеличение степени тренированности и адекватности реагирования, приобретаемое космонавтами в результате тренировок любой мыслимой интенсивности.

Другой внедряемый в настоящее время способ помочь человеку-космонавту справиться с большим объемом информации, получаемой во время полета, связан (2) с увеличением детализации описания его возможных действий. Он тоже является тупиковым, так как не приводит к решению поставленной задачи, но имеет результатом «роботизацию» человека и, как следствие, потерю его преимуществ (как мыслящего существа) перед автоматом.

В подтверждение вышесказанного можно привести следующие примеры из практики осуществленных космических полетов.

(1) Полет корабля «Союз Т-13» к вышедшей из строя орбитальной станции (ОС) «Салют-7» (В. Джанибеков, В. Савиных).

Инструкция предписывала переход на ручное управление при сближении с некооперируемым объектом на дальности менее 400 м. Оперативно была разработана методика для ручного управления сближением с дальности до 5000 м.

«Правила полета» предписывали отказ от стыковки со станцией при отсутствии признаков работы системы ориентации солнечных батарей (СОСБ). СОСБ не работала, но экипажем было принято решение о стыковке.

«Правила полета» предписывали покинуть станцию после стыковки при температуре воздуха внутри нее ниже +5 °С. Температура была ниже нуля. Однако экипажем было принято решение продолжить работу.

«Правила полета» предписывали отказаться от восстановления станции при отказе системы заряда аккумуляторных батарей (АБ). Система не работала, напряжение на шинах питания было нулевым. В ходе полета с помощью экипажа была разработана методика прямого подключения выходов солнечных батарей (СБ) к АБ в обход автоматики, что позволило активировать систему электропитания станции.

(2) Четвертая основная экспедиция на орбитальном комплексе (ОК) «Мир».

При разворачивании конструкции «ЭРА» на внешней поверхности комплекса при ВнеКД после выдачи команды на раскрытие конструкция не развернулась. В этом случае «правилами» предписывалось отстрелить конструкцию. Экипаж (А. Волков, Ж.-Л. Кретьен) вышли из укрытия и обнаружили, что механизм расчехлялся, но она остается в закрытом положении только за счет сил трения в шарнирах. Применяв не планировавшуюся заранее и не отработывавшуюся во время тренировок тряску, экипаж раскрыл конструкцию, и с ней был проведен полный цикл исследований.

(3) Столкновение с ОК «Мир» грузового корабля «Прогресс М39». 23-я основная экспедиция на ОК «Мир».

После столкновения со станцией и разгерметизации модуля «Спектр», экипаж (В. Циблиев, А. Лазуткин, М. Фозл) не действовал по инструкции, предполагавшей выполнение операций по аварийному закрытию люков, исходя из незнания места разгерметизации. Руководствуясь косвенными признаками и интуицией, экипаж локализовал место утечки воздуха и закрыл люк в разгерметизированный модуль. Действия выполнялись в соответствии «с духом, а не буквой» инструкции и обеспечили спасение остальной части станции от разгерметизации.

(4) Первая экспедиция на МКС (А. Шеперд, Ю. Гидзенко, С. Крикалёв).

При стыковке грузового корабля «Прогресс М1-4» (2Р) к функционально-грузовому блоку (ФГБ) «Заря» система «Курс» работала в нештатном режиме. Одновременно работали комплекты системы «Курс», установленные на служебном модуле, ФГБ и грузовом корабле. При переводе управления кораблем с одного станционного комплекта «Курса» на другой на дальности около 150 м, «Прогресс» начал автоколебания с увеличивающейся амплитудой. Согласно инструкции экипаж (Ю. Гидзенко, С. Крикалёв) перешел на ручное управление «Прогрессом» в телеоператорном режиме (ЦУП-М выдал положенную рекомендацию о переходе на ручной режим лишь после того, как этот переход был реально осуществлен.) Однако замутнение стекла телекамеры на грузовом корабле привело к невозможности стыковки (на станции невозможно было получить телевизионную картинку стыковочного агрегата и мишени). По инструкции в этой ситуации экипаж должен был увести корабль на безопасное расстояние и, вероятнее всего, потерять его вместе со всем его содержимым.

Однако, наблюдая за «Прогрессом» из иллюминатора и проводя измерения дальности и скорости его сближения с МКС резервным методом, экипажу удалось перевести корабль в режим зависания в ближней окрестности станции. С помощью имевшихся на борту оптических средств удалось определить, что замутнение

стекла, по всей видимости, связано с выпадением конденсата на защитном стекле телекамеры. Был подготовлен вариант нештатного разворота корабля в сторону солнца для прогрева стекла, но отраженного от корпуса станции тепла оказалось достаточно для улучшения его прозрачности, получения приемлемой телевизионной картинки и обеспечения ручной стыковки.

В отношении МКС хотелось бы отметить, что она, прежде всего, является платформой для отработки новой аппаратуры, новых технологий, необходимых как для земной науки и техники, так и для движения человечества в космос, для освоения Солнечной системы. Находясь вдали от Земли, экипаж должен самостоятельно принимать важнейшие управленческие решения. Для этого экипажи необходимо готовить, а, следовательно, требованием времени является частичная децентрализация существующей схемы принятия решений по управлению пилотируемым комплексом. Важна даже готовность менеджмента и персонала управления к движению в этом направлении, затем – передача части полномочий ЦУПа экипажу, например, при выполнении сближения и стыковки, а также перестыковки кораблей к МКС. Необходимо формирование (или восстановление) доверия к экипажу, как к одному из основных звеньев в цепи принятия управленческих решений. В значительной степени этот подход реализовывался в процессе управления полетом станции «Мир».

В качестве примера можно рассмотреть нерасчетную НшС ОК «Мир» 19–20 февраля 1997 года, связанную с последовательным отказом магнитных подвесов гироскопов в условиях отсутствия сеансов связи. Управление ориентацией осуществлялось на гироскопах. По окончании рабочего дня ЦУП сообщил экипажу, что отключены шесть из двенадцати гироскопов, расположенные в модуле «Квант-2», и что специалисты по системе управления движением (СУД) допускают систему к работе до утра на оставшихся шести гироскопах. Очередной сеанс связи через спутник-ретранслятор (СР) был запланирован на вторую половину ночи. Однако уже перед сном последовательно начали отказывать элементы магнитных подвесов оставшихся в работе гироскопов, что могло привести к «аварии СУД» при уменьшении числа исправных гироскопов меньше четырех с выключением системы и потерей ориентации станции. Последствием были бы проблемы с электропитанием борта, невозможность связи через СР, что привело бы к срыву выполнения совместной российско-германской программы «МИР-97». Развитие ситуации могло угрожать безопасности совместного экипажа 22-й и 23-й основных экспедиций (В. Корзун, А. Калери, Дж. Блаха, В. Циблиев, А. Лазуткин, Дж. Линенджер), находившихся на борту станции. Ситуация усугубилась потерей ориентации станции из-за невыполнения разворота с помощью такой «маломощной» системы исполнительных органов. Произошло снижение уровня заряда аккумуляторных батарей, и ситуация начала приобретать угрожающий характер. Экипаж, имея возможность доступными ему управляющими воздействиями сменить режим ориентации, оставил станцию в наиболее выгодной, с точки зрения подзарядки аккумуляторных батарей, ориентации на Солнце до передачи управления ЦУПу в ближайшем сеансе связи. ЦУП достаточно быстро ликвидировал последствия этой НшС, и экипажи продолжили выполнение программы полета. На МКС экипаж лишен возможности самостоятельной выдачи подобных управляющих воздействий.

Последняя, 28-я основная экспедиция на ОК «Мир» (С. Залетин, А. Калери) – пример очень большой самостоятельности экипажа в принятии решений. Без этого полет, скорее всего, пришлось бы завершить досрочно. Экипажу пришлось

творчески преодолевать большие трудности в реальном масштабе времени при выполнении расконсервации ряда станционных систем (АСУ, СРВК, БКВ-3), первоочередного ремонта жизненно важных узлов и агрегатов (сепарация контуров системы обеспечения теплового режима). Место утечки воздуха из станции, кстати, также было найдено экипажем самостоятельно до начала плановых операций по поиску негерметичного отсека. На МКС (экспедиция МКС-8: М. Фозл, А. Калери) также место утечки воздуха во внешнюю среду было найдено экипажем, правда, уже в процессе поиска негерметичных систем и оборудования.

Методы решения проблемы

1. Отношение к действиям в НшС (к операциям по выходу из НшС) должно формироваться как к «обычным» операциям. Это должно рассматриваться как важный навык оператора. Можно провести аналогию с шахматами (игра гроссмейстера) – просчет вариантов возникновения НшС. Летчик-испытатель должен легко переключаться с одной задачи на другую. Он летает на разных типах самолетов, а потому **универсализация его навыков** необходима. То же – для космонавта.

2. Необходимо уменьшение номенклатуры и объема документации, в том числе бортовой, которая используется при **эксплуатации** КА. Исключением может быть лишь документация, используемая при **испытаниях** системы (корабля).

3. В космическом полете необходимо стремиться к **оптимизации операций** члена экипажа. Как правило, это творческий процесс, во многом интуитивный, индивидуальный, связанный со свободой выбора. С другой стороны, поиск оптимального решения (единственно верного!?) может рассматриваться как процесс приближения к детерминированному решению.

4. **Тренированность экипажа** для выполнения целевой задачи – необходимое, но недостаточное условие ее решения. Достаточное – интуиция, основанная на накопленном опыте, специальных знаниях, общеинженерной подготовке, а также ментальная устойчивость в стрессовых ситуациях. Тренированность можно рассматривать как знание и «чувствование» системы, основанное на этом знании. Креативность для космонавта – способность к проведению адекватного анализа действий в нештатной ситуации и к нахождению оптимального пути выхода из нее.

Заключение

Пилотируемые полеты повышенной технической сложности на околоземной орбите, а также полеты к Луне, Марсу, астероидам связаны с высокой степенью автономности работы экипажа. В связи с этим необходима его более глубокая и многопрофильная подготовка к выполнению поставленной задачи (подготовка на уровне навыков, а не на уровне операций).

С увеличением сложности решаемых в космосе задач участие человека в этом процессе становится все более значимым. Это участие, как показывает практика, оказывается в ряде случаев более эффективным по сравнению с использованием автоматических кораблей как с операционной, так и с экономической точек зрения. Подтверждением тому может быть полет корабля Atlantis (полет STS-125) для проведения ремонта Hubble Space Telescope: NASA было вынуждено отказаться от применения для этой цели роботизированных космических средств и отдать предпочтение пилотируемому полету.

Уменьшение вероятности возникновения ошибок в работе экипажа должно быть связано не с увеличением числа инструкций или их детализации, а совер-

шенствованием интерфейсов «человек–машина». Необходимость большого числа инструкций больше говорит о проектных недочетах, допущенных при создании аппаратуры, чем о неспособности экипажа усвоить за короткое время содержащуюся в них информацию.

Если действия по управлению кораблем могут быть формализованы, то они должны быть отданы для исполнения машине. Это из года в год во все более значительной степени внедряется в практику пилотируемой космонавтики. Но за человеком-оператором должно **неизменно** оставаться право определять, когда ими следует пользоваться в «машинном исполнении», а когда брать контроль за выполнением ответственных операций на себя.

Можно определенно утверждать, что тенденция к усилению детерминизма при выполнении полетных операций снижает как эффективность управления, так и эффективность целевого использования космического аппарата, фактически затрудняя пилотируемой космонавтике дорогу от Земли к Луне, Марсу и далее. Творчество и детерминизм должны находиться в разумном равновесии.

**АДАПТИВНО-КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД
К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ
В ИНТЕРЕСАХ ГАРАНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЗАДАННОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ
И НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ**

И.Г. Сохин

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

В статье рассматривается проблема гарантированного обеспечения требований по безопасности и надежности космических полетов с учетом состояний подготовленности космонавтов. Предложен один из перспективных подходов к управлению качеством подготовки космонавтов к деятельности в нештатных ситуациях космического полета, основанный на использовании математических оптимизационных моделей компетентности космонавтов. Данный подход позволяет получать статистические показатели качества деятельности и качества компетентности экипажей пилотируемых космических объектов (ПКО) и управлять ими.

Ключевые слова: нештатная ситуация, безопасность, надежность, космический полет, качество деятельности, качество компетентности, качество подготовки, АМК-метод.

**Competence-Based Approach to the Problem of Quality Management of
Cosmonaut Training for Ensuring Safety and Reliability of Spaceflight.**

I.G. Sokhin

The report addresses the problem of guaranteed meeting of the requirements for safety and reliability of space missions taking into account the level of cosmonaut preparedness to flight. To solve this problem the report suggests one of the promising approaches to the quality management of cosmonaut training for work in off-nominal situations in space on the basis of the math optimization module of a cosmonaut's competence. This approach allows getting statistical quality factors of activity and competence of manned space vehicle crews and controlling them.

Key words: off-nominal situations, safety, reliability, space mission, quality of activity, quality of competence, quality of training, CAM-method.

Проблема обеспечения безопасности и надежности пилотируемых космических полетов (ОБНКП) продолжает оставаться одной из наиболее актуальных и, вместе с тем, трудноразрешимых проблем использования авиационно-космической техники и снижения рисков чрезвычайных происшествий. Решение этой комплексной проблемы является одним из основных стратегических направлений деятельности отечественной ракетно-космической отрасли, впрочем, как и мировой в целом.

С помощью комплекса предупреждающих мероприятий (главным образом, технического характера), проводимых на всех стадиях жизненного цикла пилотируемых космических комплексов (ПКК), обеспечивается достижение приемлемого риска возникновения и неблагоприятного развития нештатных ситуаций. Безопасность космических полетов определяется множеством факторов, таких как надежность пилотируемых космических объектов и его бортовых систем, эргономичность космической техники, организация управления полетом и т.д. Большая роль в обеспечении безопасности космических полетов принадлежит экипажу пилотируемого космического объекта (ПКО), на который возложены функции контроля состояния ПКО, обнаружения и идентификации нештатных ситуаций,

осуществления необходимого резервирования бортовой автоматики либо выполнение мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций или уменьшению их последствий в случае возникновения. Нештатные ситуации космического полета, с точки зрения деятельности экипажа ПКО, характеризуются широким разнообразием условий проявления и способов парирования, неопределенностью информации, необходимостью принятия альтернативных решений и т.п.

Для эффективного решения комплексной проблемы ОБНПК в ближайшей и долгосрочной перспективе Федеральным космическим агентством РФ ставятся задачи:

- внедрение новых методов оценки и подтверждение надежности и безопасности космических полетов на основе управления рисками;
- полный переход на автоматизированные системы безбумажного проектирования ПКК на основе ИПИ-технологий;
- внедрение усовершенствованных методов и средств наземной экспериментальной отработки ПКК на основе математического моделирования с целью достижения и подтверждения требуемого уровня их надежности и безопасности, обеспечивающего успешные пуски с первых образцов;
- разработка и внедрение средств поддержания требуемого уровня безопасности и надежности ПКК при выполнении целевых задач в полете.

Данные задачи должны распространяться не только на объекты ракетно-космической техники, но и на экипаж ПКО, поскольку качество подготовленности космонавтов к деятельности по предотвращению развития нештатных ситуаций (НшС) космического полета в чрезвычайные происшествия, по сути, является одной из составляющих программы обеспечения безопасности и надежности ПКК. Поэтому качество подготовленности экипажей ПКО должно быть измеримо и контролируемо. Причем не только в процессе подготовки экипажа к космическому полету, но и на других стадиях жизненного цикла ПКК. Для гарантированного обеспечения заданного уровня безопасности и надежности пилотируемых космических полетов, процессы подготовки экипажа ПКО должны быть прозрачными (наблюдаемыми) и управляемыми на всех этапах жизненного цикла. Для своевременного принятия и реализации управленческих решений должны использоваться математические модели деятельности экипажей ПКО в нештатных ситуациях космического полета, основанные на состояниях их подготовленности. Подобные модели позволили бы оценивать надежность и безопасность космического полета с учетом прогнозируемой деятельности экипажей ПКО и, как следствие, задавать обоснованные требования к состояниям подготовленности космонавтов и управлять этими состояниями в ходе наземной подготовки к полету.

Однако, в настоящее время проблема гарантированного обеспечения требуемого состояния подготовленности экипажа к ОБНПК, удовлетворяющего проектным требованиям к безопасности и надежности космических полетов, не нашла своего решения. Современная научно-методическая база (НМБ) подготовки космонавтов не обеспечивает возможности получения в ходе наземной подготовки на тренажерах статистических оценок вероятности безошибочного парирования экипажами ПКО множества всех расчетных нештатных ситуаций. Это объективно обусловлено следующими особенностями процесса подготовки космонавтов к ОБНПК.

Требования к качеству подготовки экипажа ПКО задаются, исходя из общих требований к надежности и безопасности пилотируемого космического полета, без учета возможности их достижения в процессе наземной подготовки.

В качестве общих показателей ОБНКП используются, соответственно, вероятности выполнения программы полета и обеспечения безопасности:

$$P_{\text{прогр}} = \prod_{i=1}^n (1 - Q_i Q_i^{\text{парир}}), \quad (1)$$

$$P_{\text{безопасн}} = \prod_{j=1}^k (1 - Q_j Q_j^{\text{парир}}), \quad (2)$$

где n – количество НшС, которые могут привести к невыполнению программы полета;

k – количество НшС, которые могут привести к невозможности спасения экипажа;

Q_i – вероятность возникновения i -й НшС, которая может привести к невыполнению программы полета в случае неудачи при ее парировании;

$Q_i^{\text{парир}}$ – вероятность неудачи при принятии корректирующих мер по парированию i -й НшС;

Q_j – вероятность возникновения j -й НшС, которая может привести к невозможности спасения экипажа в случае неудачи при ее парировании;

$Q_j^{\text{парир}}$ – вероятность неудачи при принятии корректирующих мер по парированию j -й НшС.

Обычно задаются следующие проектные требования к ОБНКП: $P_{\text{прогр}} > 0,95$ и $P_{\text{безопасн}} > 0,995$.

Следует отметить, что в приведенных формулах (1) и (2) вероятности возникновения НшС Q_i , Q_j по определению являются функциями от расчетных отказов ПКО, а также от нерасчетных внешних воздействий, в том числе и ошибочных действий экипажа при выполнении полетных операций. Вероятности парирования НшС $Q_i^{\text{парир}}$, $Q_j^{\text{парир}}$ характеризуются качеством функционирования автоматики бортовых средств управления, качеством функционирования наземного контура управления и качеством деятельности экипажа. Однако, при создании ПКК для подтверждения проектных требований по ОБНКП рассчитываются соответствующие вероятности только для технических составляющих. Требования к качеству деятельности экипажа (включая действия в НшС) задаются в виде вероятностей его безошибочной деятельности для выполнения программы полета и обеспечения безопасности:

1) экипаж не должен допускать единичных ошибок, приводящих к невыполнению программы полета или/и катастрофическим последствиям ($P > 0,95$);

2) при возникновении цепи взаимозависимых НшС (двух или более НшС, приводящих к невозможности выполнения программы полета), экипаж должен уметь обеспечить, как минимум, безопасность ($P > 0,995$).

Таким образом, для обеспечения гарантированной безопасности и надежности космических полетов экипаж ПКО должен быть способен безошибочно (с заданной вероятностью) действовать во всех полетных операциях и всевозможных комбинациях расчетных нештатных (и аварийных) ситуаций, предусмотренных программой космического полета.

На основании проектных требований к качеству деятельности экипажа ПКО сформулированы следующие методические требования к *качеству подготовленности экипажа* ПКО:

1) экипаж должен быть способен (подготовлен) безошибочно с вероятностью не ниже 0,95 выполнять все предусмотренные программой полета штатные и резервные операции;

2) экипаж должен быть способен (подготовлен) безошибочно с вероятностью не ниже 0,95 парировать все расчетные НшС;

3) экипаж должен быть способен (подготовлен) безошибочно с вероятностью не ниже 0,95 парировать все расчетные аварийные ситуации (АвС), если это объективно возможно;

4) экипаж должен быть способен (подготовлен) безошибочно с вероятностью не ниже 0,995 обеспечить безопасность (спасение экипажа или ПКО) в случае, если по объективным причинам парировать нерасчетную АвС (обусловленную взаимодействием нескольких НшС) не представляется возможным.

Данные требования к качеству подготовленности экипажа ПКО содержат высокую неопределенность, и поэтому труднореализуемы на практике. Неопределенность требований обусловлена широким разнообразием и высокой сложностью задач и функций, выполняемых экипажами ПКО в условиях космического полета, множеством полетных операций и НшС, которые должны реализовываться на борту ПКО. Наибольшую трудность традиционно представляет подготовка космонавтов к деятельности в нештатных ситуациях. Несмотря на большое количество штатных и резервных полетных операций, выполняемых экипажами современных ПКО, большую часть подготовки космонавтов составляет их деятельность в НшС. Это объективно обусловлено неопределенностью возникновения и развития НшС. Во-первых, априори неизвестен момент возникновения НшС. Во-вторых, одна и та же НшС может характеризоваться различными значениями своих параметров, от которых зависит принятие решения о ее парировании. Например, в зависимости от резерва времени до момента достижения предельно допустимого значения параметра НшС могут приниматься различные решения разных уровней управления – от продолжения выполнения элемента штатной программы полета до прекращения полета и выполнения срочного спуска. В-третьих, существует эффект интерференции нештатных ситуаций, когда наложение двух и более рассмотренных НшС приводит к возникновению новой нерассмотренной НшС, способ парирования которой априори неизвестен. Таким образом, множество возможных реализаций даже рассмотренных НшС, которые могут встретиться экипажу ПКО в космическом полете, практически является неограниченным. Естественно, что многократная отработка в ходе подготовки к полету всех рассмотренных НшС в однородных условиях не представляется возможным. Методы теории вероятности и математической статистики здесь неприменимы и, соответственно, невозможно получить достоверные оценки вероятности безошибочной деятельности экипажа при парировании НшС. Поэтому сформулированные выше количественные требования к качеству подготовленности экипажа ПКО по действиям в НшС на практике оказываются нереализуемыми вследствие невозможности получения достоверных статистических показателей качества деятельности экипажа.

В настоящее время подготовка экипажей ПКО осуществляется по типовым программам, оптимально сбалансированным для некоторого усредненного экипажа. Поэтому существующая система управления подготовкой представляет собой динамическую систему с ограниченной обратной связью по текущему состоя-

нию подготовленности космонавтов, относящейся к классу моделей «вход–выход». Подобные модели динамических систем характеризуют только внешнее поведение системы и описываются следующим кортежем [1]:

$$\Sigma^1 = \langle T, U, Y, \Omega_c, \Gamma \rangle, \quad (3)$$

где T – упорядоченное множество моментов времени; U – множество значений входных величин; Y – множество значений выходных величин; Ω_c – пространство функций $u(t)$, описывающих допустимые входные воздействия; Γ – пространство функций $y(t)$, описывающих изменение по времени выходных величин.

Закон управления в этой системе задан априорно программой изменения входных тренировочных заданий из множества всех тренировочных заданий программы подготовки, которое является подмножеством полного множества всех возможных полетных операций и нештатных ситуаций.

Выходными управляемыми переменными системы подготовки является множество Y результатов выполнения экипажем тренировочных заданий, которое инструктором сравнивается с множеством $Y_{\text{треб}}$, задающим нормативные требования к способу и результату выполнения полетных операций. В данной модели вектор отклонений результатов деятельности экипажа ПКО от требуемых $\Delta Y(t_i) = Y(t_i) - Y_{\text{треб}}(t_i)$, фактически характеризующий качество деятельности экипажа ПКО при выполнении тренировочных заданий $\forall u(t_i) \in U_{\text{прогр}}$ (операций, нештатных ситуаций) i -й тренировки, рассматривается как критерий оценки текущего состояния подготовленности космонавтов, но в управлении подготовкой напрямую не используется. На очередной $(i+1)$ -й тренировке тренировочные задания $u(t_{i+1})$ выбираются в соответствии с типовой программой подготовки, независимо от результатов деятельности экипажа $\Delta Y(t_i)$ на предыдущих тренировках. Типовая программа тренировочных заданий $U_{\text{прогр}}(t)$, составленная на основании статистического обобщения опыта подготовки многих экипажей ПКО, предусматривает заданную последовательность отработки штатных и резервных полетных операций программы полета и необходимое количество их повторений для обеспечения требуемого качества подготовленности некоторого усредненного экипажа. Таким образом, существующие программы подготовки экипажей ПКО на тренажерах оптимизированы по составу представительной выборки полетных операций $\Omega_{\text{ис}}$ программы полета и количеству их повторений. Иначе обстоит дело с выбором нештатных ситуаций. Нештатные ситуации на тренировку выбираются инструктором произвольно из стандартного перечня расчетных НшС. При ограничениях на количество тренировок программы подготовки экипажа не представляется возможным отработать на тренажере все расчетные НшС перечня и, тем более, различные их комбинации. В результате выборка нештатных ситуаций, которые предъявляются экипажу на тренировках, может оказаться недостаточной для статистической оценки состояния подготовленности экипажа. Поэтому не представляется возможным гарантировать способность экипажей ПКО надежно и безошибочно действовать в любых расчетных нештатных ситуациях. Тем самым не обеспечиваются проектные требования по ОБН КП в отношении экипажа ПКО.

Анализ существующей технологии подготовки космонавтов позволил сделать вывод о том, что высокая сложность деятельности экипажей ПКО в НшС, связанная с экспоненциальным ростом количества обрабатываемой ими информации, в настоящее время не обеспечивается эффективными методами управления качеством подготовки космонавтов в условиях ограничений на сроки и объе-

мы их подготовки. Это обусловлено, по мнению автора, следующими основными противоречиями современной научно-методической базы подготовки космонавтов к ОБНКП, препятствующими гарантированному обеспечению требуемого уровня безопасности и надежности космических полетов.

1. Показатели качества подготовленности космонавта необоснованно отождествляются с понятием качества его деятельности, в результате чего управляемый параметр в системе подготовки космонавтов оказывается нечувствительным к сложности выполняемых работ.

2. Отсутствует возможность статистической оценки состояний подготовленности космонавтов, в частности, определения вероятности безошибочного парирования нештатных ситуаций.

3. Современная НМБ не располагает аппаратом целенаправленного адаптивного выбора НшС в зависимости от текущего состояния подготовленности экипажа, в результате чего существует риск выбора нерационального закона управления его подготовкой.

4. Произвольная репрезентативная выборка НшС, моделируемых на тренажерах, не обеспечивает достоверность оценок состояний подготовленности космонавтов.

5. Современная НМБ ОБНКП не учитывает нелинейный характер деятельности экипажа в НшС и поэтому не способна определить индивидуальное пороговое значение сложности деятельности, за которым качество деятельности экипажа становится неустойчивым.

6. В теоретических и экспериментальных исследованиях недостаточно разработаны информационные аспекты оценивания внутренних функциональных состояний человека-оператора, связанные с приемом, обработкой информации и принятием решений космонавтом в НшС. В существующей НМБ ОБНКП НшС слабо структурированы с точки зрения их воздействия на деятельность экипажа ПКО, отсутствуют методы количественного измерения интенсивности информационного воздействия НшС на экипаж.

Результаты анализа показывают, что антагонистические противоречия существующей НМБ ОБНКП неразрешимы в рамках существующей парадигмы формирования и реализации программ подготовки космонавтов на тренажерах. Это не позволяет гарантированно обеспечить поставленную перед ней цель – обеспечить требуемое качество и надежность деятельности экипажей ПКО в нештатных ситуациях, которые могут возникнуть в космическом полете. Возникает проблема дальнейшего развития НМБ ОБНКП в части эффективного управления состояниями подготовленности экипажей в процессе их тренировок на тренажерах, построенного на принципиально иных концептуальных основаниях. На смену существующей неэффективной концепции тренировок экипажей к действиям в НшС, построенной на принципах случайной выборки НшС, должна прийти новая концепция целенаправленного формирования требуемых состояний подготовленности космонавтов в результате целенаправленного и дозированного (адаптивного) выбора НшС.

Решением данной методологической проблемы может стать использование адаптивно-компетентностного подхода к управлению подготовкой космонавтов, разрабатываемого автором. Данный подход и связанные с ним технологии основаны на переходе от традиционной динамической системы «вход–выход» (3) к динамической системе с внутренними пространствами состояний «вход–состояние–выход», который Р. Калман назвал «проблемой абстрактной реализа-

ции» [1]. В новой технологии управления подготовкой экипаж ПКО рассматривается не как традиционный «черный ящик», а как объект, имеющий внутреннюю структуру:

$$\Sigma^2 = \langle T, U, Y, X, \Omega_c, \Gamma, \psi, \varphi \rangle, \quad (4)$$

В (4) в дополнение к (3) используются следующие обозначения: X – множество дополнительных переменных величин, характеризующих состояние компетентности космонавта; $\psi: U \rightarrow X$ – переходная функция, характеризующая зависимость элементов множества состояний X от входных величин U и прежнего состояния; $\varphi: U \times X \rightarrow Y$ – выходная функция, характеризующая зависимость элементов множества выходов Y от входной величины и состояния; все остальные обозначения идентичны обозначениям (3). Тройка $\langle X, \psi, \varphi \rangle$ в дополнение к внешним свойствам описывает структурные свойства системы и может быть определена другими составляющими системы при использовании адаптивных методов рекуррентной идентификации состояний X .

Особенностью систем в пространстве состояний, в отличие от моделей «вход–выход», является принципиальная возможность оторванности (абстрактности) структуры и переменных модели от наблюдаемых величин в реальном мире. Абстрактность моделей «вход–состояние–выход», позволяющая математически формализовать и интерпретировать поведение сложной динамической системы, является их несомненным достоинством. Как показано в [2], в слабоструктурированных предметных областях, ориентированных на управление в условиях неопределенности, для идентификации и управления внутренними состояниями систем наиболее целесообразно воспользоваться стратегией адаптивного управления, когда одновременно происходит и уточнение описания системы, и управление ею. Важной причиной использования адаптивных рекуррентных методов для идентификации внутренних состояний экипажа ПКО является то, что рассматриваемая динамическая система является нестационарной, ее свойства могут изменяться со временем и алгоритмы идентификации должны отслеживать эти изменения. В рекуррентных моделях это достигается естественным образом путем назначения в критериях меньших весов более старым измерениям, которые уже мало информативны. Применительно к подготовке космонавтов, наиболее информативными являются измерения, сделанные на завершающем этапе программы подготовки к полету.

При адаптивно-компетентностном подходе к управлению подготовкой космонавтов используются следующие методологические принципы. Во-первых, в качестве моделей подготовленности космонавтов используются состояния их компетентности, которые представлены операторскими функциями космонавтов, актуализируемые в процессе деятельности. Во-вторых, содержание тренировок программы подготовки должно индивидуализироваться в реальном масштабе времени по результатам обучения космонавта (адаптироваться к достигнутой компетентности космонавта), т.е. входные воздействия (задания) должны приводить к целенаправленному преобразованию состояний компетентности космонавтов. Реализация данных исходных методологических принципов в практике подготовки космонавтов требует разработки информационной технологии управления состояниями компетентности, основанной на знаниях структур управляющих входных воздействий, компетентности и выходных характеристик деятельности. В качестве научного фундамента такой технологии предлагается разработанный

автором метод адаптивного моделирования состояний компетентности (АМК-метод) космонавтов в процессе тренировок на тренажерах.

Под *моделированием состояний компетентности* космонавтов понимается формальный процесс, включающий построение моделей управления состояниями компетентности космонавтов, а также практическое применение этих моделей для управления подготовкой космонавтов на тренажерах. Основными управленческими функциями моделирования компетентности являются: оценка текущего состояния компетентности космонавтов, проектирование адаптивных управляющих воздействий на космонавтов в процессе тренировок на тренажерах, прогнозирование будущих состояний компетентности космонавтов и качества их деятельности в космическом полете для принятия обоснованных управленческих решений.

В АМК-методе каждый из трех информационных объектов U , Y , X из (4) сам по себе является сложной структурой, состоящей из множества разнородных элементов. Поэтому в рассмотрение вводятся три ключевые категории, подлежащие математической формализации:

- «информационного пространства входных воздействий» на космонавтов для описания характеристик «входов» (коротко – пространства входов U);
- «информационного пространства выходных реакций» космонавтов для описания характеристик «выходов» (коротко – пространства выходов Y);
- «состояния компетентности» космонавтов X (отражающего абстрактные внутренние состояния их компетентности) для описания состояния подготовленности космонавтов.

Каждая из этих трех категорий может быть представлена своей особенной информационной моделью, имеющей собственную структуру, определенную на множестве только ей присущих элементов. Причем, пространства входов и выходов относятся к объектам, с которыми взаимодействуют космонавты, т.е. к среде, включающей в себя «Центр управления полетами (ЦУП)–ПКО». Состояние компетентности является внутренней характеристикой космонавтов (или экипажа ПКО в целом). Оно, в отличие от первых двух категорий, не может быть измерено непосредственно, а должно определяться через отношения двух других категорий.

Переменная U , характеризующая пространство «входов», может быть представлена ранжированным рядом лингвистических переменных $U = \langle T_u^1, \dots, T_u^n \rangle$, заданных на непрерывных множествах сложности НшС. Каждый терм $\langle T_u^a \rangle$ выражает определенный ранг сложности НшС. Например, могут рассматриваться термы сложности «малая T_u^1 », «средняя T_u^2 », «высокая T_u^3 ». В качестве количественной меры информационной сложности деятельности космонавтов рассматривается интенсивность потока информации, обрабатываемой космонавтом при парировании нештатных ситуаций.

Переменная Y , характеризующая пространство «выходов», может быть представлена дискретным рядом $Y = \langle S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle$ макроисходов НшС, критичных к функционированию системы «ЦУП–экипаж–ПКО». В зависимости от последствий НшС множество возможных исходов разделено на 5 классов макроситуаций S_j :

- 1) S_0 – штатное функционирование системы;

- 2) S_1 – пониженная эффективность целевого применения (ограничения выполнения программы полета);
- 3) S_2 – невозможность дальнейшего выполнения программы полета (досрочный спуск на Землю);
- 4) S_3 – критическая ситуация, требующая срочного спасения экипажа (срочный спуск на Землю);
- 5) S_4 – катастрофическая ситуация, связанная с гибелью экипажа или ПКО.

Для оценивания качества деятельности экипажа представляет интерес случайный вектор $\Delta \tilde{Y}_t = \tilde{Y}_t - Y_{ot}$ исхода НшС A_t , определяемый по разности фактического состояния \tilde{Y}_t , в которое перешла система «ЦУП–экипаж–ПКО» в результате парирования НшС экипажем, и ее ожидаемым состоянием Y_{ot} (в случае безошибочных действий экипажа). Качество деятельности экипажа определяется функцией потерь $\pi(\Delta \tilde{Y}_t)$ системы «ЦУП–экипаж–ПКО», обусловленной ошибочными действиями экипажа в НшС A_t .

Под *компетентностью* понимается интегральное состояние подготовленности космонавта (экипажа ПКА), упорядоченное в результате обучения и тренировок и характеризующее его проявленную способность выполнять деятельность с требуемым качеством в конкретных условиях. В такой интерпретации понятие «профессиональная компетентность», оказываясь связанным с условиями и результатами деятельности, является одной из ключевых категорий в системе отношений «вход–компетентность–выход» [3]. Структуру компетентности составляют отдельные операторские функции космонавтов, общие для различных видов их деятельности в системе «ЦУП–экипаж–ПКО». Применительно к деятельности в НшС, компетентность космонавта складывается из совокупности его компетенций: обнаружения нештатных ситуаций, их распознавания, планирования и выполнения действий по выходу из нештатной ситуации, которые характеризуют его операторские функции при парировании НшС.

1. *Обнаружение НшС.* В процессе контроля состояния ПКО экипаж должен обнаружить возникшую аномалию контролируемых параметров. С целью своевременного обнаружения НшС экипаж должен выполнять оценку каждого из контролируемых параметров с определенной частотой, чтобы как можно раньше выявить отклонение от нормы.

2. *Идентификация НшС* и принятие решения по ее парированию (выбор способа парирования). Функция экипажа по идентификации НшС заключается в отождествлении ее с одной из рассмотренных, способ парирования которой задан.

3. *Планирование* действий по выходу из нештатной ситуации. Функция экипажа по планированию заключается в оценке момента наступления критической фазы НшС и располагаемого времени на ликвидацию НшС. На основании этих оценок экипажем определяется план действий по ликвидации НшС, который должен быть завершен до наступления критической фазы.

4. *Реализация плана выхода* из нештатной ситуации. Выполнение экипажем действий в соответствии с разработанным планом с целью прекращения дальнейшего развития НшС и ее нормализации, т.е. приведение в ситуацию, обеспечивающую безопасность экипажа и жизнеспособность ПКО до окончательного устранения причины возникновения НшС и ликвидации ее негативных последствий.

Состояние компетентности экипажа ПКО применительно к ОБНКП представляет собой случайный вектор $X(t) = \langle X_1, X_2, X_3, X_4, t \rangle$, в котором переменные $X_1(t) - X_4(t)$ представляют отдельные компетенции. При этом каждая компетенция является двумерной случайной величиной $X_i = (U, Y) = f(A_i)$, поскольку является функцией элементарного события – реализации НшС A_i , имеющей сложность U и исход Y . Качество компетенции экипажа ПКО может также интерпретироваться как статистическая вероятность (относительная частота) благоприятного исхода операторской функции при парировании НшС.

Требования репрезентативности выборки НшС, предъявляемых космонавтам на тренировках, и условий действия статистического ансамбля событий (повторяемость условий испытаний, статистическая устойчивость и достаточное количество испытаний), необходимых для объективной оценки статистических вероятностей качества операторских компетенций космонавтов, в АМК-методе обеспечиваются за счет адаптивно-оптимального формирования тренировочных заданий. В соответствии с адаптивно-оптимальным методом принята следующая модель выбора НшС для тренировок экипажей. Представим себе, что все НшС разложены по «корзинам» таким образом, что в каждой корзине находятся НшС одного класса подобия способа действия экипажа. Иначе говоря, в одной корзине находятся НшС разной сложности и ожидаемых исходов, но обладающие одним общим свойством – способом, посредством которого реализуется одна из операторских функций экипажа. Корзины являются пересекающимися множествами, т.е. одна и та же НшС может находиться в различных корзинах, поскольку характеризуется различными способами обнаружения, идентификации, планирования и выхода. В ходе тренировок экипажа на тренажерах необходимо последовательно «обойти» все корзины, выбирая из них НшС возрастающей сложности. Испытание заключается в том, чтобы на тренировке оценить успешность реализации экипажем операторских функций при парировании каждой из предъявленных НшС. В случае успеха исход испытания считается благоприятным, в противном случае – неблагоприятным. Причем, каждый исход испытания связан с двумя переменными – сложностью реализации операторской функции U и макроситуации S_j , в которой оказалась система «ЦУП–экипаж–ПКО» в результате действий (бездействий) экипажа. Статистической вероятностью качества компетенции экипажа $P(U = T_u^\alpha, Y = S_j)$ является относительная частота благоприятных исходов испытаний по отношению к общему числу испытаний.

В результате проведения подобных испытаний (тренировок экипажей ПКО на тренажерах) могут быть получены эмпирические функции распределения $F(X_i(t)) = P(U < T_u^\alpha, Y < S_j)$ двумерной случайной величины $X_i(t)$. Для рассматриваемой дискретной двумерной случайной величины $X_i(t) = (U, Y)$ ее функция распределения представляет собой некоторую ступенчатую поверхность. Следует заметить, что в действительности качество компетентности экипажей ПКО следует рассматривать как случайный процесс, изменяющийся с течением времени. Поэтому правильнее говорить о временном срезе функции распределения для фиксированного момента времени. В данном исследовании мы будем рассматривать

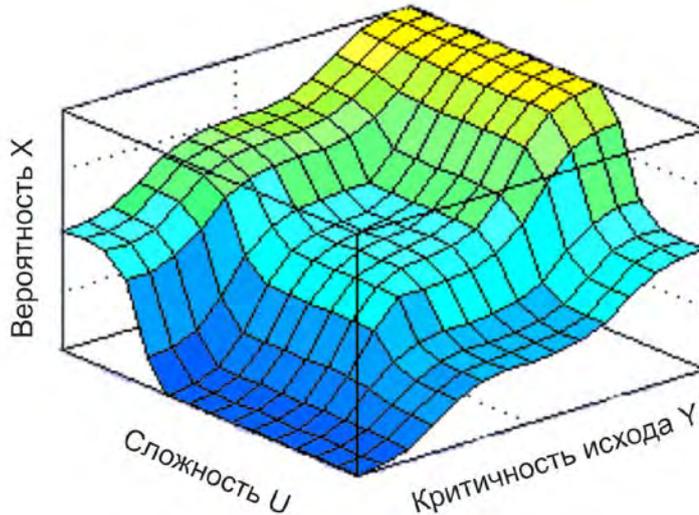


Рис. 1. Временной срез функции распределения качества компетенций экипажа ПКО

временной срез функции распределения компетентности экипажа на момент окончания его подготовки к полету. На рис. 1 представлен пример такого временного среза для отдельно взятой «корзины».

Путем композиции функций распределения качества компетенций экипажа ПКО, которые задействованы в структуре его деятельности при парировании конкретной НшС, могут быть аналитически вычислены показатели качества его деятельности.

Вероятность $Q_i^{парир}$ неудачи при принятии экипажем ПКО корректирующих мер по парированию i -й НшС, которая может привести к невыполнению программы полета (см. формулу (1)), может рассматриваться как вероятность события, когда экипаж не был способен реализовать каждую из своих компетенций по обнаружению, идентификации, планированию и реализации выхода из НшС. В результате требуемая вероятность $Q_i^{парир}$ может быть определена как произведение вероятностей соответствующих компетенций:

$$Q_i^{парир} = \prod Q_i^{обн}(U < T_u^\alpha, Y < S_3) Q_i^{идент}(U < T_u^\alpha, Y < S_3) Q_i^{план}(U < T_u^\alpha, Y < S_3) Q_i^{вых}(U < T_u^\alpha, Y < S_3). \quad (5)$$

Аналогично вероятность $Q_j^{парир}$ неудачи при принятии экипажем ПКО корректирующих мер по парированию j -й НшС, которая может привести к невозможности спасения экипажа в случае неудачи при ее парировании (см. формулу (2)), определяется по формуле:

$$Q_j^{парир} = \prod Q_j^{обн}(U < T_u^\alpha, Y < S_4) Q_j^{идент}(U < T_u^\alpha, Y < S_4) Q_j^{план}(U < T_u^\alpha, Y < S_4) Q_j^{вых}(U < T_u^\alpha, Y < S_4). \quad (6)$$

Подставляя значения $Q_i^{парир}$ и $Q_j^{парир}$ из формул (5) и (6), вычисленных на основании функций распределения качества компетенций экипажа ПКО, в фор-

мулы (1) и (2), получаем систему показателей надежности и безопасности пилотируемого космического полета с учетом парирования расчетных нештатных ситуаций экипажем ПКО. Таким образом, на основе использования АМК-метода появляется возможность получения статистических оценок вероятности безошибочной деятельности экипажа в НшС, которые могут быть применены в математических моделях управления качеством подготовки космонавтов.

С математической точки зрения управление качеством подготовки космонавтов к ОБН КП с использованием АМК-метода заключается в оптимизации статистических оценок операторских компетенций космонавта (экипажа ПКО) в результате его тренировок на тренажерах, которая заключается в минимизации функции потерь от ошибочных действий при максимально возможной сложности деятельности космонавта в НшС:

$$\hat{X}_{opt} = \arg \max_{\substack{U_t \in U_{дон}, t=1, T \\ \pi(\Delta \hat{Y}_t) < \pi_{зад}}} \hat{F}(U_t, \pi(\Delta \hat{Y}_t)), T \leq T_{зад}, N \leq N_{зад}, \quad (7)$$

где:

$\pi(\Delta \hat{Y}_t)$ – обобщенная функция потерь системы «ЦУП–экипаж–ПКО», обусловленных ошибочными действиями экипажа в НшС A_t , которая характеризует качество деятельности экипажа (обобщенный параметр оптимизации);

$\hat{X} = \hat{F}(U_t, \pi(\Delta \hat{Y}_t)) = P_x(U < U_{зад}, \pi(\Delta \hat{Y}) < \pi_{зад}(\Delta \hat{Y}))$ – статистический закон распределения вектора $\hat{X} = \langle \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_k, \dots, \hat{x}_K \rangle$ оценок \hat{x}_k операторских функций космонавта (экипажа ПКО), которые представляют собой вероятность реализации данных операторских функций при парировании космонавтом НшС с заданными уровнями сложности $U_{зад}$ и функции потерь $\pi_{зад}(\Delta \hat{Y})$;

$T \leq T_{зад}, N \leq N_{зад}$ – заданные ограничения на время реализации программы подготовки и количество тренировок, соответственно.

Для гарантированного обеспечения заданного уровня безопасности и надежности космических полетов, статистические оценки \hat{x}_k , получаемые по результатам реализации программы подготовки, должны удовлетворять системным требованиям ОБН КП:

$$P_{безопасн} = P_x(U < U_{дон}, \pi(\Delta \hat{Y}) < \pi_1(\Delta \hat{Y})) \geq 0,995, \quad (8)$$

$$P_{прогр} = P_x(U < U_{дон}, \pi(\Delta \hat{Y}) < \pi_2(\Delta \hat{Y})) \geq 0,95, \quad (9)$$

где $P_{безопасн}(U < U_{дон}, \pi(\Delta \hat{Y}) < \pi_1(\Delta \hat{Y}))$ – вероятность обеспечения безопасности экипажа при всех возможных аварийных ситуациях, $P_{прогр}(U < U_{дон}, \pi(\Delta \hat{Y}) < \pi_2(\Delta \hat{Y}))$ – вероятность выполнения программы полета при всех расчетных НшС, $\pi_1(\Delta \hat{Y})$ – потери, приводящие к катастрофическим последствиям, $\pi_2(\Delta \hat{Y})$ – потери, приводящие к невыполнению программы полета.

В заключение следует отметить, что использование математических моделей качества компетентности экипажей ПКО и качества их деятельности может оказаться весьма эффективным средством для комплексного решения проблемы га-

рантированного обеспечения безопасности и надежности космических полетов с учетом качества подготовленности космонавтов. Оптимизационные математические модели управления качеством подготовки космонавтов к деятельности в нестандартных ситуациях космического полета позволят на системном количественном уровне проектировать и обеспечивать гарантированный уровень компетентности экипажей ПКО, необходимый для достижения требуемого уровня надежности и безопасности космического полета. Прогностические статистические модели качества компетентности экипажей ПКО и качества их деятельности позволят существенно повысить эффективность управления ОБН КП за счет внедрения усовершенствованных методов и средств наземной экспериментальной отработки ПКК на основе математического моделирования, сокращения затрат на экспериментальную отработку ракетно-космической техники с участием экипажей ПКО, повышения достоверности используемой информации при принятии решений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. – М: Мир, 1971.
- [2] 65 лет Институту проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. Сборник. 2004.
- [3] Сохин И.Г., Крючков Б.И. Этапы становления и перспективы развития научно-методической базы подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – № 1. – 2011. – С. 78–86.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РЕШЕНИЕ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ТРЕНИРОВОК ЭКИПАЖЕЙ
ОРБИТАЛЬНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА
НА КОМПЛЕКСНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ТРЕНАЖЕРАХ**

А.А. Курицын

Канд. техн. наук, доцент А.А. Курицын (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Решается актуальная задача выбора наиболее оптимальных программ тренировок экипажей орбитальных пилотируемых комплексов (ОПК) в условиях усложнения создаваемых пилотируемых космических станций, увеличения объема решаемых задач экипажем на борту комплекса, усложнения информационных связей в процессе подготовки на тренажерах.

Ключевые слова: подготовка космонавтов, орбитальные пилотируемые комплексы, полетные операции, нештатные ситуации, тренировки на комплексных и специализированных тренажерах

Mathematical Formalization and Solving of Multicriterion Nonlinear Problem of Planning ISS Crew Training on Integrated and Dedicated Simulators. A.A. Kuritsyn

The paper presents the topical problem of choosing the optimal training programs for the crews of the manned orbital complexes under conditions when more sophisticated manned space stations are created, the scope of tasks solved aboard the complex increases, information communications in the course of simulator-based training become more complicated.

Key words: cosmonaut training, manned orbital complex, flight operations, off-nominal situation, training on integrated and dedicated simulators.

Программа подготовки космонавтов на комплексных и специализированных тренажерах представляет собой перечень $\{V_i\}$ упражнений и порядок $\{V_i \succ V_j\}$ их отработки при подготовке космонавтов. При этом упражнение V_i включает в себя совокупность полетных операций (ПО) $\{O_i\}$, комплексных режимов $\{R_i\}$ и нештатных ситуаций $\{A_j\}$, которые подбираются для него также по определенным принципам.

Длительность подготовки экипажа космической станции является ограниченной, поэтому и срок T_n , отводимый на подготовку на тренажерах, является ограниченным и зависит от ряда факторов. В настоящее время для экипажа Международной космической станции принята длительность подготовки одного экипажа 24 месяца. Подготовка проводится учебными сессиями на базах различных космических агентств: Российского, Американского, Канадского, Европейского и Японского. Длительность одной учебной сессии на базе партнера обычно не превышает четырех недель.

Для проведения тренировок на тренажерах существует рациональное значение величины $\tau_{пр}$ промежутка времени между двумя соседними тренировками, зависящее от номера тренировки (текущего времени подготовки t_n) и обеспечивающее наибольшую эффективность процесса обучения. При этом величина $\tau_{пр}$ допускает изменения от своего нижнего значения $\tau_{пр}^H$ до верхнего $\tau_{пр}^B$ без существенного изменения качества процесса обучения. Уменьшение промежутка между

соседними тренировками меньше нижнего значения $\tau_{пр}^H$ уже не будет повышать эффективность подготовки экипажа [1, 2].

Деятельность космонавтов и астронавтов на борту современной космической станции характеризуется большим количеством и разнообразием решаемых задач и возможных полетных ситуаций. Массив выполняемых в процессе полета ОПК операций насчитывает десятки тысяч полетных процедур, в большинстве из которых в той или иной степени принимает участие экипаж. Кроме того, экипаж должен быть подготовлен к действиям в различных нештатных ситуациях, которые могут возникнуть в полете. Отработать на тренажере во время подготовки к полету все штатные полетные процедуры не представляется возможным. Ограничения накладываются и сроки подготовки, и технические возможности тренажеров, и ряд других факторов.

Одним из важных факторов, влияющих на планирование программы тренировок на комплексных и специализированных тренажерах ОПК, является начальный уровень подготовленности экипажа L_0 . Начальный уровень подготовленности членов экипажа также зависит от наличия опыта полетов. На борту МКС в настоящее время определены следующие должности:

- командир экипажа;
- бортинженер;
- участник космического полета.

В соответствии с функциональными обязанностями членов экипажей МКС определены четыре классификационных уровня их ответственности за эксплуатацию бортовых систем станции. Члены экипажа экспедиции МКС могут иметь следующие квалификации:

- пользователь;
- оператор;
- специалист;
- испытуемый.

Планирование программы тренировок экипажей орбитальных пилотируемых комплексов на комплексных и специализированных тренажерах зависит от целого комплекса факторов, основными из которых являются:

1. Организационные:
 - состав членов экипажа ОПК на подготовке – S ;
 - распределение должностных и функциональных обязанностей между членами экипажа.
2. Временные:
 - продолжительность общего времени подготовки – T_n ;
 - продолжительность непрерывной подготовки экипажа в России (длительность учебной сессии при проведении подготовки на базах различных международных партнеров) – T_c ;
 - рациональное значение величины промежутка времени между двумя соседними тренировками $\tau_{пр}$;
 - продолжительность времени тренировки – $T_{ТР}$ (принята трехвитковая продолжительность тренировки $T_{ТР} = 4$ часа, длительность типовых полетных суток составляет $T_{ТР} = 8$ часов).

3. Технические:

– состав тренажерной базы подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов – $N_{ТРЕН}$;

– возможность отработки i -й полетной операции на тренажерах – V_{Oi} ;

– возможность отработки i -й нештатной ситуации на тренажерах – V_{Ai} .

4. Методические:

– программа полета экипажа ОПК – $Ц_n$;

– совокупность полетных операций – $\{O_i\}$;

– совокупность нештатных ситуаций – $\{A_j\}$;

– совокупность комплексных режимов полета ОПК – $\{R_v\}$;

– начальный уровень подготовленности экипажа – L_o ;

– число членов экипажа, имеющих опыт полетов – M_o .

Планирование программы тренировок является очень сложной задачей, связанной с обработкой большого объема информации, с учетом множества противоречивых требований и ограничений, критериев при соблюдении ряда методических принципов (табл. 1), полученных на основании опыта подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов. Результат этой работы – программа подготовки на комплексных и специализированных тренажерах – должен обеспечивать требуемый уровень знаний, навыков и умений членов экипажа к моменту старта и содержать информацию о количестве, виде, составе и длительности занятий [1].

Таблица 1

Методические принципы планирования программы подготовки экипажей ОПК на комплексных тренажерах

№ п/п	Методические принципы
1	Отработка в процессе тренировок всех основных режимов полета
2	Преемственность тренировок (частичное наложение обрабатываемых в них этапов полета)
3	Предварительная отработка на специализированных тренажерах наиболее сложных этапов полета, связанных с ручным управлением и большими объемами перерабатываемой космонавтами информации
4	Выдерживание последовательности этапов подготовки: получение теоретических знаний, отработка навыка, поддержание уровня тренированности
5	Постепенное увеличение интенсивности тренировок за счет использования при их проведении следующих методических приемов: <ul style="list-style-type: none"> – введения сложных взаимосвязей между полетными операциями; – уменьшения времени на выполнение операции; – увеличения количества обрабатываемых режимов и НшС; – ввода НшС на наиболее сложных этапах тренировки; – уменьшения помощи инструктора экипажу в процессе тренировки; – предоставления экипажу большей самостоятельности при решении полетных задач на тренировке; – усложнения процессов управления

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Методические принципы
6	Планирование длительности операции в упражнении, исходя из учета времени, необходимого экипажу для ее усвоения
7	Использование на начальном этапе подготовки НшС, не ведущих к изменению программы тренировки
8	<p>Постоянное увеличение в ходе подготовки степени неопределенности нештатных ситуаций за счет использования следующих методических приемов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – использования взаимовлияющих НшС; – перехода от простых НшС к сложным; – перехода от одиночного ввода НшС к их взаимному наложению; – уменьшения сведений, сообщаемых экипажу о вводимых НшС; – расширения используемого для отбора на тренировку множества НшС; – постоянного приближения программ ввода НшС к реальному процессу их появления в полете
9	<p>Упрощение начального этапа подготовки за счет использования следующих методических приемов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отработки элементов только штатной программы полета; – включения в программу тренировки только НшС, не ведущих к ее изменению; – предварительного ознакомления экипажа с отработываемыми на тренировке НшС; – отработки только предусмотренных в бортовой документации НшС или НшС, не требующих выполнения экипажем действий; – отработки на тренировке НшС только по одной системе или по одному режиму полета
10	Отработка всех запланированных на подготовку НшС
11	Рациональное использование времени тренировки для активной деятельности экипажа
12	Учет способа привязки НшС к циклограмме тренировки
13	Учет при определении размеров отработываемых на тренировках режимов полета общей продолжительности тренировки и коэффициента полезного использования располагаемого времени
14	Трехвитковая продолжительность тренировки (4 часа)
15	Постоянное уменьшение в ходе подготовки степени отклонения циклограммы тренировки от реальной полетной циклограммы
16	Максимальное соответствие на конечном этапе подготовки циклограммы тренировки и программы ввода НшС реальным процессам
17	Учет при планировании программы тренировки необходимости отработки экипажем управления максимальным количеством бортовых систем
18	Определение общего количества тренировок, исходя из располагаемого времени на подготовку и рациональной частоты проведения тренировок на различных этапах подготовки

№ п/п	Методические принципы
19	Определение состава отрабатываемых упражнений, исходя из необходимости отработки всех штатных и нештатных режимов полета, нештатных ситуаций, влияющих на программу полета, а также взаимосвязей между ними
20	Минимизация числа упражнений за счет исключения повторяемости типовых процедур
21	Учет при составлении состава упражнений опыта космических полетов предыдущих ОПК
22	Коррекция программы тренировок в зависимости от качества работы экипажа в процессе подготовки
23	Разработка программы тренировок с учетом начальной степени знаний членов экипажа
24	Обязательная отработка каждой штатной НшС
25	Отработка наиболее сложных НшС до уровня уверенных действий до пяти раз
26	Акцентирование внимания экипажа на определенных системах за счет планирования ввода соответствующих НшС и использования определенных фрагментов программы полета
27	Учет при составлении программы тренировок величин перерывов между космическими полетами и подготовкой
28	Регулирование интенсивности тренировок в зависимости от располагаемых сроков подготовки от одной до трех тренировок в неделю
29	Теоретическое изучение простейших НшС и наименее вероятных режимов полета и полетных операций
30	Жесткая связь НшС с конкретными полетными операциями
31	Предварительная классификация нештатных ситуаций по уровню их важности при обучении и определение нормативного числа их повторений
32	Предварительная классификация полетных операций по уровню их важности при обучении и определение нормативного числа повторений каждой типовой полетной операции в процессе подготовки
33	Предварительная классификация НшС по сложности и определение порядка их отработки при подготовке
34	Предварительная классификация типовых полетных операций по сложности и определение порядка их отработки при подготовке
35	Определение необходимого числа тренировок, исходя из длительности типовых полетных операций, числа их повторений при подготовке и длительности одной тренировки
36	Определение сложности тренировки как суммарной сложности отрабатываемых на ней полетных операций и нештатных ситуаций
37	Учет при планировании программы тренировок числа повторений полетных операций и НшС

Необходимость учета в программе подготовки множества противоречивых требований (между различным начальным уровнем подготовленности членов

экипажей и едиными требованиями к обеспечению безопасности полетов, между несоответствием реального состояния ОПК и уровнем моделирования систем на тренажерах и прочее) приводит к тому, что предварительным этапом планирования могут явиться несколько вариантов программ тренировок на комплексных и специализированных тренажерах. Как правило, это обусловлено субъективностью процесса планирования и перенесением акцентов с одних критериев на другие. Программа, принятая к исполнению, должна обеспечивать некоторое оптимальное решение задач подготовки. При этом задача составления программы подготовки экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах может быть рассмотрена в следующей постановке:

Существует множество проектов программ $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, каждый из которых характеризуется множеством оценок $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ значений показателей качества $K = \{k_1, k_2, \dots, k_l\}$.

Требуется упорядочить проекты в соответствии с некоторой функцией полезности $F(v_i)$.

Эта задача может быть решена с использованием математического аппарата многокритериальной оптимизации. Для этого необходимо:

- а) сформировать множество проектов программ V ;
- б) разработать систему показателей качества K .

Задачу планирования можно представить в целом как последовательность частных оптимизационных задач, анализ и отбор вариантов решений которых осуществляет руководитель. В данном пункте представлены математические формулировки описания процесса планирования программы тренировок экипажей ОПК, взаимосвязь составляющих данного процесса представлена при разработке алгоритма планирования программы подготовки экипажей ОПК [1].

Необходимость учета при планировании большого числа полетных операций O_i , нештатных ситуаций A_i и ограничений g_i , накладываемых на формирование программы подготовки $\{V_i \prec V_j\}$, влечет необходимость использования в качестве основного режима решения этих задач – режима диалога.

Имеется:

1. Множество полетных операций O

$$O = \{O_i\} \in \Pi_n.$$

Множество O разбивается на подмножества:

- полетных операций, внесенных в перечень полетных процедур N

$$O_{\text{пр}} \subseteq O = \{O_i, j \in N\}, N = \{1, \dots, n\};$$

- рутинных полетных операций, не внесенных в перечень полетных процедур

$$O_{\text{р}} \subseteq O = \{O_i, j \in Z\}, Z = \{1, \dots, z\}.$$

2. Множество режимов, связанных с суточной деятельностью экипажа

$$R = \{R_v, v \in \Omega\}, \Omega = \{1, \dots, d\}.$$

3. Множество нештатных ситуаций A

$$A = \{A_j\} \in G_{\text{бд}}.$$

Множество A разбивается на подмножества:

- нештатных ситуаций, не влияющих на программу полета

$$A_{\text{вц}} \subseteq A = \{A_l, l \in Q\}, Q = \{1, \dots, q\};$$

– нештатных ситуаций, влияющих на программу полета

$$A_{\text{вц}} \subseteq A = \{A_l, l \in H\}, H = \{1, \dots, h\}.$$

4. Множество членов экипажа

$$S = \{S_\mu, \mu \in M\}, M = \{1, \dots, m\}.$$

5. Длительность подготовки – $T_{\text{п}}$.

6. Продолжительность времени тренировки – $T_{\text{тр}}$.

Множество полетных операций O , нештатных ситуаций A , требующих практической отработки на тренировках в соответствии с нормативным числом повторений, составляют множество упражнений для подготовки:

$$Y = \{y_j, j \in F\}, F = \{1, \dots, f\}.$$

Тогда необходимое количество тренировок для подготовки:

$$K_{\text{тр.н}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau(Y_i) \cdot n(Y_i)}{\tau_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где n – общее число упражнений в программе подготовки;

$\tau(Y_i)$ – длительность i -го упражнения;

$n(Y_i)$ – нормативное число повторений i -го упражнения в программе подготовки;

$\tau_{\text{тр}}$ – длительность тренировки.

В соответствии с длительностью подготовки экипажа $T_{\text{п}}$ определяется возможное число тренировок $K_{\text{тр.в}}$ на подготовку, что представляет множество тренировок $\Gamma = \{\gamma\}$.

При разработке программы подготовки учитывается множество условий C_j выполнения полетной операции. Для полетных операций множество условий для формирования программы подготовки:

$$C_j = \langle C_{j1}, \dots, C_{j11} \rangle, j \in N, \quad (2)$$

где C_{j1} – важность для подготовки; C_{j2} – сложность; C_{j3} – продолжительность; C_{j4} – допустимый интервал уменьшения продолжительности; C_{j5} – директивность; C_{j6} – число членов экипажа для ее выполнения; C_{j7} – отношение к члену экипажа; C_{j8} – наличие предварительной динамической операции; C_{j9} – специализация; C_{j10} – общая кратность; C_{j11} – максимальная кратность в одну тренировку.

Внесение упражнения Y_j в программу подготовки экипажа эквивалентно действию, под которым понимается кортеж:

$$Y_j \leftrightarrow u_j = \langle \gamma_j, S_j, \tau_j \rangle, \quad (3)$$

где γ_j – номер тренировки, когда выполняется j -е упражнение; S_j – множество членов экипажа, выполняющих j -е упражнение; τ_j – длительность j -го упражнения.

Имеется множество вариантов Y_j выполнения действия $u_j, u_j \in Y_j$.

Множество $Y_j^{\mathcal{B}}$ возможных вариантов $Y_j^{\mathcal{B}} \subseteq Y_j$.

Упорядочение упражнений по γ тренировкам руководителем вводится в соответствии с необходимостью увеличения сложности обрабатываемых упражнений и целевыми задачами тренировки. При этом

$$\bigcup_j u_{j\gamma} = \bigcup_j \langle \gamma_j, S_j, \tau_j \rangle. \quad (4)$$

Потенциальные возможности выполнения действий $u_{j\gamma}$ описываются множеством:

$$\Delta = \{ \langle \gamma_j, \mu_j, y_j \rangle \in \Gamma \times S \times V, j \in F \}. \quad (5)$$

Каждый кортеж в множестве Δ однозначно характеризуется функцией:

$$V_{j,\gamma,\mu}: \Delta \rightarrow \{0,1\}.$$

Задача планирования сводится к поиску функции:

$$V_{j,\gamma,\mu} \leftrightarrow u_{j\gamma} = \langle \gamma_j, \mu_j, y_j \rangle. \quad (6)$$

Тогда программу подготовки можно представить в виде конечномерного вектора:

$$V = \{ \{ V_{j,\gamma,\mu} \} \mid j \in F, \gamma \in \Gamma, \mu \in M \} \quad (7)$$

Множество альтернатив Δ соответствует множеству векторов V . Множество допустимых альтернатив:

$$\Delta_\beta = \{ V = \{ \{ V_{j,\gamma,\mu} \} \mid I_i^\beta, I = \overline{1,7} \}, \quad (8)$$

где $\{ I_i^\beta, i = \overline{1,7} \}$ – множество ограничений.

Ниже приведен перечень ограничений:

1. Обязательное включение в программу всех полетных операций, необходимых для отработки:

$$\beta_1: \sum_{j,\gamma,\mu} V_{j,\gamma,\mu} = I_1 \mid j \in J_1, j \leftrightarrow (\gamma, \mu, y), \quad (9)$$

где J_1 – подмножество полетных операций, необходимых для отработки, $J_1 \subseteq \mathcal{N} \cup Z$.

2. Обязательное включение в программу всех нештатных ситуаций, необходимых для отработки:

$$\beta_2: \sum_{j,\gamma,\mu} V_{j,\gamma,\mu} = I_2 \mid j \in J_2, j \leftrightarrow (\gamma, \mu, y), \quad (10)$$

где J_2 – подмножество нештатных ситуаций, необходимых для отработки, $J_2 \subseteq G_{\text{бд}}$.

3. Длительность подготовки экипажа ограничена и, соответственно, суммарный временной ресурс каждого члена экипажа на выполнение всех упражнений ограничен:

$$\beta_3: \sum_{j,\gamma} V_{j,\gamma,\mu} \cdot \tau_{j\gamma} \leq T_{\text{п}}, \forall \mu \in M. \quad (11)$$

4. Длительность тренировки ограничена и, соответственно, суммарный временной ресурс каждого члена экипажа на выполнение полетных операций, включенных в тренировку, ограничен:

$$\beta_4: \sum_j V_{j,\gamma,\mu} \cdot \tau_{j,\gamma} \leq T_{\text{ТР}}, \forall \mu \in M. \quad (12)$$

5. Ограничение на общую кратность отработки j -й полетной операции или нештатной ситуации на всем периоде планирования тренировок:

$$\beta_5: \sum_{\gamma,\mu} V_{j,\gamma,\mu} \leq C_{j10}, \forall j. \quad (13)$$

6. Ограничение на кратность отработки j -й полетной операции или нештатной ситуации в течение одной тренировки:

$$\beta_6: \sum_{\mu} V_{j,\gamma,\mu} \leq C_{j11}, \forall \gamma. \quad (14)$$

7. Ограничение на суммарную сложность упражнений в течение одной тренировки:

$$\beta_7: \sum_{j,\mu} V_{j,\gamma,\mu} \cdot C_{j2} \leq h_{\gamma}, \forall \gamma. \quad (15)$$

Критериями оценки плана являются следующие показатели качества, полученные на основании опыта подготовки экипажей ОПК:

Учет располагаемых возможностей по числу тренировок

Разработанные показатели качества программы тренировок являются элементами вектора показателя качества K и могут быть использованы для выбора окончательного варианта программы.

1. Показатель учета располагаемых возможностей по числу тренировок:

$$\chi = \sqrt{\frac{1}{K_{\text{ТР}}^p - 1} \sum_{j=1}^{K_{\text{ТР}}^p - 1} \frac{4(t_j^* - t_j)^2}{(t_j^*)^2}}, \quad (16)$$

где t_j^* – оптимальный промежуток времени между тренировками,

t_j – реальный промежуток времени;

$K_{\text{ТР}}^p$ – реальное количество тренировок.

2. Показатель учета нормативного числа повторений полетных операций и охвата полетных операций тренировками:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i, \text{ где } q_i = c_{1i} \frac{n_i^* - n_i}{n_i^*}, \quad c_{1i} = \begin{cases} k_1 Z_i, & n_i^* < n_i \\ k_2 B_i \Delta \mu_i, & n_i^* > n_i \end{cases} \text{ – штрафная функция,} \quad (17)$$

где Z – затраты на проведение i -й ПО;

n_i^* – нормативное количество повторений;

n_i – реальное число повторений;

B_i – важность i -й полетной операции;

k_1, k_2 – нормирующие коэффициенты;

$\Delta \mu_i$ – снижение тренированности экипажа по выполнению i -й операции, вызванное уменьшением $\Delta n_i = n_i^* - n_i$.

3. Показатель соблюдения оптимальной длительности тренировок:

$$\theta = \sqrt{\frac{1}{K_{TP}^P} \sum_{j=1}^{K_{TP}^P} \frac{(T_{TP}^* - T_{TPj}^P)^2}{T_{TP}^{*2}}}, \quad T_{TPj}^P = \sum_{i=1}^{N_j^T} \tau_i, \quad (18)$$

где $T_{TP}^* \approx 3T_{\text{витка}} \pm \Delta T_{TP}$,
 N_j^T – число последовательных летных операций, выполняемых при проведении j -й тренировки;
 T_{TPj}^P – запланированное время j -й тренировки;
 T_{TP}^* – оптимальное время j -й тренировки.

4. Показатель учета отработки всех штатных и резервных режимов полета, а также нештатных ситуаций, влияющих на программу полета:

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{если все } R_v \text{ и } A_j \text{ включены в программу} \\ 1, & \text{если не включены} \end{cases} \quad (19)$$

5. Показатель обеспечения преемственности тренировок:

$$D = \begin{cases} 0, & \Delta_{i,i+1} > \Delta^* \forall i \\ \frac{1}{(M_n - 1) \sum_{i=1}^{M_n - 1} \frac{\Delta^* - \Delta_{i,i+1}}{\Delta^*}}, & \Delta_{i,i+1} \leq \Delta^* \forall i \end{cases}, \quad \text{где } \Delta_{i,i+1} = \frac{N_{i,i+1}^y}{\min(N_i^y, N_{i+1}^y)}, \quad (20)$$

$N_{i,i+1}^y = N_i^y \cap N_{i+1}^y$ – число перекрывающихся полетных операций в соседних i -м и $i+1$ -м упражнениях;

M_n – общее число упражнений в программе подготовки экипажа;

6. Показатели выдерживания порядка отработки полетных операций и НшС в соответствии с уровнем их сложности:

– показатель увеличения сложности обрабатываемых ПО в упражнении,
 где N_k^y – количество ПО в упражнении:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{1}{N_k^y} \sum_{j=1}^{N_k^y} \left[\frac{\max_{i=1, N_k^y} C(O_i) - \min_{i=1, N_k^y} C(O_i)}{N_k^y} j + \min_{i=1, N_k^y} C(O_i) - C(O_j) \right]}, \quad (21)$$

– показатель увеличения сложности обрабатываемых упражнений в тренировке,
 где M_k^y – количество упражнений в тренировке:

$$\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{1}{M_k^y} \sum_{j=1}^{M_k^y} \left[\frac{\max_{i=1, M_k^y} C(Y_i) - \min_{i=1, M_k^y} C(Y_i)}{M_k^y} j + \min_{i=1, M_k^y} C(Y_i) - C(Y_j) \right]}, \quad (22)$$

– показатель увеличения сложности тренировок в программе подготовки, где $K_{\text{ТР}}$ – количество тренировок:

$$\varepsilon_3 = \sqrt{\frac{1}{K_{\text{ТР}}} \sum_{j=1}^{K_{\text{ТР}}} \left[\frac{\max_{i=1, K_{\text{ТР}}} C(T p_i) - \min_{i=1, K_{\text{ТР}}} C(T p_i)}{K_{\text{ТР}}} j + \min_{i=1, K_{\text{ТР}}} C(T p_i) - C(T p_j) \right]^2}. \quad (23)$$

Уровень сложности ПО отрабатываемого упражнения рассчитывается по специально разработанной методике [1].

Представленные показатели качества программы тренировок являются элементами вектора показателя качества K и используются для выбора окончательного варианта программы.

Таким образом, в статье сформулирована задача планирования подготовки экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах для формирования условно-оптимальных программ подготовки экипажей ОПК. Данная задача решена с использованием математического аппарата дискретной математики и метода многокритериальной оптимизации, что требует разработки системы показателей качества для выбора условно-оптимальной программы из сформированного множества проектов программ. Так как оценка качества проектов программ не может быть основана на анализе результатов подготовки, в работе предложен подход, при котором показатели качества программы подготовки экипажей ОПК на тренажерах характеризуют степень ее соответствия методическим принципам планирования, вытекающим из опыта планирования тренировок. Показано, что с учетом начальных условий и накладываемых ограничений может формироваться множество альтернатив программ подготовки, из которых отбор вариантов решений осуществляет руководитель тренировки по представленным выше критериям.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Курицын А.А. Методы и средства автоматизированного управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов / Монография, Звездный городок Московской области: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2011. – 279 с.
- [2] Ярополов В.И. Учебное пособие по курсу «Подготовка космонавтов к действиям в нестандартных ситуациях» / В.И. Ярополов. – Звездный городок Московской области: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1999. – 104 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДЕЛИРУЮЩИЕ СТЕНДЫ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ И ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ КОСМИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ

А.Г. Лесков

Докт. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана А.Г. Лесков (Дмитровский филиал МГТУ)

Рассмотрены вопросы создания и применения функционально-моделирующих стендов в задачах исследования операций и подготовки космонавтов к управлению космическими манипуляционными роботами.

Ключевые слова: космические манипуляционные роботы, функционально-моделирующий стенд, подготовка операторов.

Application of Hybrid Simulating Testbeds for Studying Robotic Operations and Training Space Robot Operators. A.G. Leskov

The paper surveys the problems of creation of Hybrid (i.e. hardware-in-the-loop) Simulating Testbeds (HST) and their application in studying robotic operations and training space robots operators.

Key words: space robots, Hybrid Simulating Testbed, operator training.

Применение космических манипуляторов (космических манипуляционных роботов – КМР) позволяет реализовать новые технологии на борту и вне космического аппарата (КА), сократить затраты на ремонт и обслуживание КА, повысить эффективность и безопасность работ в открытом космосе.

Высокая стоимость КМР и риски, связанные с эксплуатацией КМР, требуют тщательной предполетной верификации всех заданий на Земле. Эти же обстоятельства обуславливают необходимость качественной подготовки экипажей к управлению КМР. Функционально-моделирующие стенды (ФМС) КМР – эффективные средства решения этих задач.

Вопросы создания ФМС, проведения на их основе исследований и подготовки российских экипажей рассматривались в ряде работ, выполненных совместно МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [1, 2, 3, 4 и др.].

Первый ФМС КМР (рис. 1) был создан в 1993 году [7] и предназначался для подготовки космонавтов к управлению КМР МКК «Буран». Основу ФМС составляла аналого-цифровая модель КМР (комплекс АВК32 – IBM PC). В качестве макета КМР применялся промышленный робот (ПР) РМ-01. В составе ФМС – макеты пультов внутреннего человеко-машинного интерфейса с встроенными панелями индикации и управления, мониторами телекамер.

ФМС КМР постоянно модернизировался [5, 6]. Модернизация ФМС была направлена на решение следующих основных задач:

- совершенствование математических моделей кинематики, динамики, систем управления движением и действиями КМР;
- создание программно-математического обеспечения регистрации, обработки и хранения данных;
- создание программно-методического обеспечения задач общекосмической подготовки в части управления КМР МКК;
- разработка методов и систем оценки управляющей деятельности операторов;



Рис. 1. ФМС манипулятора МКК «Буран»

– модернизация физических макетов КМР, оснащение средствами технического зрения и силомоментного оцувствления.

В результате ФМС реализован в трех вариантах исполнения:

- в виде двухмашинной компьютерной системы; в этом варианте все компоненты модели КМР представлены в виртуальной форме;
- в упрощенном виде на базе одного Laptop;
- в виде полунатурной модели, включающей вычислительный комплекс из трех IBM PC, связанных по сети, а также физических макетов КМР (промышленные роботы), задающих устройств, систем технического зрения и средств силомоментного оцувствления.

Современный ФМС [6, 8, 9] представляет собой многофункциональный комплекс аппаратно-программных средств. В качестве робота-макета КМР используется шестистепенной ПР Kawasaki FS20N. Структура ФМС представлена на рис. 2, на рис. 3 – фотография ФМС.

Программные средства ФМС инвариантны по отношению к структуре и параметрам моделируемого КМР и имеют средства для оперативного ввода данных о звеньях, приводах, режимах управления и миссий КМР. ФМС настроен на параметры КМР ERA [10] МКС.

1. Структура ФМС

ФМС имеет модульную структуру и состоит из следующих частей:

- 1) моделирующая система реального времени (МСРВ) – программный комплекс моделирования кинематики, динамики, систем управления движением и действиями КМР; МСРВ установлена на отдельном компьютере;
- 2) имитатор пульта управления ERA, установленный на портативном компьютере;
- 3) ЭВМ для управления оборудованием;

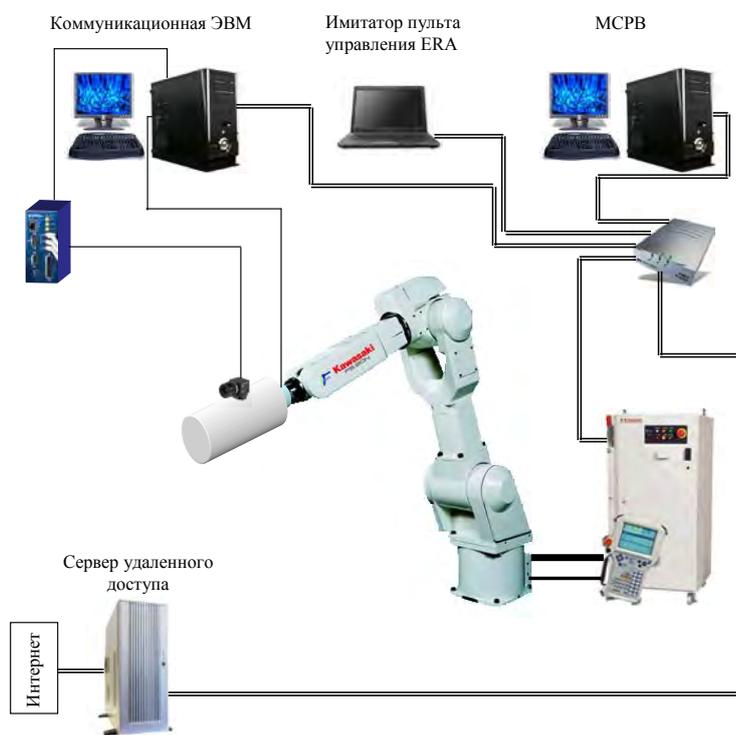


Рис. 2. Структура ФМС

Рис. 3. Мониторы ЭВМ и манипулятор ПР ФМС

- 4) промышленный робот (ПР) и его управляющий компьютер;
- 5) сервер удаленного доступа, установленный на отдельном компьютере.

Рабочий орган – захватное устройство и средства очувствления (система технического зрения – СТЗ, силомоментный датчик – СМД).

Организация сетевого взаимодействия распределенного ПО ФМС осуществляется посредством транспортного протокола TCP и сетевого протокола IP.

Основным программным модулем стенда является МСРВ на базе отдельной IBM PC. Аппаратные модули при необходимости могут исключаться или заменяться. В [11] представлены основные алгоритмы и программное обеспечение отдельных модулей ФМС.

2. Промышленный робот

ПР в составе полунатурного стенда предназначен для точного воспроизведения динамики механического контакта КМР с объектами и внешней среды и перемещения полезных грузов и аппаратных средств систем очувствления. В качестве ПР в ФМС применяется манипулятор Kawasaki FS 020N. Рабочий орган (РО) ПР оснащен комплектом специального оборудования (рис. 4):

- камера СТЗ;
- СМД системы измерения сил и моментов;
- захватное устройство.

Силомоментный датчик SCHUNK FTD-DELTA, установленный на ПР, измеряет реальные силы контакта, при этом используются габаритные физические макеты реальных ПГ, с которыми будет работать КМР на борту. Измеренные силы вводятся в компьютерную модель КМР.



Рис. 4. Рабочий орган ПР в составе ФМС: видеочамера СТЗ, СМД, захватное устройство

Для обеспечения функционирования оборудования РО в составе ФМС разработано специальное программное обеспечение (ПО) для управления компонентами РО, их взаимодействием и получением информации пользователями.

3. Дистанционное управление в ФМС

В составе ФМС – сервер удаленного доступа, благодаря которому предоставляется возможность удаленного доступа к процессам управления и моделирования КМР по сети Интернет [11].

В согласованное время удаленный пользователь подключается через сеть Интернет к программному обеспечению Web-сервера лаборатории, осуществляющего авторизацию пользователя и последовательную трансляцию серверу МСРВ ФМС команд управления в составе сформированной пользователем миссии (задания). Сервер МСРВ отрабатывает на математической модели и реальном роботе заданные пользователем команды и возвращает параметры состояния с частотой около трех раз в секунду. Полученные Web-сервером данные транслируются в клиентский пользовательский интерфейс через сеть Интернет. После завершения отработки текущей команды программное обеспечение осуществляет (в зависимости от состояния МСРВ) либо запуск следующей в миссии команды, либо завершение сеанса удаленного управления.

Параметры состояния математической модели робота непрерывно передаются от МСРВ к управляющему компьютеру робота, ПО которого обеспечивает перемещение ПР с полученными от модели координатами и скоростями перемещения звеньев робота.

4. Математическое обеспечение ФМС

КМР представляется в виде системы, включающей:

- n -звенный исполнительный механизм (ИМ), звенья которого – упругие тела;
- комплекс из n следящих приводов сочленений;
- систему управления движением;
- систему управления действиями (миссии КМР);
- систему безопасности.

4.1. Модель исполнительного механизма

Основу модели динамики ИМ составляют уравнения в форме блочных матриц [12].

Эти уравнения имеют вид

$$Aq'' + b = \mu_0 + c^T M_e + D^T F_e,$$

где q – n -мерный вектор координат сочленений ИМ;

b – n -мерный вектор центробежных и кориолисовы сил;

M_e – $3n$ -мерный блочный вектор внешних моментов, действующих на звенья;

F_e – $3n$ -мерный блочный вектор внешних приложенных к звеньям внешних сил;

c , D – $3n \times n$ -мерные блочные матрицы, связывающие блочные векторы угловых и линейных скоростей звеньев в декартовом пространстве и вектор производных координат сочленений;

A – $n \times n$ – матрица инерционных коэффициентов;

$$A = c^T J c + D^T M D,$$

J – $3n \times 3n$ – блочная матрица, составленная из тензоров инерции звеньев;

$M - 3n \times 3n$ – блочная матрица, составленная из масс звеньев.

При моделировании уравнения ИМ представляются в рекуррентной форме – в виде так называемых «прямых» и «обратных» соотношений [13] и в виде «косых суммы» (алгоритм «косынка») [14]. Учитываются деформации упругих звеньев.

4.2. Следящие приводы

В ФМС принято укрупненное описание исследуемого приводов в виде функциональных блоков. При моделировании в памяти ЭВМ создается база данных, в которой представлены уравнения всех модулей в нормальной форме Коши. Отдельно указываются связи между входными и выходными координатами модулей. «Сборка» уравнений приводов из уравнений входящих в их состав модулей производится автоматически. Процедура сборки алгоритмически совмещена с процедурой численного интегрирования.

В общем виде этот метод был реализован в программных комплексах [18, 19].

4.3. Управление движением

Движение КМР происходит под управлением системы планирования траекторий в декартовом пространстве или в пространстве координат сочленений.

Система планирования включает два этапа:

а) расчет точек вдоль отрезков прямых линий между точкой исходного положения и целевой точкой. Расчет точек производится с привязкой к реальному времени с частотой, соответствующей частоте квантования сигналов управляющей ЭВМ моделируемого КМР;

б) решение обратной кинематической задачи в каждой из запланированных точек.

Решение обратной кинематической задачи имеет особенности, связанные с учетом кинематической избыточности ИМ. Проблема избыточности преодолевается путем введения в рассмотрение дополнительных переменных, так называемых «индексов кинематической конфигурации».

В качестве декартовых систем координат рассматриваются системы, связанные в КМР («внутренние системы координат») и с внешними объектами («внешние системы координат»).

4.4. Моделирование миссий

Моделирование миссий предусматривает подготовку и реализацию программ-автосеквенций, состоящих из элементарных фрагментов типовых манипуляционных операций.

В ФМС на этапе подготовки пользователь разрабатывает свою программу действий КМР и кодирует ее на специальном языке – языке подготовки действий (ЯПД) [20].

Программа действий, написанная на ЯПД, подвергается трансляции во внутренний (рабочий) код.

Транслятор языка управления программами действий включает две части:

– компилятор языка, проверяющий корректность лексики и синтаксиса программы и дающий на выходе легко интерпретируемый набор команд (внутреннее представление кода);

– интерпретатор кода.

В основу ЯПД положены общие принципы управления КМР с помощью программ действий. Вызов действия является нижним уровнем детализации в ЯПД. Набор типовых действий ЯПД зависит от принципов управления КМР и учитывает применение для целей управления различных средств человеко-

машинного интерфейса. ЯПД поддерживает ввод и вывод информации с (на) различные поля вывода информации применяемого пульта управления (световые клавиши и индикаторы, поля графической информации – при компьютерной имитации облика КМР и объектов внешней среды), учитывает возможное наличие ручных контроллеров, физических имитаторов КМР и др.

4.5. Система безопасности

Составной частью современных КМР является подсистема избегания столкновений (Collision Avoidance, в дальнейшем – СА). СА – средство предотвращения столкновений КМР с окружающими предметами и пересечения звеньев друг с другом. При этом используются геометрические модели КМР, груза и объектов окружающей среды.

В ПО ФМС рассматриваются модели в виде трехмерных аппроксимаций действительных объектов. Модель КМР состоит из четырех-пяти соединенных звеньев. Геометрическая модель звена определяется как сферическое расширение сегмента, то есть, как объем, содержащий все точки, отстоящие от сегмента на расстояние, меньшее или равное выбранному радиусу R.

СА использует следующее правило проверки наличия столкновений: «Столкновение между объектами наличествует тогда и только тогда, когда относительное расстояние между ними меньше некоторого заданного предельного значения».

5. Программное обеспечение

5.1. Моделирующая система реального времени

Основным модулем стенда является моделирующая система реального времени (МСРВ). Главными задачами МСРВ при работе ФМС являются: автоматическое формирование уравнений КМР, решение этих уравнений численными методами и обмен данными с другими программными частями ФМС.

В МСРВ применена многопоточная (параллельная) технология вычислений на однопроцессорных системах: один из потоков вычислительного процесса выполняет построение модели КМ («алгоритмическая» часть), другой выполняет интегрирование полученных уравнений. Третий поток (коммуникационный) осуществляет взаимодействие с внешними объектами, функционируя параллельно с интегрирующим и алгоритмическим потоками. Для корректной организации многопоточных вычислений ПО использует стандартные средства Borland Builder C++.

ПО МСРВ может быть представлена состоящей из следующих частей:

1. ПО модели динамики исполнительного механизма (ИМ).
2. ПО кинематики ИМ, внешних объектов и навесного оборудования.
3. ПО модели приводов.
4. ПО алгоритмов управления.
5. ПО поддержки интерфейса ввода исходных данных.
6. ПО интерфейса выбора закона и параметров управления движением КМР.
7. ПО поддержки интерфейса связи с внешними устройствами (имитатор пульта IMM ERA, промышленный робот, СТЗ, СМД).
8. ПО поддержки интерфейса предъявления оперативных данных.
9. ПО поддержки интерфейса выбора уровня сложности модели ИМ.
10. ПО обеспечения связи с дистанционно удаленным пользователем.
11. ПО системы информационного обеспечения (СИО).

ПО МСРВ обладает следующими свойствами.

1. **ПО модели динамики ИМ МСРВ** обеспечивает автоматическое формирование и решение уравнений динамики многозвенных пространственных ИМ КМР. Звенья ИМ могут быть упругими.

2. МСРВ обеспечивает автоматическое **формирование и решение уравнений прямой кинематики**. Модель кинематики ИМ в МСРВ обеспечивает вычисление относительных векторов координат объектов, размещенных на звеньях ИМ или на неподвижном основании КМР. В качестве объектов рассматриваются телекамеры (например, телекамера на End Effector (ЕЕ), обзорная телекамера на основании), мишени и базовые точки. МСРВ обеспечивает также решение обратной кинематической задачи.

3. ПО МСРВ обеспечивает автоматическое **формирование структурной схемы и уравнений приводов шарниров** и получение решений по этим уравнениям в темпе реального времени. МСРВ имеет базу данных для элементов приводов (двигатели, редукторы и т.д.) и пользовательский интерфейс для их выбора и настройки параметров.

4. ПО МСРВ обеспечивает формирование и решение уравнений, описывающих различные **алгоритмы управления КМР**:

- движение КМР в свободном пространстве;
- движения КМР вблизи внешних объектов;
- выполнение контактных операций.

5. МСРВ имеет **пользовательский интерфейс**, позволяющий задать кинематические и массогабаритные параметры ИМ приводов:

- массогабариты исполнительного механизма;
- параметры упругих звеньев;
- параметры груза;
- параметры упругих деформаций;
- фиксация положений сочленений;
- структура и параметры приводов сочленений.

6. ПО интерфейса выбора **закона и параметров управления движением** КМР. Переключая закладки интерфейса, можно выбрать различные режимы управления (командный, ручной, тестовый, движения по траектории и др.) и задать их параметры (скорость, ускорение, направление движения и т.д.), а также установить командную систему координат и выбрать ее тип (внешняя, внутренняя).

7. Интерфейс **«Внешние устройства»** позволяет составить списки параметров модели для передачи/приема (через локальную сеть или порты) данных к подключенным устройствам (пульт управления, ручные контроллеры, промышленный робот, устройства регистрации, СМД, СТЗ и т.д.).

8. ПО поддержки интерфейса **предъявления оперативных данных**. Результаты интегрирования – временные процессы – могут быть выведены в виде графиков на экран в режиме on-line, либо записаны в файл для последующего предъявления и просмотра.

9. ПО обеспечения связи с **дистанционно удаленным пользователем**. Организация сетевого взаимодействия МСРВ с остальным ПО ФМС осуществляется посредством транспортного протокола TCP и сетевого протокола IP. Сетевая связь между всеми программами компьютерной сети ФМС осуществляется посредством сокетных соединений типа клиент-сервер.

10. ПО системы *информационного обеспечения (СИО)*. Составной частью МСРВ является СИО – система информационного обеспечения. ПО СИО позволяет предъявить к рассмотрению зарегистрированные ранее временные процессы в моделируемом КМР.

11. ПО имитатор *пульта управления* – обеспечивает доступ к большинству элементов управления движением и действиями, доступными в реальном ИММИ современных КМР. Для обеспечения большей наглядности графический облик пульта управления ФМС максимально приближен к облику ИММИ моделируемого КМР. В настоящее время пульту управления КМР в ФМС придан облик ИММИ ERA МКС.

12. ПО *системы безопасности*. Особенность ФМС – воспроизведение перемещений моделируемого КМР на физическом уровне. При этом не исключены столкновения ЗУМ промышленного робота с элементами собственной конструкции ПР, окружающими его предметами, операторами. В этой связи ФМС оснащен специальными программными средствами предотвращения столкновений ПР и КМР с препятствиями и самостолкновений отдельных звеньев моделируемого КМР.

ПО включает:

- программы расчета кратчайшего расстояния между различными геометрическими объектами;
- базу данных геометрических объектов, имитирующих препятствия внешней среды;
- программы расчета предельно возможных (с точки зрения исключения столкновений) расстояний между манипулятором и элементами внешней среды;
- программы моделирования логики функционирования СА;
- программы обеспечения отображения необходимой информации на имитаторе пульта управления.

Структурно программы системы безопасности в ФМС являются частью программного обеспечения имитатора пульта управления.

5.2. ПО рабочего органа (РО) промышленного робота

ПО РО реализовано в виде многопоточного приложения и предназначено для управления аппаратурой РО при выполнении операций движения в близкой зоне и контактных операций.

ПО РО решает следующие задачи:

- расчет координат камеры СТЗ относительно мишени;
- определение сил реакции, возникающих при воздействии на рабочий орган манипулятора;
- видеофиксация изображений при моделировании операций визуализации (например, осмотра внешней поверхности станции);
- формирование сигналов управления КМР при выполнении команд управления по данным от системы технического зрения (в КМР ERA – юстировка, приближение и отход);
- формирование сигналов управления КМР при управлении по данным от СМД (в КМР ERA – вставка, извлечение, расслабление).

По отношению к программам ПО ФМС, обеспечивающим человеко-машинный интерфейс между оператором и стендом, такими, как пульта локального и глобального управления, ПО РО является сервером.

По отношению к МСРВ программный комплекс выполняет функции клиен-

та. Для управления режимами движения, моделируемыми в МСРВ, ПО РО в качестве клиента подключается по адресу, который должен указать оператор стенда ФМС, к серверной части МСРВ, отвечающей за прием команд от программ управления движением.

ПО РО обладает графическим интерфейсом пользователя. Оператор стенда ФМС имеет возможность задать IP-адрес компьютера, на котором установлена МСРВ, и подключить ПО к МСРВ. Оператор может устанавливать необходимость приема команд от программ управления отдельными устройствами РО и имеет возможность контроля событий во время работы ПО.

Одновременно с подключением к серверной части МСРВ, ПО РО создает параллельный поток для контроля сетевых команд от управляющих клиентов (к серверу ПО РО может подключаться несколько клиентов). В случае успешного присоединения клиента ПО РО создает параллельный поток для работы с каждым клиентом. ПО РО управляется командами, поступающими от клиентов. Серверная часть программы возвращает результат выполнения полученной команды (положительный или отрицательный) клиенту.

6. Применение ФМС

6.1. Научные исследования

ФМС предоставляет возможности проведения исследований динамики и процессов управления МР с различной структурой и параметрами при выполнении ими операций как в свободном пространстве, так и разнообразных контактных операций.

На базе ФМС выполнена разработка и исследование алгоритмов управления при перемещении КМР в свободной зоне, приближении и отходе (с использованием СТЗ [21]), контактные операции установки и снятия объектов.

На рис. 5–7 приведены примеры записи процессов выполнения на ФМС операции, включающей фазы ручного управления перемещением КМР в свободном пространстве, и автоматических операций юстировки и приближения к базовой точке. Ручные операции выполняются по командам, подаваемым оператором с пульта ИММ. Автоматические операции – с использованием информации телекамеры СТЗ рабочего органа.

На рис. 5 – линейные и угловые координаты рабочего органа относительно базовой системы координат.

На рис. 6 – линейные координаты рабочего органа относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки.

На рис. 7 – угловые координаты рабочего органа относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки.

На рис. 8 приведены примеры записи процессов выполнения на ФМС контактной операции, заключающейся в перемещении схвата КМР по конической поверхности, соответствующей поверхности интерфейса стыковочных агрегатов. Операция выполняется в автоматическом режиме с использованием информации СМД, установленном на схвате ПР. На рис. 8 справа – координаты Z и Y ЗУМ КМР при выполнении контактной операции, слева – фрагмент записи зарегистрированных СМД сил контактного взаимодействия.

6.2. Подготовка операторов КМР

ПО ФМС дополнено программно-математическими средствами оценки управляющей деятельности операторов КМР [22]:

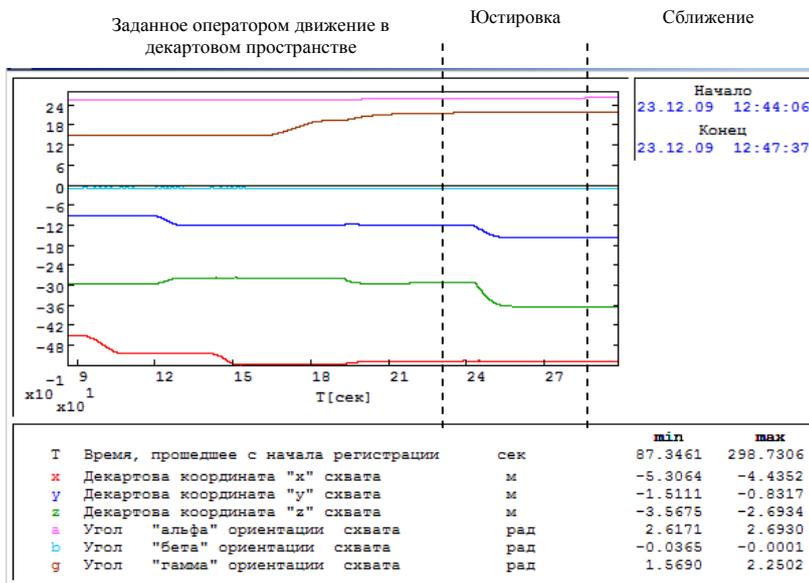


Рис. 5. Линейные и угловые координаты РО относительно базовой системы координат

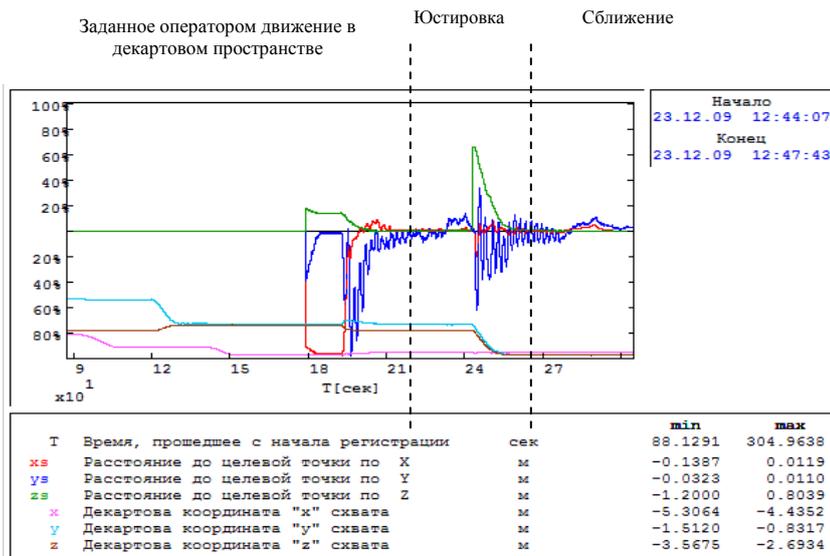


Рис. 6. Линейные координаты РО относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки

Заданное оператором движение Юстировка Сближение
в декартовом пространстве

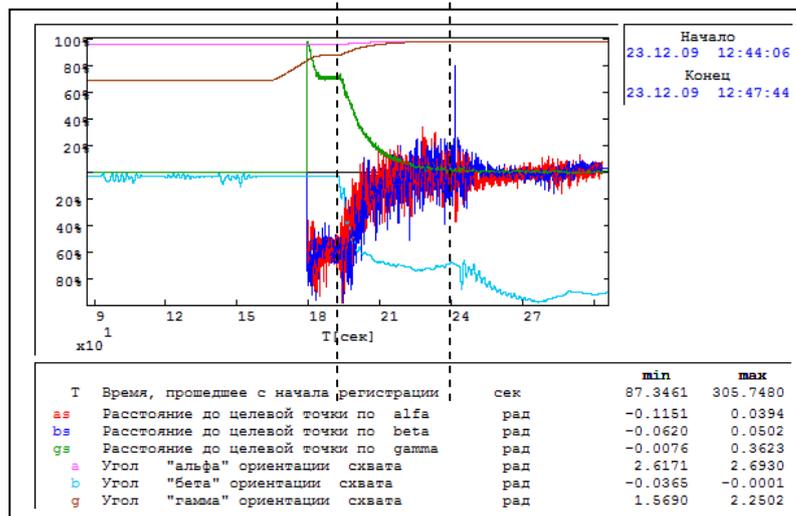


Рис. 7. Угловые координаты РО относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки

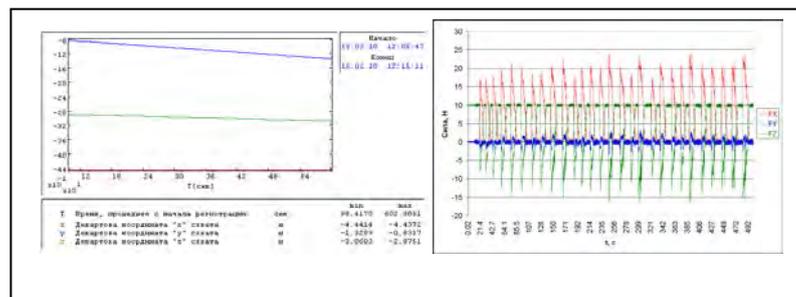


Рис. 8. Динамические процессы при выполнении контактной операции

1. Разработаны и обоснованы критерии оценки непрерывной управляющей деятельности на основе выполнения оператором серии тестовых операций (упражнений).
2. Разработаны сюжеты для составления тестовых операций.
3. Разработаны программно-методические средства (ПМС) оценки управляющей деятельности:
 - ПМС для составления тестовых операций позволяют составить различные тестовые операции с учетом ограничений, присущих конкретным КМР;

сформировать и сопровождать архив упражнений; инициировать и ставить на исполнение программное обеспечение МСРВ и других подсистем ФМС.

- ПМС регистрации процессов управления обеспечивает регистрацию параметров процесса управления, необходимых для расчета полного комплекта оценок.
- ПМС расчета первичных оценок просматривает файл с зарегистрированными параметрами и, если данные корректны, вычисляет первичные оценки по специально разработанным алгоритмам. Результат вычислений записывается в специальном образом организованную базу данных.
- ПМС статистической обработки оценок позволяют выполнить статистическую обработку совокупности первичных оценок для серии подходов каждого из зарегистрированных операторов.
- ПМС ведения базы данных, хранения и предъявления результатов позволяют пополнять базу оценок, просматривать имеющиеся первичные, и статистически обработанные оценки в наиболее информативной форме, корректно удалять ненужные записи.

Применение ПМС позволяет оперативно и обоснованно оценить степень подготовленности операторов, корректировать ход подготовки. Применение ПМС актуально при исследовании свойств человеко-машинного интерфейса.

На рис. 9 приведены примеры оценок управляющей деятельности двух операторов при выполнении ими транспортной операции (критерий оценки – время выполнения операции). На рис. 9 слева приведены первичные данные, на этом же рисунке справа – после регрессионного анализа (тренды). Кривые имеют характерный вид – в них различаются фаза обучения, плато постоянства качества и фаза усталости оператора.

На рис. 10 приведены результаты регрессионного анализа показателей двух видов для пяти различных операторов. Показатели характеризуют точность удерживания оператором заданного направления движения. Кривые показывают специфику различных операторов.

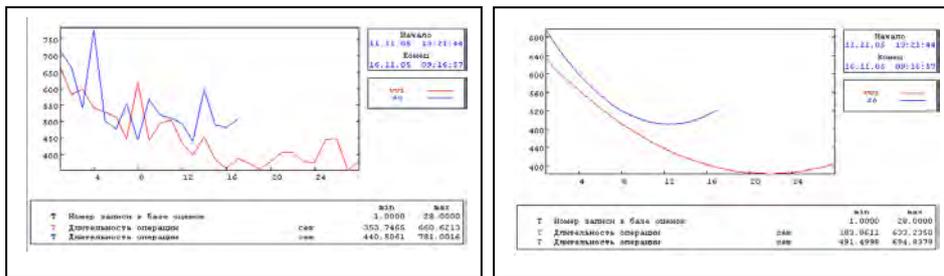


Рис. 9. График изменения первичной оценки «время наведения» и тренды для этой оценки

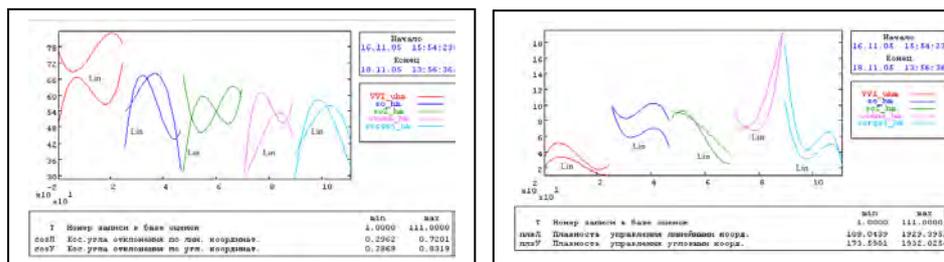


Рис. 10. Тренды показателей «точность» и «плавность»

На рис. 11 приведены результирующие оценки для четырех операторов по серии выполнения операции «Юстировка» с помощью 6-степенных рукояток. Операция заключается в обеспечении точной установки ЗУМ КМР относительно базовой точки. Критерий оценки – полнота использования возможностей средств управления.

Для целей начальной подготовки космонавтов – операторов КМР разработан программно-методический комплекс «Манипуляторы Международной космической станции». Комплекс включает общие данные о трех КМР МКС (ERA, SSRMS, JEMRMS) и в режиме анимации иллюстрирует выполнение типовых манипуляционных операций КМР [23]. На рис. 12–13 приведены некоторые видеок кадры комплекса.

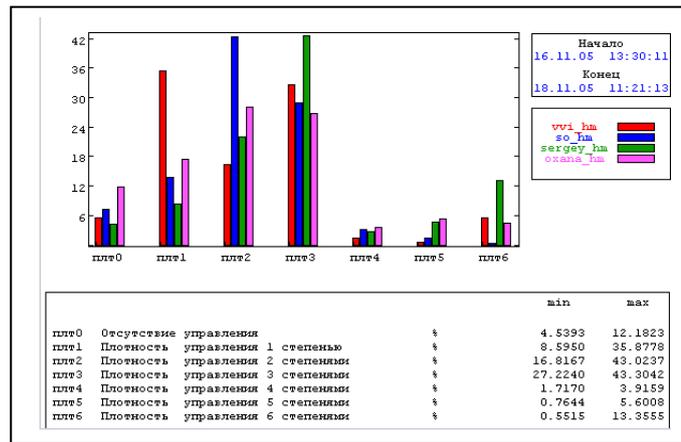


Рис. 11. Статистические оценки показателя «плотность управления»



Рис. 12. Заглавный видеокادر комплекса



Рис. 13. Иллюстрация режима полуавтоматического управления от задающих рукояток

7. Направления развития ФМС

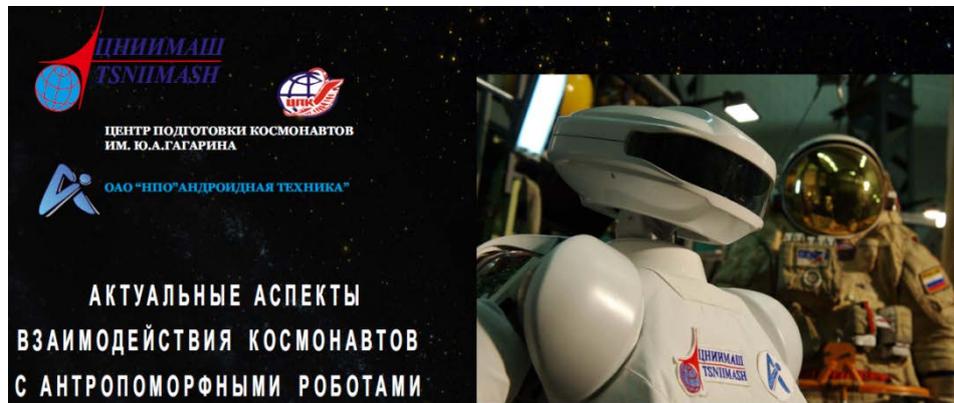
Главные свойства ФМС – гибкое программное обеспечение, развитый пользовательский интерфейс, включение физических макетов подсистем и элементов КМР позволяют проводить на его базе опережающие исследования по широкому кругу актуальных проблем: организация человеко-машинного интерфейса, отработка операций при осуществлении внекорабельной деятельности космонавтов, оценка управляющей деятельности операторов, построение полуавтономных и супервизорных систем дистанционного управления КМР, интеллектуальные КМР, управление двурукими КМР с тактильным очувствлением и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лесков А.Г., Шигорин Л.П., Шишов В.П. Автоматизированное проектирование систем управления манипуляционными роботами при помощи аналого-цифрового вычислительного комплекса. // Управление робототехническими системами и их очувствление: Сборник статей. – М., 1983. – С. 59–69.
- [2] Программно-аппаратурный комплекс для моделирования и расчета систем управления манипуляционных роботов/ В.Н. Казаков, А.Г. Лесков, В.Е. Метлин, А.К. Сидоров // Управление в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах: Межвуз. сб. научных трудов. – М.: МИРЭА, 1987. – С. 34–40.
- [3] Лесков А.Г., Игнатов В.И., Лескова С.М. Полунатурное моделирование технологических операций, выполняемых робототехническими комплексами // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1993. – № 2. – С. 136–139.
- [4] Лесков А.Г., Илларионов В.В. Математическое и полунатурное моделирование операций космических манипуляционных роботов // Пилотируемые полеты в космос: Тез. докл. 8-й Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 2009. – С. 70–71.
- [5] Лесков А.Г., Илларионов В.В., Лескова С.М., Полухин В.И. Разработка функционально-моделирующих стендов для подготовки операторов космических манипуляционных

- роботов. Звездный городок, тез. докл. 6-й МНТК «Пилотируемые полеты в космос». – 2005. – С. 179–180.
- [6] Универсальный функционально-моделирующий стенд космических манипуляционных роботов в системе подготовки космонавтов / В.И. Полухин, В.П. Вересов, И.В. Воронцов, А.Г. Лесков // *Авиакосмическая техника и технология*. Научно-технический журнал. – 2000. – № 3. – С. 53–61.
- [7] Лесков А.Г., Метлин В.Е., Игнатов В.И. Полунатурное моделирование операций, выполняемых с использованием космических манипуляторов // *Профессиональная деятельность космонавтов и пути повышения ее эффективности*: Тез. докл. Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 1993. – С.115–116.
- [8] Integrated Laboratory Instruction in Robotics / V.V. Illarionov, A.G. Leskov, S.M. Leskova, A.V. Shumov and A.M. Zimin, // *Engineering Education: Proc. of International Conference ICEE-2008*. – Pecs – Budapest, Hungary, 2008. – Paper No 83.
- [9] Remote Access Computer-Aided Laboratories and Practical Training of XXI Century Engineers / I.B. Fedorov, A.M. Zimin, S.V. Korshunov, A.G. Leskov, G.N. Solovyev, B.V. Buketkin and A.V. Shumov // *Innovations 2008: World Innovations in Engineering Education and Research* / Ed. W. Aung. - INEER, USA, Arlington, VA, 2008. – Chap. 37, pp. 415–423.
- [10] ERA. Flight Operations Manual and Procedures. – Fokker Space B.V., Nov 2005.
- [11] Система удаленного доступа к учебно-научному экспериментальному робототехническому комплексу / А.М. Зимин, В.В. Илларионов, А.Г. Лесков, С.М. Лескова, А.В. Шумов // *Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач*: Труды Всероссийской научной конференции. – М. – 2008. – С. 437–439.
- [12] Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. – М.: Наука, 1978. – 416 с.
- [13] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
- [14] Лесков А.Г., Ющенко А.С. Моделирование и анализ робототехнических систем. – М.: Машиностроение, 1992. – 80 с.
- [15] Лесков А.Г., Медведев В.С. Анализ динамики и синтез управления движением исполнительных органов роботов-манипуляторов // *Изв.АН СССР. Техническая кибернетика*. – 1974. – № 6. – С. 80–88.
- [16] Построение систем управления роботами с использованием математических моделей манипуляционных устройств / Е.П.Попов, А.Ф.Верещагин, А.Г.Лесков, В.С.Медведев // *Управление в пространстве*: Труды VI Международного симпозиума ИФАК. – М., 1974. – Т. 2 – С. 255–266.
- [17] Лесков А.Г., Илларионов В.В., Лескова С.М. Методы и алгоритмы моделирования динамики манипуляционных роботов // *Оборонная техника*. Научно-технический журнал. – 2001. – № 8–9. – С. 50–57.
- [18] Комплекс программ автоматизации моделирования следящих приводов. / А.Г. Лесков, Ю.Х.Аминев., С.М. Лескова, Л.П. Шигорин // *Алгоритмы и программы*: Сб. ГосФАП СССР. – М., 1985. – № 2. – С. 70.
- [19] Комплекс программ автоматизации проектирования следящих приводов. / А.Г.Лесков, Ю.Х.Аминев, С.М.Лескова, Л.П.Шигорин // *Алгоритмы и программы*: Сб. ГосФАП СССР. – М., 1985. – № 2. – С. 58.
- [20] Лесков А.Г., Илларионов В.В. Моделирование программ действий космических манипуляционных роботов. Звездный городок, тез. докл. 5-й МНТК «Пилотируемые полеты в космос», 2003, С. 40–41.
- [21] Вудс Р, Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [22] Лесков А.Г., Игнатов В.И., Лескова С.М. Информационно-методическое обеспечение задач подготовки операторов бортовых манипуляторов // *Пилотируемые полеты в космос*: Тез. докл. 3-й Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 1997. – С. 103–104.
- [23] Лесков А.Г., Игнатов В.И., Илларионов В.В. Интерактивный компьютерный курс «Манипуляторы МКС» // *Пилотируемые полеты в космос*: Тез. докл. 4-й Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 2000. – С. 100–101.

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



С помощью систем виртуального погружения, полунатурного и физического моделирования исследуются четыре основных сценария взаимодействия космонавта с роботом-андроидом:

- внутри гермоотсеков орбитальной станции;
- в условиях открытого космоса на поверхности орбитальной станции;
- внутри жилых и производственных модулей напланетных станций;
- на поверхности планет.

КОСМОНАВТОВ С АНТРОПОМОРФНЫМИ РОБОТАМИ



Обеспечение полнофункциональной эффективности и стабильности результатов совместной деятельности во многом зависит также от психической адаптации космонавта к расширенным интеллектуальным возможностям с роботом-андроидом.

Основные аспекты взаимодействия и особенности восприятия космонавтом робота следующие:

- работа оператора с задающим устройством;
- функциональное использование исполнительного устройства в качестве помощника, управляемого оператором внутри орбитальной станции и вне гермоотсеков;
- речевой диалог.

Создание лабораторно-исследовательского комплекса для изучения функционального, психологического, социального аспектов взаимодействия космонавтов с антропоморфными роботами в условиях открытого космоса, орбитальной станции, длительного межпланетного полета, а также напланетных баз с использованием методов имитационного, полунатурного и физического моделирования, включая применение:

- полноразмерных макетов;
- систем интерактивного интеллектуального человеко-машинного взаимодействия;
- технологий виртуального погружения и тренажеров виртуальной реальности.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАБОТЫ В КОСМОСЕ

А.А. Богданов, И.М. Кутлубаев, В.Б. Сычков

А.А. Богданов (ОАО «НПО «Андроидная техника»)
Профессор, докт. техн. наук., чл.-корр. РАЕН И.М. Кутлубаев
В.Б. Сычков (ОАО «НПО «Андроидная техника»)

В статье представлено обоснование выбора варианта робототехнической системы, предназначенной для работы в космосе. Определена структурная схема исполнительных устройств, системы управления и контроля. Представлены результаты практической реализации системы управления.

Ключевые слова: антропоморфная робототехническая система, манипулятор, система управления.

Prospects of Anthropomorphic Robotic Systems for Space Activity.

A.A. Bogdanov, I.M. Kutlubaev, V.B. Sychkov

The paper presents the rationale for the choice of the robotic system option that is designed for use in space. The control-flow chart of operational units, control and monitoring systems is defined. Results of practical implementation of the control system are showed.

Key words: anthropomorphic robotic system, manipulator, control system.

Эксплуатация орбитальных станций характеризуется выполнением возрастающего объема работ как внутри станции, так и на ее внешней поверхности. Значительная часть действий выполняется космонавтами. Необходимость повышения эффективности их работы и их безопасности определяет потребность в квалифицированных «помощниках». При этом, основными требованиями к ним является функционирование с кинематикой, маневренностью, точностью и адаптивностью приближающимися к возможностям человека или превышающих их.

В данном случае речь идет не о манипуляторах, введенных в состав космических объектов достаточно давно [1, 2], и обеспечивающих преимущественно транспортные операции – глобальные перемещения, а об устройствах, которые в состоянии выполнять действия, аналогичные работе космонавта в пределах локальной зоны – робототехнических системах.

Направленность на создание таких систем четко прослеживается в работах, выполняемых зарубежными космическими агентствами [3, 4]. Исследования в этом направлении ведутся особенно активно в рамках программ освоения Луны. На наш взгляд, в интересах космической программы Российской Федерации национальным робототехническим системам должно уделяться более существенное внимание.

Основное назначение определяет задачи, для решения которых разрабатывается робототехническая система. Их можно разделить на три группы:

1. Обеспечение внекорабельной деятельности космонавта:

- перенос инструмента и оборудования;
- подача и уборка оснастки и инструмента;
- страховка;
- контроль выполняемых действий;
- выполнение функций ассистента (с внешним управлением).

2. Интеллектуальная поддержка космонавта:

- подбор и предоставление технической и оперативной информации по голосовому запросу;

- контроль за психоэмоциональным и физическим состоянием космонавта;
- обеспечение устойчивой связи с МКС и в экстренных случаях с Землей;
- мониторинг внешней обстановкой.

3. Автономная, контрольно-инспекционная и ремонтно-восстановительная деятельность:

- проверка состояния с использованием видеокамер и/или регистрирующих приборов: поверхности, оборудования, аппаратуры;
- сборочные операции;
- очистка поверхностей;
- нанесение на поверхности покрытий;
- подтяжка крепежных соединений.

Совокупность составляющих частей робототехнического комплекса должна обеспечить выполнение всех перечисленных задач.

Робототехническая система как высокоэффективный помощник космонавта представляет собой сочетание различных по функциям и составу взаимодействующих модулей.

Комплекс задач, решаемых робототехнической системой, определяет ее составные части:

- управляемый исполнительный комплекс, выполняющий физические действия с объектами вне МКС;
- модуль информационной поддержки;
- модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства;
- модуль контроля физического и эмоционального состояния космонавта;
- модуль оперативной и глобальной связи.

Основой робототехнической системы является исполнительный комплекс. В связи с этим следует решить вопросы, связанные с его созданием с параметрами, обеспечивающими достижения поставленных задач. Следует определить структурную схему, геометрические параметры и кинематические характеристики.

Принципиальными вопросами, лежащими в основе построения исполнительного комплекса, являются: выбор структурной схемы и системы управления. На сегодняшний день можно выделить две основные концепции их построения.

В основу первой положен модульный принцип. Исполнительный комплекс выполняется в виде совокупности манипуляторов, состоящих из однотипных модулей. Это позволяет достаточно простым образом получить структурную схему со значительным числом степеней свободы. Несомненным преимуществом является небольшая (по сравнению с иными вариантами) стоимость, взаимозаменяемость модулей, меньший объем запасных узлов.

Однако данному принципу построения присущи недостатки, обусловленные структурной схемой манипулятора и системой его управления. Схема модулей ограничивает возможность использования кинематических пар IV класса, т.е. две совпадающие по расположению степени свободы. Данное обстоятельство резко ограничивает мобильность манипулятора и угол сервиса в точке позиционирования. Кроме того, для достижения требуемого числа степеней подвижности требуется большее число подвижных звеньев, что ведет к увеличению габаритов и массы манипулятора. Особенностью данной схемы являются ограничения, накладываемые на системы управления. Практически исключается управление оператором в интерактивном режиме, т.к. требуется контролировать и задавать движения по значительному числу степеней свободы одновременно.

Второй принцип построения основан на создании исполнительного комплекса со структурной схемой, близкой к строению человеческого тела. Примером реализации является робот Eurobot [3]. Развитием идей, заложенных в робота "Eurobot", является концепция, использованная NASA и General Motors при создании Robonaut 1 и Robonaut 2 (R2) [4] (рис. 1). При создании R2 особый акцент был сделан на возможность работы с преимущественным использованием тех же инструментов, что астронавты применяют в настоящее время. Это исключает необходимость в дополнительном комплекте специализированных инструментов для R2.



Рис. 1. Robonaut 2

Следует полагать, что принимаемая структурная схема исполнительного комплекса должна обеспечить:

- спектр движений в зоне обслуживания и точке позиционирования, сравнимый с действиями руки и кисти человека;
- эффективное управление всеми степенями свободы в условиях неопределенной или меняющейся обстановки одним оператором;
- возможность адекватной оценки оператором обстановки в рабочей зоне.

Структурные схемы исполнительного комплекса, реализующие второе направление, в максимальной степени соответствуют данным требованиям. В связи с этим для дальнейших разработок следует использовать структурную схему, аналогичную схеме верхней части скелета человека и содержащую не менее двух манипуляторов, оснащенных универсальными захватами. В этом случае исполнительный комплекс представляет собой связанную – кинематически и функционально – совокупность механических устройств (рис. 2): манипуляторов, захватов, передвижения и фиксации комплекса, а также систем управления, контроля рабочей зоны.

Каждый манипулятор должен иметь не менее шести степеней свободы, ведь только в этом случае обеспечивается зона обслуживания и угол ориентации захвата, аналогичные создаваемым рукой космонавта. Длины звеньев совпадают с аналогичными параметрами человека или выполнены с соблюдением пропорций.

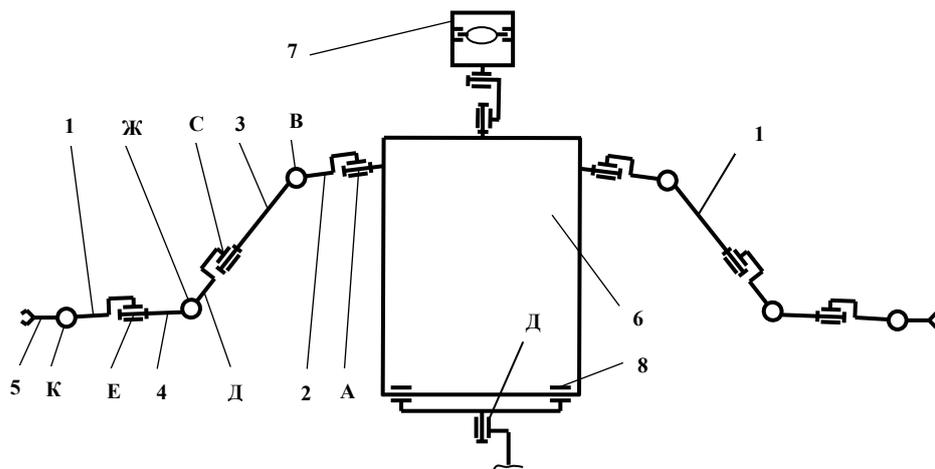


Рис. 2. Кинематическая схема антропоморфного робота
 (1 – манипулятор; 2 – «предплечье»; 3 – «плечо»; 4 – «локоть»; 5 – захват; 6 – корпус;
 7 – блок контроля; 8 – подвижность корпуса типа «качание»; Д – подвижность
 соединения корпус–устройство фиксации (условно не показан); А, С, Е – кинематические
 пары с продольной осью вращения; В, Ж – кинематические пары с поперечной
 осью вращения, К – вращательная кинематическая пара V класса)

Для выполнения требуемых действий в точке позиционирования манипуляторы оснащаются захватами с пятью или тремя структурными группами, аналогичными пальцам человека. Вместо захватов могут быть установлены специальные сменные приспособления, предназначенные для выполнения типовых работ.

Корпус является несущей конструкцией для манипуляторов, а также емкостью для хранения инструментов и источников автономного питания (при необходимости), местом размещения модулей, входящих в состав робототехнического комплекса. Для увеличения зоны обслуживания манипуляторов корпус следует оснастить подвижностью, по меньшей мере, по двум осям.

Блок контроля служит для визуального наблюдения через видеокamеры за действиями, выполняемыми манипуляторами (рис. 3). Соединение с корпусом посредством двух степеней свободы обеспечивает обзор всей рабочей зоны манипуляторов.

Выбор устройства фиксации определяется тем, где будет использоваться робототехнический комплекс: на борту МКС, вне ее или на планете.

Исполнительный комплекс оснащается системой автономного питания от аккумуляторов, размещенных в задней части корпуса.

Система управления должна позволять реализовывать весь диапазон возможных вариантов управления:

- в интерактивном режиме – оператором;
- в автоматическом режиме по одной из программ, сформированной методом «обучения» оператором, либо в режиме «супервизора»;
- в автономном режиме – осуществляя перемещение и манипуляции, основываясь на данных построения 3Д-среды вокруг РТС.

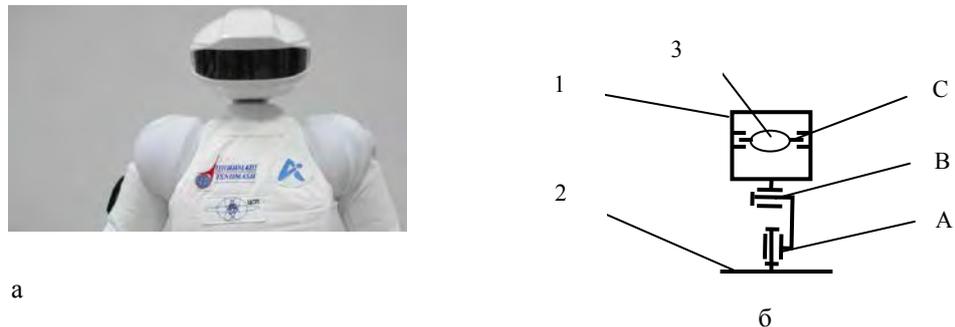


Рис. 3. Блок контроля рабочей зоны
(а – общий вид; б – кинематическая схема: 1 – корпус блока контроля;
2 – корпус робототехнической системы; 3 – видеокамера; А, В – кинематические пары ориентации корпуса блока контроля; С – кинематическая пара ориентации видеокамеры)

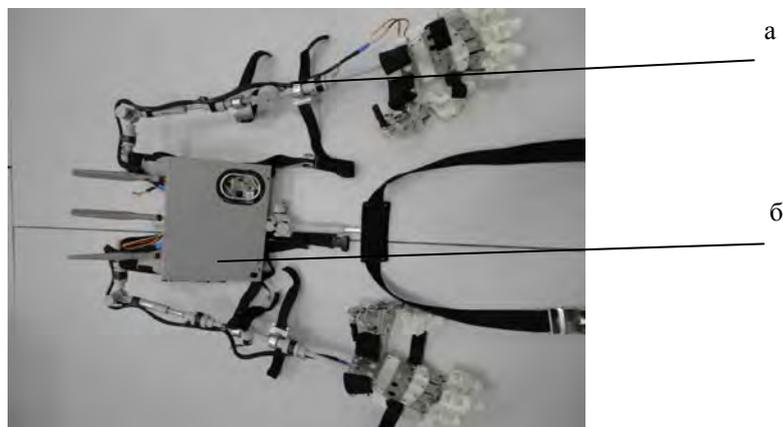


Рис. 4. Задающее устройство
(а – управление манипуляторами,
б – управление блоком контроля зоны обслуживания)

Требованиям, предъявляемым к интерактивному режиму работы, в полной мере отвечает способ, реализующий принцип «подобия» и осуществляемый оператором. Основной режим осуществлен через задающее устройство рычажного типа, надеваемое на оператора (рис. 4). При этом структурные схемы задающего устройства и исполнительного устройства полностью идентичны. В силу этого изменение взаимного расположения частей тела оператора формирует сигнал управления и «отрабатывается» аналогичными частями исполнительного комплекса.

Задающее устройство компактно, эргономично и включает в себя рычажную систему, датчики положения, установленные в кинематических парах, электронно-вычислительный блок, специальный шлем (рис. 5). Общая масса костюма управления составляет 8,5 кг. Его использование не требует специальных навыков и обучения.

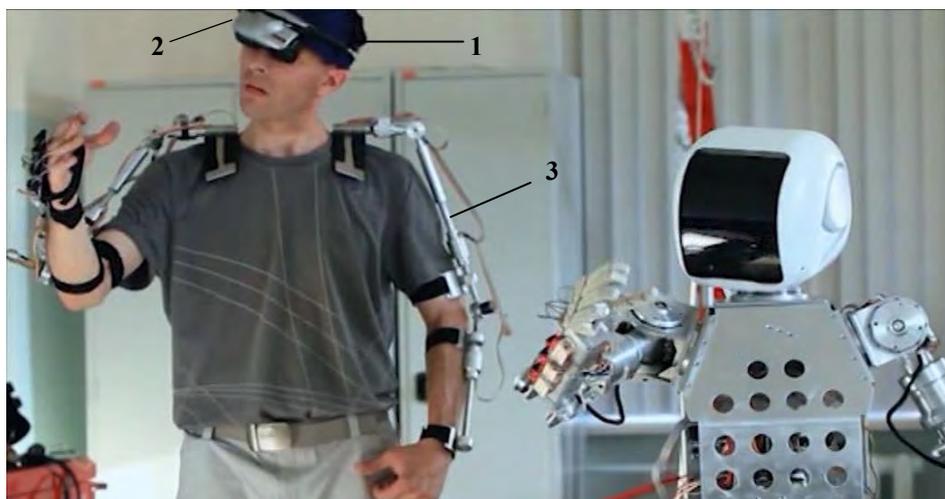


Рис. 5. Общий вид костюма управления
(1 – шлем; 2 – экран; 3 – задающее устройство)

Блок контроля зоны обслуживания обеспечивает не только визуальный контроль, но и к тому же создает эффект присутствия. Это стало возможным за счет управления положением блока контроля движениями головы оператора и проецированием изображения видеокамер на экран, установленный на шлеме оператора. Данная функция обеспечивает непрерывный обзор рабочей зоны манипуляторов. Создается возможность оперативного реагирования на изменение ситуации.

Система управления оснащается дополнительным контуром управления от персонального компьютера. При этом обеспечивается взаимодействие: микроконтроллер (задающее устройство) – персональный компьютер, – режим «обучения», персональный компьютер – микропроцессор исполнительного устройства, – выполнение движений по «библиотеке типовых движений».

Для оценки эффективности предлагаемых решений был построен исполнительный комплекс, реализующий предложенную структурную схему с параметрами звеньев, соответствующими руке взрослого мужчины (оператора). Активные и долговременные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Зона обслуживания имеет 70%-е совпадение с зоной, формируемой свободной рукой человека. Ограничено движение на периферийных участках.

2. Реализуемая скорость движений меньше естественных движений человека и определяется, в первую очередь, вычислительной мощностью компьютера.

3. В структурной схеме следует применять в соединении «К» («захват» – «локоть», рис. 1) кинематическую пару IV класса. В противном случае не удастся обеспечить необходимый угол сервиса в точках позиционирования.

4. Управление движением звеньев реализуется оператором практически без предварительного обучения.

5. Интерактивный режим позволяет корректировать положения захвата в соответствии с изменением текущей ситуации. Обеспечивается «слепое» управление по видеоинформации, предоставляемой камерами на экран шлема управления.

6. Введение программы движений «методом обучения» оператором обеспечивается в режиме реального времени.

Выполненные исследования подтверждают возможность создания антропоморфного робототехнического комплекса на основе изложенной концепции построения исполнительной системы и способа управления, реализующего принцип «подобия». С учетом полученных знаний необходимо совершенствовать исполнительную систему, оснащать ее всеми необходимыми модулями, обеспечивающими решение поставленных задач.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kersten L. The Lemma Concept a new manipulator // Mechanism and machine theory. – 1977. – V.12, n5. –P.209-213.
- [2] <http://www.yaschool.ru/education/country/canada/>
- [3] <http://www.esa.int/esaCP/index.html>
- [4] <http://www.nasa.gov/audience/foreducators/robotics/home/index.htm>

ВНУТРЕННИЙ ОБЪЕМ ОБИТАЕМОГО ПРОСТРАНСТВА ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТА ОПРЕДЕЛЕННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.И. Ярополов

Профессор, докт. техн. наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации
В.И. Ярополов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье на основе опыта выполнения экипажами полетов на советских (российских) и американских пилотируемых космических аппаратах определяется внутренний объем обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа, необходимый для выполнения полета определенной длительности.

Ключевые слова: пилотируемый космический аппарат, внутренний объем, обитаемое пространство, экипаж, длительность полета.

The Internal Habitable Volume of a Manned Space Vehicle Required for Performing Spaceflight of a Certain Duration. V.I. Yaroplov

Soviet/Russian and American experience in manned space missions became a basis for defining the internal habitable volume (per a crew member) of a manned space vehicle required for performing spaceflight of certain duration. The paper contains evaluation procedures and analysis results of dynamics of cosmonaut fitness during training for flight.

Key words: manned space vehicle, internal volume, habitable volume, crew, flight duration.

Проблема определения достаточного для члена экипажа внутреннего объема обитаемого пространства пилотируемого космического аппарата (ПКА) для выполнения полета определенной длительности стала особенно актуальной в связи с проведением работ по созданию новых пилотируемых космических средств, таких как:

- пилотируемый транспортный корабль нового поколения;
- орбитальный пилотируемый сборочно-экспериментальный комплекс;
- лунный экспедиционный комплекс;
- марсианский экспедиционный комплекс.

Опыт выполнения экипажами полетов на советских (российских) и американских пилотируемых космических аппаратах «Восток», «Восход», «Союз», «Салют», «Салют-3», «Салют-4», «Салют-5», «Салют-6», «Салют-7», «Мир», «Меркурий», «Джемини», «Аполлон», «Скайлэб», «Шаттл», а также на Международной космической станции (МКС) обеспечивает нас достаточным количеством данных (Приложение) для решения поставленной проблемы. В число этих данных входит 261 реализация полетов разной длительности, выполненных экипажами различной численности на ПКА с разными объемами обитаемого пространства.

В основу решения поставленной проблемы был положен принцип **«гарантированной достаточности определенного объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена его экипажа для выполнения этим экипажем полета определенной длительности»**. Суть его состоит в том, что если экипаж совершил на ПКА полет определенной длительности без значимых негативных последствий для него, то имеющийся объем обитаемого пространства на этом ПКА может считаться достаточным для гарантированного обеспечения выполнения полета такой длительности при данной численности экипажа.

Анализ данных, о которых речь шла выше, показывает, что имеется по несколько реализаций полетов разной продолжительности при одном и том же внутреннем объеме обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа. С точки зрения решаемой задачи определения гарантированной достаточности определенного объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена его экипажа для выполнения этим экипажем полета определенной продолжительности, интерес представляет только максимальная продолжительность полета в такой реализации. Выборка этих данных позволяет получить зависимость максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа (табл. 1). Графически данная зависимость представлена на рис. 1.

Таблица 1

Зависимость максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа

Объем ПКА в расчете на 1-го члена экипажа, м³	Длительность полета экипажа, сут
1,28	13,8
1,70	1,4
1,73	1,0
2,60	1,1
3,48	4,9
5,20	5,0
5,23	17,7
6,18	12,6
8,23	7,03
9,41	16,9
10,45	4,0
10,97	15,7
13,17	14,0
16,46	5,1
27,30	23,8
28,83	237,0
32,92	8,1
41,00	63,0
43,30	211,4
45,00	125,0
65,00	365,9
83,70	141,0
84,30	437,8
94,50	166,3
109,90	179,1
117,47	84,0
122,70	167,3
126,50	311,8
131,50	379,6
138,30	215,4

Окончание таблицы 1

Объем ПКА в расчете на 1-го члена экипажа, м ³	Длительность полета экипажа, сут
157,50	75,5
188,50	191,8
197,30	193,8
207,50	194,8
233,80	198,7

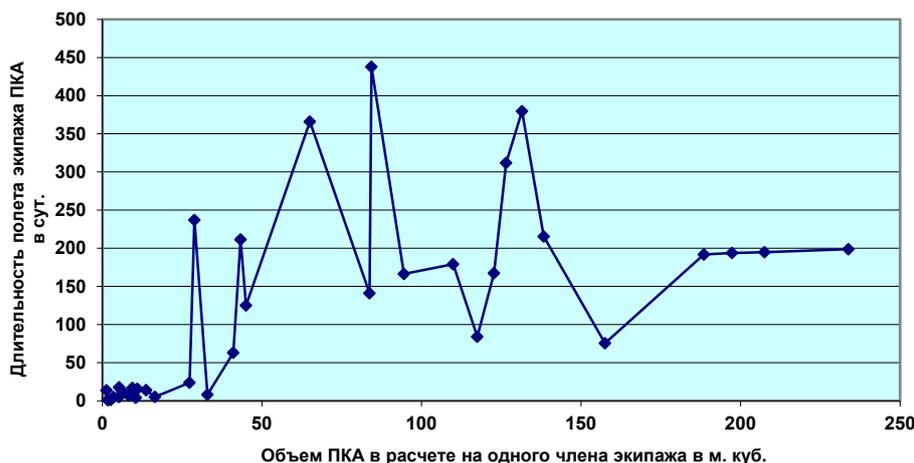


Рис. 1. Зависимость обеспечиваемой длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа

Понятно, что если при данном объеме обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа обеспечивается выполнение полета определенной продолжительности, то при большем объеме такая продолжительность будет обеспечиваться вне всякого сомнения. С этой точки зрения в полученной выборке следует отбросить все значения, которые при большем объеме обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа обеспечивают полет меньшей продолжительности. Полученные таким образом данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость обеспечиваемой максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа

Объем ПКА в расчете на 1-го члена экипажа, м ³	Длительность полета экипажа, сут
1,28	13,8
5,23	17,7
27,30	23,8
28,83	237,0
65,00	365,9
84,30	437,8

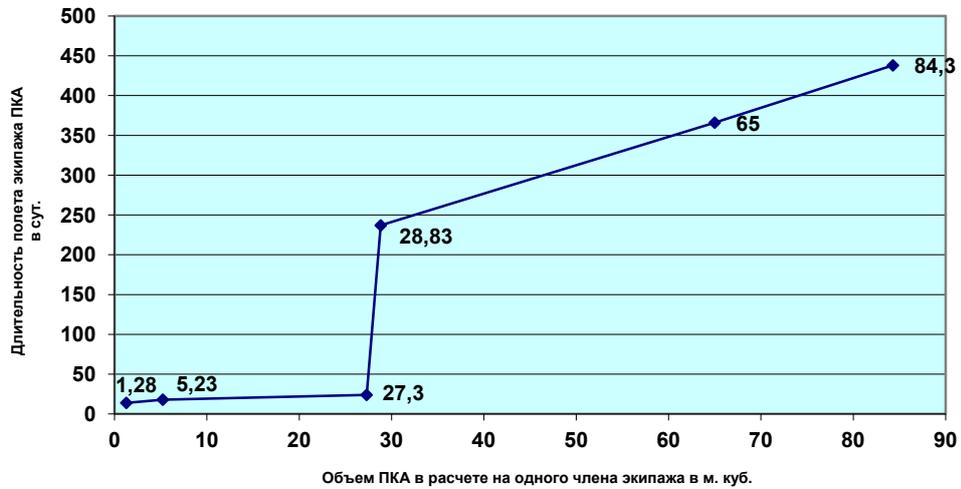


Рис. 2. Зависимость обеспечиваемой максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа

Графически зависимость обеспечиваемой максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа представлена на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что при объеме обитаемого пространства ПКА (всего объема герметичных обитаемых отсеков ПКА, а не свободного объема) из расчета $1,28 \text{ м}^3$ на члена экипажа можно гарантировать выполнение полета его экипажем без негативных для него последствий длительностью не более 14 суток. Такая ограниченная длительность полета экипажа с некоторым ее повышением до 24 суток сохраняется вплоть до объема обитаемого пространства ПКА из расчета $27,3 \text{ м}^3$ на члена экипажа. После этого происходит переход ко второму участку с объемом обитаемого пространства ПКА из расчета более $27,3 \text{ м}^3$ на члена экипажа, характерной особенностью которого является возможность выполнения экипажем полетов без негативных для него последствий длительностью 237 суток (при объеме $28,83 \text{ м}^3$ обитаемого пространства ПКА на члена экипажа) и более (366 суток при объеме 65 м^3 обитаемого пространства ПКА на члена экипажа), вплоть до 438 суток (при объеме $84,3 \text{ м}^3$ обитаемого пространства ПКА на члена экипажа).

В заключение следует заметить, что полученная зависимость обеспечиваемой максимальной длительности полета экипажа от объема обитаемого пространства ПКА в расчете на одного члена экипажа является отражением только опыта пилотируемых полетов, в то время как для получения подобного рода зависимостей могут использоваться и другие подходы, дающие несколько отличающиеся от полученных результаты.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица

Соотношение между внутренним объемом обитаемого пространства ПКА
и длительностью полета экипажа

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
Меркурий	1,7 м ³	1	1,7 м ³	0 сут 04 ч 43 мин
		1	1,7 м ³	0 сут 04 ч 56 мин
		1	1,7 м ³	0 сут 09 ч 13 мин
		1	1,7 м ³	1 сут 10 ч 20 мин
Джемини	2,55 м ³	2	1,28 м ³	0 сут 04 ч 48 мин
		2	1,28 м ³	4 сут 02 ч
		2	1,28 м ³	7 сут 32 ч
		2	1,28 м ³	13 сут 19 ч
		2	1,28 м ³	1 сут 02 ч
		2	1,28 м ³	0 сут 10 ч 41 мин
		2	1,28 м ³	3 сут 00 ч 15 мин
		2	1,28 м ³	2 сут 22 ч 48 мин
		2	1,28 м ³	2 сут 23 ч 17 мин
		2	1,28 м ³	3 сут 22 ч 34 мин
		Аполлон	КСМ – 13,9 (6,1) м ³ ; ЛМ – 4,64 м ³ ; Общий – 18,54 м ³	3
3	6,18 м ³			6 сут 03 ч 01 мин
3	6,18 м ³			10 сут 01 ч 01 мин
3	6,18 м ³			8 сут 00 ч 03 мин
3	6,18 м ³			8 сут 03 ч 19 мин
3	6,18 м ³			10 сут 04 ч 36 мин
3	6,18 м ³			5 сут 22 ч 55 мин
3	6,18 м ³			9 сут 00 ч 02 мин
3	6,18 м ³			12 сут 07 ч 12 мин
3	6,18 м ³			11 сут 01 ч 51 мин
Скайлэб	352,4 м ³	3	117,47 м ³	28 сут
		3	117,47 м ³	59 сут
		3	117,47 м ³	84 сут
Шаттл	65,84 м ³	2	32,92 м ³	2 сут 06 ч 21 мин
		2	32,92 м ³	2 сут 06 ч 13 мин
		2	32,92 м ³	8 сут 00 ч 05 мин
		2	32,92 м ³	7 сут 01 ч 10 мин
		4	16,46 м ³	5 сут 02 ч 14 мин
		4	16,46 м ³	5 сут 00 ч 24 мин
		5	13,17 м ³	6 сут 02 ч 04 мин
		5	13,17 м ³	6 сут 01 ч 09 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 07 ч 47 мин
		5	13,17 м ³	7 сут 23 ч 16 мин
		5	13,17 м ³	6 сут 23 ч 40 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
		6	10,97 м ³	6 сут 00 ч 56 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 05 ч 24 мин
		5	13,17 м ³	7 сут 23 ч 45 мин
		5	13,17 м ³	3 сут 01 ч 33 мин
		7	9,41 м ³	6 сут 23 ч 55 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 00 ч 09 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 01 ч 39 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 22 ч 45 мин
		5	13,17 м ³	7 сут 02 ч 18 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 01 ч 45 мин
		8	8,23 м ³	7 сут 00 ч 45 мин
		7	9,41 м ³	6 сут 21 ч 05 мин
		7	9,41 м ³	6 сут 02 ч 04 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 01 ч 00 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 09 ч 06 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 23 ч 39 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 00 ч 56 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 01 ч 00 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 23 ч 39 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 00 ч 07 мин
		5	13,17 м ³	10 сут 21 ч 01 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 10 ч 18 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 01 ч 16 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 02 ч 10 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 21 ч 55 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 23 ч 05 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 23 ч 33 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 07 ч 22 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 02 ч 14 мин
		5	13,17 м ³	8 сут 21 ч 21 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 08 ч 28 мин
		6	10,97 м ³	6 сут 22 ч 51 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 01 ч 15 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 22 ч 09 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 21 ч 18 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 19 ч 30 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 23 ч 15 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 22 ч 30 мин
		6	10,97 м ³	9 сут 20 ч 56 мин
		5	13,17 м ³	7 сут 07 ч 20 мин
		5	13,17 м ³	5 сут 23 ч 38 мин
		5	13,17 м ³	9 сут 06 ч 08 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 23 ч 40 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
		6	10,97 м ³	9 сут 23 ч 45 мин
		5	13,17 м ³	9 сут 20 ч 11 мин
		7	9,41 м ³	14 сут 00 ч 13 мин
		7	9,41 м ³	10 сут 19 ч 59 мин
		6	10,97 м ³	8 сут 07 ч 09 мин
		5	13,17 м ³	13 сут 23 ч 17 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 05 ч 49 мин
		7	9,41 м ³	14 сут 17 ч 55 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 22 ч 50 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 05 ч 46 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 22 ч 34 мин
		6	10,97 м ³	8 сут 06 ч 28 мин
		7	9,41 м ³	16 сут 15 ч 09 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 19 ч 22 мин
		5	13,17 м ³	8 сут 22 ч 20 мин
		5	13,17 м ³	10 сут 20 ч 29 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 21 ч 52 мин
		5	13,17 м ³	8 сут 04 ч 31 мин
		6	10,97 м ³	8 сут 22 ч 01 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 17 ч 40 мин
		6	10,97 м ³	9 сут 05 ч 16 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 00 ч 39 мин
		7	9,41 м ³	16 сут 21 ч 48 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 03 ч 18 мин
		5	13,17 м ³	17 сут 15 ч 53 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 04 ч 55 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 23 ч 37 мин
		7	9,41 м ³	3 сут 23 ч 13 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 05 ч 20 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 16 ч 45 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 20 ч 27 мин
		7	9,41 м ³	10 сут 19 ч 21 мин
		6	10,97 м ³	15 сут 16 ч 34 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 19 ч 47 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 21 ч 50 мин
		6	10,97 м ³	9 сут 19 ч 54 мин
		7	9,41 м ³	8 сут 21 ч 44 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 19 ч 18 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 19 ч 13 мин
		5	13,17 м ³	4 сут 22 ч 50 мин
		7	9,41 м ³	7 сут 23 ч 11 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 05 ч 39 мин
		7	9,41 м ³	9 сут 20 ч 09 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
		7	9,41 м ³	11 сут 19 ч 11 мин
		6	10,97 м ³	12 сут 21 ч 43 мин
		5	13,17 м ³	10 сут 19 ч 57 мин
		5	13,17 м ³	12 сут 21 ч 20 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 19 ч 50 мин
		7	9,41 м ³	11 сут 21 ч 50 мин
		5	13,17 м ³	12 сут 18 ч 35 мин
		7	9,41 м ³	11 сут 21 ч 13 мин
		7	9,41 м ³	11 сут 19 ч 36 мин
		7	9,41 м ³	10 сут 22 ч 10 мин
		7	9,41 м ³	10 сут 19 ч 43 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 20 ч 35 мин
		6	10,97 м ³	10 сут 19 ч 58 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 18 ч 47 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 22 ч 21 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 21 ч 32 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 18 ч 37 мин
		6	10,97 м ³	11 сут 19 ч 07 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 20 ч 44 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 20 ч 12 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 17 ч 56 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 02 ч 23 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 18 ч 22 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 18 ч 11 мин
		7	9,41 м ³	13 сут 18 ч 13 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 20 ч 29 мин
		7	9,41 м ³	12 сут 19 ч 30 мин
		7	9,41 м ³	15 сут 16 ч 45 мин
Восток	5,2 м ³	1	5,2 м ³	0 сут 01 ч 48 мин
		1	5,2 м ³	1 сут 01 ч 18 мин
		1	5,2 м ³	3 сут 22 ч 22 мин
		1	5,2 м ³	2 сут 22 ч 57 мин
		1	5,2 м ³	4 сут 23 ч 07 мин
		1	5,2 м ³	2 сут 22 ч 50 мин
Восход	5,2 м ³	3	1,73 м ³	1 сут 00 ч 17 мин
		2	2,6 м ³	1 сут 02 ч 02 мин
Союз	10,45 м ³	1	10,45 м ³	1 сут 02 ч 48 мин
		1	10,45 м ³	3 сут 22 ч 51 мин
		3	3,48 м ³	3 сут 00 ч 54 мин
		3	3,48 м ³	1 сут 23 ч 46 мин
		2	5,23 м ³	4 сут 22 ч 43 мин
		3	3,48 м ³	4 сут 22 ч 40 мин
		2	5,23 м ³	4 сут 22 ч 51 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
		2	5,23 м ³	17 сут 16 ч 59 мин
		2	5,23 м ³	1 сут 23 ч 16 мин
		2	5,23 м ³	7 сут 20 ч 56 мин
		2	5,23 м ³	2 сут 00 ч 12 мин
		2	5,23 м ³	5 сут 22 ч 24 мин
		2	5,23 м ³	5 сут 22 ч 31 мин
		2	5,23 м ³	7 сут 21 ч 52 мин
		2	5,23 м ³	2 сут 00 ч 07 мин
		2	5,23 м ³	2 сут 00 ч 45 мин
		2	5,23 м ³	1 сут 23 ч 01 мин
		3	3,48 м ³	2 сут 00 ч 18 мин
Салют	82 м ³	3	27,3 м ³	23 сут 18 ч 22 мин
Салют-3	90 м ³	2	45 м ³	15 сут 17 ч 30 мин
Салют-4	82 м ³	2	41 м ³	29 сут 13 ч 20 мин
		2	41 м ³	62 сут 23 ч 20 мин
Салют-5	90 м ³	2	45 м ³	49 сут 06 ч 24 мин
		2	45 м ³	17 сут 17 ч 26 мин
Салют-6	86,5 м ³	2	43,3 м ³	96 сут 10 ч 00 мин
		2	43,3 м ³	5 сут 22 ч 59 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 22 ч 16 мин
		2	43,3 м ³	139 сут 14 ч 48 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 22 ч 03 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 49 мин
		2	43,3 м ³	175 сут 00 ч 36 мин
		2	43,3 м ³	184 сут 20 ч 12 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 46 мин
		2	43,3 м ³	3 сут 22 ч 19 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 42 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 43 мин
		3	28,83 м ³	12 сут 19 ч 08 мин
		2	43,3 м ³	74 сут 17 ч 37 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 42 мин
		2	43,3 м ³	7 сут 20 ч 43 мин
Салют-7	86,5 м ³	2	43,3 м ³	211 сут 09 ч 05 мин
		3	28,83 м ³	7 сут 21 ч 51 мин
		3	28,83 м ³	7 сут 21 ч 52 мин
		2	43,3 м ³	149 сут 10 ч 46 мин
		3	28,83 м ³	236 сут 22 ч 49 мин
		3	28,83 м ³	7 сут 21 ч 40 мин
		3	28,83 м ³	11 сут 19 ч 15 мин
		2	43,3 м ³	112 сут 03 ч 12 мин
		2	43,3 м ³	168 сут 03 ч 51 мин
		3	28,83 м ³	64 сут 21 ч 52 мин
		3	28,83 м ³	8 сут 21 ч 13 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
Мир	ББ – 90 м ³ ;	2	45 м ³	125 сут 00 ч 01 мин
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Общий объем – 130 м ³	2	65 м ³	326 сут 11 ч 38 мин 160 сут 07 ч 17 мин 174 сут 03 ч 25 мин
		2	65 м ³	365 сут 22 ч 39 мин
		3	43,3 м ³	9 сут 20 ч 09 мин
		3	43,3 м ³	8 сут 20 ч 26 мин
		2	65 м ³	151 сут 11 ч 08 мин 240 сут 22 ч 35 мин
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Квант-2 – 59 м ³ ; Общий объем – 189 м ³	2	94,5 м ³	166 сут 06 ч 58 мин
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Квант-2 – 59 м ³ ; Кристалл – 64 м ³ ; Общий объем – 253 м ³	2	126,5 м ³	179 сут 01 ч 18 мин
		2	126,5 м ³	130 сут 20 ч 36 мин
		2	126,5 м ³	175 сут 01 ч 51 мин
		2	126,5 м ³	144 сут 15 ч 22 мин 311 сут 20 ч 02 мин
		2	126,5 м ³	175 сут 02 ч 53 мин
		2	126,5 м ³	145 сут 14 ч 11 мин
		2	126,5 м ³	188 сут 21 ч 40 мин
		2	126,5 м ³	179 сут 00 ч 44 мин
		2	126,5 м ³	196 сут 17 ч 45 мин
		3	84,3 м ³	182 сут 00 ч 27 мин 437 сут 17 ч 59 мин
		2	126,5 м ³	125 сут 22 ч 54 мин
		2	126,5 м ³	169 сут 05 ч 22 мин
		3	84,3 м ³	115 сут 08 ч 43 мин
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Квант-2 – 59 м ³ ; Кристалл – 64 м ³ ; Спектр – 62 м ³ ; Общий объем – 315 м ³	2	157,5 м ³	75 сут 11 ч 20 мин
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Квант-2 – 59 м ³ ; Кристалл – 64 м ³ ; Спектр – 62 м ³ ; СО – 14,6 м ³ ; Общий объем – 329,6 м ³	3	109,9 м ³	179 сут 01 ч 42 мин

Продолжение таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета
	ББ – 90 м ³ ; Квант – 40 м ³ ; Квант-2 – 59 м ³ ; Кристалл – 64 м ³ ; Спектр – 62 м ³ ; СО – 14,6 м ³ ; Природа – 65 м ³ ; Общий объем – 394,6 м ³	2	197,3 м ³	193 сут 19 ч 08 мин
		3	131,5 м ³	196 сут 17 ч 26 мин 188 сут 04 ч 00 мин
		3	131,5 м ³	184 сут 22 ч 08 мин 132 сут 04 ч 00 мин
		3	131,5 м ³	197 сут 17 ч 35 мин 144 сут 13 ч 47 мин
		3	131,5 м ³	207 сут 12 ч 51 мин 127 сут 20 ч 01 мин
		3	131,5 м ³	198 сут 16 ч 31 мин 379 сут 14 ч 51 мин
		2	197,3 м ³	72 сут 19 ч 42 мин
МКС	ФГБ – 71,5 м ³ ; Node 1 – 90,5 м ³ ; СМ – 89 м ³ ; Общий объем – 251 м ³	3	83,7 м ³	140 сут 23 ч 39 мин
		3	122,7 м ³	167 сут 06 ч 41 мин
				ФГБ – 71,5 м ³ ; Node 1 – 90,5 м ³ ; СМ – 89 м ³ ; ЛБМ – 117 м ³ ; Общий объем – 368 м ³
		3	138,3 м ³	128 сут 20 ч 45 мин
				195 сут 19 ч 38 мин
				184 сут 22 ч 14 мин
				161 сут 01 ч 14 мин
				184 сут 22 ч 46 мин
				194 сут 18 ч 33 мин
				187 сут 21 ч 16 мин
2	207,5 м ³	192 сут 19 ч 02 мин		

Окончание таблицы

Название ПКА	Внутренний объем, м ³	Численность экипажа	Внутренний объем на члена экипажа	Длительность полета	
		2	207,5 м ³	179 сут 00 ч 23 мин	
		3	138,3 м ³	189 сут 19 ч 53 мин	
		3	138,3 м ³	182 сут 22 ч 43 мин 171 сут 03 ч 54 мин	
		3	138,3 м ³	215 сут 08 ч 22 мин 194 сут 18 ч 02 мин	
		3	138,3 м ³	196 сут 17 ч 05 мин 151 сут 18 ч 23 мин	
		ФГБ – 71,5 м ³ ; Node 1 – 90,5 м ³ ; СМ – 89 м ³ ; ЛБМ – 117 м ³ ; ШК – 34 м ³ ; СО1 – 13 м ³ ; Node 2 – 75,5 м ³ ; ЕЛМ – 75 м ³ ; Общий объем – 565,5 м ³	3	188,5 м ³	191 сут 19 ч 07 мин 48 сут 04 ч 54 мин 119 сут 22 ч 29 мин
		ФГБ – 71,5 м ³ ; Node 1 – 90,5 м ³ ; СМ – 89 м ³ ; ЛБМ – 117 м ³ ; ШК – 34 м ³ ; СО1 – 13 м ³ ; Node 2 – 75,5 м ³ ; ЕЛМ – 75 м ³ ; ЯЛМ – 136 м ³ ; Общий объем – 701,5 м ³	3	233,8 м ³	198 сут 16 ч 20 мин 183 сут 00 ч 23 мин 95 сут 08 ч 47 мин
			3	233,8 м ³	178 сут 00 ч 14 мин 133 сут 18 ч 18 мин

В Приложении использованы следующие обозначения: КСМ – командно-служебный модуль; ЛМ – лунный модуль; ББ – базовый блок; СО – стыковочный отсек; ФГБ – функционально-грузовой блок; СМ – служебный модуль; ЛБМ – лабораторный модуль; ШК – шлюзовая камера; СО1 – стыковочный отсек; ЕЛМ – европейский лабораторный модуль; ЯЛМ – японский лабораторный модуль.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ К СОХРАНЕНИЮ И УКРЕПЛЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ КОСМОНАВТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Р.Р. Каспранский, Л.И. Воронин, В.И. Почуев, В.В. Моргун

Канд. мед. наук, доцент Р.Р. Каспранский; профессор, акад. Международной академии астронавтики Л.И. Воронин; канд. мед. наук В.И. Почуев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Акад. Международной академии астронавтики В.В. Моргун (ФГУП «ЦЭНКИ», Роскосмос)

Проведен анализ существующих подходов к сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов Российской Федерации. На этой основе создана матрица оздоровления, включающая комплекс мероприятий (диагностических, оздоровительных и образовательных) по медицине, психологии, физической культуре и питанию. Разработанная концепция оздоровления может быть применена для различных профессий и населения страны в целом.

Ключевые слова: здоровье, космонавты, медицина, психология, физическая культура, питание, диагностика, оздоровление, обучение.

Systematization of Approaches to Preservation and Strengthening of Occupational Health of Cosmonauts of the Russian Federation.

R.R. Kaspransky, L.I. Voronin, V.I. Pochuyev, V.V. Morgun

The paper presents the analysis of the current approaches to preservation and strengthening of occupational health of cosmonauts of the Russian Federation. Analysis results became the basis for the development of a health strengthening matrix which includes the set of (diagnostic, psychological, health strengthening and educational) measures in medicine, psychology, physical culture, and nutrition. The developed concept of health strengthening can be applied to different professions and general population.

Key words: health, cosmonauts, medicine, psychology, physical culture, nutrition, diagnostics, health strengthening, education.

В практике космической медицины накоплен большой опыт по созданию системы, позволяющей сохранять и укреплять здоровье космонавтов. Естественно, что она создавалась и развивалась под влиянием систем здравоохранения и физической культуры, но по мере совершенствования приобретала специфические черты, которые в настоящее время существенно отличаются от среды, в которой она создавалась.

Учитывая, что основную часть своей профессиональной деятельности космонавт проводит в наземных условиях, а не в космическом полете, мы анализировали данную систему, существующую в ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (далее Центр подготовки космонавтов), которая включает следующие основные компоненты:

- отбор космонавтов;
- медико-биологическую подготовку космонавтов (подготовку по сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов);
- послеполетную реабилитацию.

Основными задачами отбора космонавтов применительно к здоровью является диагностика отклонений в состоянии здоровья, препятствующих освоению деятельности космонавта, а также определение функциональных возможностей организма в интересах прогноза профессионального долголетия космонавта. Для

решения этих задач проводится медицинский отбор, психологический отбор и отбор по уровню физической подготовленности [3].

Подготовка по сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов включает следующие основные разделы:

- медицинская экспертиза и динамический медицинский контроль за состоянием здоровья космонавтов;
- лечебно-профилактические мероприятия;
- медицинская подготовка;
- подготовка организма космонавтов к воздействию факторов космического полета;
- медицинское обеспечение профессиональной деятельности космонавтов;
- подготовка по питанию;
- медико-психологическая подготовка;
- физическая подготовка.

Проанализируем последовательно все разделы подготовки по сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов.

Медицинская экспертиза и динамический медицинский контроль за состоянием здоровья космонавтов включает в себя:

- ежегодные медицинские обследования;
- углубленные медицинские обследования один раз в 3 месяца;
- медицинское наблюдение в процессе тренировок, контроль доз рентгеновского облучения;
- этапные медицинские обследования (перед проведением исследований с воздействием моделируемых факторов космического полета);
- клинико-физиологические обследования перед включением в экипаж;
- предполетные клинико-физиологические обследования за 45–30 суток до начала полета;
- предстартовые медицинские обследования за 5–7 дней до старта;
- медицинские осмотры в день старта.

Столь детальное внимание к контролю за состоянием здоровья космонавтов позволяет решить ряд важных задач по сохранению здоровья космонавтов:

- ранняя диагностика и лечение заболеваний космонавтов;
- стимулирование космонавтов к сохранению здоровья и соблюдению здорового образа жизни.

Лечебно-профилактические мероприятия включают:

- амбулаторное лечение силами клинического отдела Центра подготовки космонавтов;
- консультации у ведущих и главных медицинских специалистов Министерства здравоохранения Российской Федерации;
- стационарное лечение в ведущих клинических базах Министерства здравоохранения Российской Федерации;
- санаторно-курортное лечение;
- курсы массажа;
- курсы вытяжения позвоночника;
- вакцинация;
- витаминотерапия;
- санация полости рта.

Из перечня мероприятий следует, что в плане лечения соблюдается высокий уровень оказания медицинской помощи. Учитывая низкую заболеваемость кос-

монавтов, лечебно-профилактические мероприятия в большей степени носят предупредительный характер, и, как правило, состоят из процедур, связанных с санацией очагов инфекции и коррекцией функционального состояния систем организма.

Медицинская подготовка включает изучение:

- основных сведений по анатомии и физиологии человека;
- вероятных заболеваний в космическом полете;
- факторов риска, влияющих на здоровье космонавта;
- основ авиационной и космической медицины;
- основных медицинских процедур;
- приемов оказания само- и взаимопомощи;
- бортовых средств медицинского обеспечения.

Медицинская подготовка носит образовательный характер и дает начальные знания в области медицины. Медицинские знания позволяют космонавтам осознанно разрешать медицинские ситуации применительно к космическому полету и к условиям выживания в различных климато-географических зонах при нештатных посадках.

Эти сведения закрепляются при подготовке организма к воздействию факторов космического полета во время тренировок и практических занятий на тренажерах.

Подготовка к воздействию факторов космического полета включает:

- испытания и тренировки на центрифугах, вестибулярных стендах, барокамерах, в условиях кратковременной невесомости и гидроневесомости;
- исследования и тренировки гемодинамики знакопеременными гравитационными нагрузками;
- нормобарические интервальные гипоксические тренировки;
- исследование тепловой устойчивости (при планировании внекорабельной деятельности в полете);
- ознакомительно-тренировочные вращения на центрифуге по графикам выведения и спуска космического корабля.

Главным для рассматриваемого раздела подготовки является то, что эти исследования и тренировки являются своеобразными функциональными нагрузочными пробами и помогают выявлять и своевременно вылечить скрытую доклиническую патологию или состояния дезадаптации, которые не были обнаружены при медицинском освидетельствовании.

Медицинское обеспечение профессиональной деятельности космонавтов состоит из следующих разделов:

- медицинский и психологический контроль во время профессиональной подготовки космонавтов;
- медицинское обеспечение физической подготовки космонавтов;
- санитарно-гигиеническое обеспечение и противозидемическая защита космонавтов;
- медицинское обеспечение космонавта на месте посадки;
- медицинское обеспечение эвакуации космонавтов с места приземления.

Медицинское обеспечение профессиональной деятельности космонавтов позволяет предупредить возникновение неблагоприятных медицинских ситуаций в процессе подготовки и является в большей степени профилактическим мероприятием, а также позволяет выявить скрыто протекающие заболевания, проявляющиеся при воздействии экстремальных нагрузок.

В целом все вышеприведенные разделы подготовки по сохранению и укреплению профессионального здоровья космонавтов могут быть сгруппированы в следующие функциональные блоки: диагностика, оздоровление, обучение.

К преимущественно диагностическим мероприятиям относятся:

- медицинская экспертиза и динамический медицинский контроль за состоянием здоровья космонавтов;
- медицинское обеспечение профессиональной деятельности космонавтов;
- подготовка организма космонавтов к воздействию факторов космического полета.

К оздоровительным относятся лечебно-профилактические мероприятия.

И, наконец, к образовательным мероприятиям относится медицинская подготовка.

Важным компонентом сохранения здоровья космонавтов является подготовка по питанию, которая включает:

- изучение основ физиологии питания;
- изучение особенностей питания в космическом полете;
- подготовку на тренажерах средств обеспечения питанием;
- дегустацию бортового набора продуктов;
- апробацию бортового меню (оценка продуктов при питании исключительно по бортовому меню).

При подготовке по питанию осуществляются мероприятия образовательной и диагностической направленности, к последним относятся дегустация и апробация. Питание как оздоравливающий фактор используется в космическом полете. Бортовое питание является сбалансированным по основным компонентам пищи (белки, жиры, углеводы), калорийности и основным пищевым веществам (витамины, макроэлементы, незаменимые аминокислоты и др.). Оздоровляющее влияние сбалансированного питания общеизвестно.

Физическая подготовка космонавтов состоит из:

- теоретического курса по основам физической подготовки космонавтов;
- общей физической подготовки с оценкой и развитием основных физических качеств (выносливости, силы, быстроты, ловкости, гибкости);
- специальной физической подготовки с развитием специальных качеств (устойчивости к перегрузкам, гипоксии, укачиванию, перераспределению крови в сторону головы);
- подготовки по программам и методикам бортовых физических упражнений.

Физическая культура, которая лежит в основе физической подготовки космонавтов, является преимущественно педагогической дисциплиной, но в ней присутствуют и другие компоненты, выявленные нами для медико-биологической подготовки: «диагностика» (определение уровня развития основных физических качеств) и оздоровление.

Определение уровня развития основных физических качеств является необходимым условием для планирования физической подготовки каждого конкретного космонавта, но в то же время показатели выносливости, гибкости и, в некоторой степени, силы являются важными показателями физического здоровья. В частности, проба с физической нагрузкой на велоэргометре является наиболее важной при отборе и освидетельствовании здоровья космонавтов.

Оздоровление является важной задачей физической подготовки космонавтов. В этом плане ни один из разделов системы сохранения и укрепления здоровья космонавтов не может сравниться по эффективности с физической подготовкой.

Следующим разделом медико-биологической подготовки является медико-психологическая подготовка, которая включает:

- проведение психологической диагностики;
- изучение основ космической психологии;
- ознакомление космонавтов с индивидуальными особенностями их личностной структуры;
- обучение навыкам сознательной саморегуляции;
- обучение основам коммуникации и групповой взаимосвязанной деятельности.

В психологической подготовке мы видим мероприятия диагностической и образовательной направленности применительно к задачам космического полета. В явном виде задачи оздоровления при психологической подготовке не формулируются. Но это не значит, что она не оказывает никакого влияния на здоровье. Так, например, обучение бесконфликтному общению, регуляции своего состояния способствует снижению уровня психической напряженности и тревожности, что несомненно снижает вероятность развития психосоматических состояний.

Важнейшим мероприятием для сохранения здоровья космонавтов является послеполетная медицинская реабилитация, которая в настоящее время проводится в два этапа:

- первый этап реабилитации (3 недели) в Центре подготовки космонавтов;
- второй этап реабилитации (4–6 недель) на санаторных базах Министерства здравоохранения Российской Федерации.

При послеполетной медицинской реабилитации реализуются медицинская, физическая и психологическая реабилитации.

Медицинская реабилитация включает водные и тепловые процедуры, лечебно-восстановительный массаж, диетотерапию, витаминотерапию, медикаментозную терапию, регламентацию режима труда и отдыха.

Физическая реабилитация (реабилитация средствами физической подготовки) включает дозированную ходьбу, специальный комплекс упражнений, плавание и гимнастику в бассейне.

Психологическая реабилитация включает контроль и регламентацию коммуникативных процессов, общение с семьей и друзьями как основной источник восстановления и поддержания эмоционального тонуса.

Послеполетная медицинская реабилитация является преимущественно оздоровительным мероприятием, хотя ей всегда предшествует проведение медицинской диагностики. Интересно, что при послеполетной медицинской реабилитации присутствуют практически те же научные дисциплины, что и для отбора и подготовки по сохранению и укреплению здоровья космонавтов: медицина, физическая культура и психология.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в космической медицине создана система, предназначение мероприятий которой представлено в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что результаты мероприятий используются преимущественно для сохранения здоровья в космическом полете и не в полной мере в интересах сохранения здоровья на других этапах профессиональной деятельности космонавтов. Естественно, что наибольшим образом применяется в интересах здоровья космонавтов медицина. Обучение по медицине преимущественно используется в интересах космического полета, космонавты не используют данные, полученные в результате обучения, для сохранения и укрепления своего здоровья во время профессиональной деятельности в земных условиях.

Таблица 1

Предназначение мероприятий наземной системы
сохранения здоровья космонавтов

Мероприятия	Медицина	Психология	Физическая культура	Питание
Диагностика, оценка	Отбор Подготовка Полет Реабилитация	Отбор Подготовка Полет	Отбор Подготовка Полет	Полет
Оздоровление	Отбор Подготовка Полет Реабилитация	Подготовка Полет Реабилитация	Подготовка Полет Реабилитация	Подготовка Полет Реабилитация
Обучение	Полет	Подготовка Полет	Подготовка Полет	Полет

Пожалуй, в такой же мере, что и медицина, используется психология и физическая культура, но знания и навыки, приобретаемые в процессе обучения, применяются как в полете, так и в практике подготовки. Необходимо отметить, что космонавты часто проявляют творческое и критическое отношение к проведению физических тренировок в космическом полете, что свидетельствует о хорошем усвоении знаний по основам физической культуры. Оценка физических качеств в послеполетном периоде специально не проводится, так как состояние космонавта не позволяет им перенести стандартные тесты. Хотя, видимо, в перспективе следует проводить инструментальное тестирование, которое используется в российских и зарубежных научных программах, а также в программах лечебной физической культуры.

Науки о питании используются преимущественно для полета. В период подготовки и послеполетной медицинской реабилитации оздоровительные мероприятия связаны с рекомендациями по диетологии.

В соответствии с вышеизложенным, сутью концепции оздоровления является использование четырех дисциплин: медицины, психологии, физической культуры и наук о питании, по которым осуществляются 3 вида мероприятий: диагностика, оздоровление и обучение. Концепция сохранения здоровья и профессионального долголетия космонавтов представляется в виде матрицы 3x4, где указаны 12 видов мероприятий, ведущих к оздоровлению (табл. 2).

Данная матрица, несмотря на простоту, позволяет осуществить комплексный подход к сохранению здоровья космонавтов и не упустить ни одно из мероприятий при решении текущих проблем здоровья космонавтов.

Завершая анализ системы сохранения здоровья космонавтов, можно отметить, что, в отличие от многих других профессий, применительно к космонавтам, мы говорим о профессиональном здоровье. Согласно определению, данному В.А. Пономаренко [2], «профессиональное здоровье – это свойство организма сохранять заданные компенсаторные и защитные механизмы, обеспечивающие работоспособность во всех условиях, в которых протекает профессиональная деятельность». Профессиональное здоровье космонавтов связано с такими понятиями, как работоспособность и эффективность деятельности, т.е. это способность успешно

Таблица 2

Матрица концепции сохранения здоровья и профессионального долголетия космонавтов

Мероприятия	Медицина	Психологическая подготовка	Физическая подготовка	Подготовка по питанию
Диагностика, оценка	Медицинский контроль	Психодиагностика	Оценка физических качеств	Оценка питания
Оздоровление	Коррекция Санация	Психологические тренинги	Гармонизирующая физическая культура	Адекватное питание
Обучение	Основы медицины, в том числе авиационной и космической медицины	Основы психологии	Основы анатомии и физиологии физических упражнений	Основы адекватного питания

переносить неблагоприятные факторы космического полета, присущие деятельности космонавтов, как в наземных условиях, так и в космическом полете с сохранением работоспособности на оптимальном уровне.

Если говорить о здоровье вообще, то, согласно определению ВОЗ, здоровье – это состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов (Устав ВОЗ, 1948). В определении ВОЗ мы также видим три научные дисциплины: физическая культура (физическое благополучие), психология (психическое и социальное благополучие) и медицина (отсутствие болезней и физических недостатков). Все эти дисциплины присутствуют в системе сохранения здоровья космонавтов.

Достоинствами системы сохранения здоровья космонавтов являются:

- охват всех основных направлений оздоровления по дисциплинам: медицина, психология, физкультура, науки о питании;
- достаточно точная диагностика заболеваний космонавтов, тщательный отбор и динамическое медицинское наблюдение как исходная предпосылка для сохранения здоровья и профессионального долголетия космонавтов;
- высококачественное лечебное обеспечение;
- всесторонняя психологическая оценка профессионально важных психологических качеств космонавтов;
- оценка основных физических качеств и интегральная оценка физической подготовленности;
- оценка вкусовых предпочтений при составлении полетного меню;
- достаточно хорошо развитое профилактическое обеспечение здоровья, преимущественно за счет коррекционных и санационных мероприятий;
- рационально построенная физическая подготовка, рассчитанная на гармоничное развитие физических качеств;
- система обучения основам медицины, психологии, физической культуры и питания применительно к задачам космического полета.

Для более полной оценки необходимо сравнить систему сохранения и укрепления профессионального здоровья космонавтов с существующими оздоровительными системами.

Считается, что основным общественным (государственным) институтом сохранения здоровья является здравоохранение. Не анализируя всю систему современного здравоохранения, необходимо отметить, что основным направлением здравоохранения в настоящее время является оказание медицинской помощи или, иначе говоря, лечение заболеваний, что обусловлено особенностями страховой медицины, когда врач начинает работать только при наступлении страхового случая (болезни, травмы и т.д.). Кроме медицины в системе здравоохранения используются и другие дисциплины: физическая культура в виде лечебной (адаптивной) физкультуры, науки о питании в виде диетологии (лечебное питание), психологии в виде медицинской психологии, изучающей закономерности изменения психики человека под влиянием болезней и отчасти психосоматические заболевания.

Диагностические процедуры в системе здравоохранения проводятся лишь при появлении заболевания. В последнее время были организованы центры здоровья, в которых можно пройти экспресс-диагностику, и при выявлении заболеваний обратиться в лечебное учреждение. Однако данная система не может заменить всеобщей диспансеризации, существовавшей в СССР, и имеющейся в настоящее время в ведомственной медицине (Минобороны России, МВД, ФСБ) и в системе Федерального медико-биологического агентства.

В центрах здоровья также проводятся краткие ознакомительные курсы по здоровому образу жизни. Основные образовательные ресурсы Министерство здравоохранения Российской Федерации реализует через Интернет [www.takzdorovo.ru] и телевидение (передачи «Здоровье с Еленой Малышевой» на 1 канале, «Танцуй» на МузТВ, «Подари себе жизнь» на канале «Россия» и др.).

Естественно, что такой подход к оздоровлению не является достаточно эффективным, так как врачам приходится работать уже с проявившимся заболеванием, и к тому же, лечение имеет, как правило, побочные эффекты, которые могут приводить к новым отклонениям в состоянии здоровья. При этом образование по основам медицины и здорового образа жизни оторвано от конкретного человека.

Другой государственной системой, которая, в принципе, должна способствовать сохранению здоровья, является система физической культуры и спорта. В принятом сочетании слов «физическая культура и спорт», физическая культура занимает первое место. Фактически же значительно больше внимания, усилий и материальных средств отдается спорту в ущерб развитию массовой физкультуры. Кроме физической культуры в данной области действуют и другие дисциплины: медицина и психология занимаются медицинским и психологическим обеспечением преимущественно спорта и в меньшей степени физической культуры. Науки о питании содействуют целенаправленному питанию спортсменов, прежде всего для улучшения спортивных результатов и в какой-то степени сохранению здоровья.

Основная масса населения, за исключением образовательных учреждений, в массовую физическую культуру не вовлечена. Пропаганда здорового образа жизни для сохранения здоровья проводится в основном Интернет-сайтами, не связанными с Министерством спорта, туризма и молодежной политики, на сайте министерства <http://minstm.gov.ru/> уделено этому внимание в небольшой степени.

Кроме систем сохранения здоровья, поддерживаемых государством, существует множество оздоровительных систем, начиная от оздоровительных систем, исходящих из древности (так называемые традиционные системы оздоровления),

и заканчивая системами, появившимися в последние десятилетия. Все они базируются преимущественно на каких-либо гипотезах или практиках, не имеющих, как правило, строгой научной основы, или представляют достаточно узкие направления оздоровления без комплексного подхода к оздоровлению.

В связи с этим для нас наибольший интерес представляют современные комплексные системы: валеология (наука о здоровом образе жизни) и получившая в последнее время широкое распространение система велнесс (wellness – optimal well being, слово, применяемое для обозначения достижения состояния физического и душевного благополучия, этот термин также используется для продвижения услуг и товаров, связанных с улучшением состояния здоровья и самочувствия человека).

Валеология – это наука о здоровье (от лат. valeo – «здравствовать», «быть здоровым») [1]. Главными факторами здоровья, согласно валеологическому подходу, являются: сознание и здоровье, движение и здоровье, питание и здоровье, лекарства для здоровых. Валеология представляет цельный взгляд на здоровье человека, в основу данной оздоровительной системы положена психология. Валеология прежде всего является педагогической системой.

Главная задача велнесса – предотвращение и профилактика болезней, а также признаков старения, как внешних, так и внутренних [4]. Велнесс – это философия благополучия человека во всех сферах его бытия: духовной, социальной и физической. Основные принципы философии велнесс: движение, умственная активность, расслабление и гармония, красота и уход за телом, сбалансированное питание. В отличие от валеологии велнесс предполагает реальное проведение оздоровительных мероприятий, но образовательного компонента в велнесс нет.

Сравнение проанализированных двух государственных и трех комплексных современных систем оздоровления показано в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение различных технологий оздоровления

	Оздоровительные системы	Медицина	Психология	Физкультура	Науки о питании
1	Здравоохранение	Диагностика Лечение Профилактика	Диагностика	Лечение (лечебная физкультура)	Лечение (лечебное питание)
2	Физическая культура и спорт	Медицинское обеспечение	Психологическое обеспечение	Оценка Тренировка	Составление меню
3	Валеология	–	Обучение	Обучение	Обучение
4	Велнесс	Диагностика Профилактика	Диагностика Коррекция	Оценка Тренировка	Диагностика, Составление меню
5	Космические технологии оздоровления	Обучение Диагностика Медицинское обеспечение Лечение Профилактика	Обучение Диагностика Психологическое обеспечение Коррекция	Обучение Оценка Тренировка	Обучение Диагностика Составление меню

Из табл. 3 видно, что для космических технологий характерен наиболее комплексный подход к оздоровлению. Включение медицины здесь подразумевает не только лечение болезней как в системе здравоохранения, а в большей степени проведение профилактических мероприятий, что в настоящее время практически утрачено современной медициной.

Подобного комплекса мероприятий, направленных на сохранение здоровья, мы не встречаем ни в системе здравоохранения, ни в известных комплексных оздоровительных системах, ни, тем более, в узконаправленных системах оздоровления.

Система сохранения и укрепления профессионального здоровья в представленном в данной работе виде может послужить основой для концепции оздоровления, которая может быть применена для различных профессий и населения страны в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Брехман И.И. Валеология – наука о здоровье. – 2-е изд., доп., перераб. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 186 с.
- [2] Пономаренко В.А. Этапы развития проблемы безопасности полетов в авиационной медицине // Космическая биол. – 1986. – № 3. – С. 12–19.
- [3] Профессиональный отбор космонавтов / Под ред. Крючкова Б.И., Харламова М.М. – Звездный городок, 2009. – 209 с.
- [4] Ansraugh D J., Michael H Hamrick, Frank D Rosato Wellness: Concepts and Applications – McGraw-Hill, 07.01.2008. – 560 p.

УРОВНИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ КОСМОНАВТОВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПОДГОТОВКИ К ПОЛЕТУ

В.Г. Назин

Канд. техн. наук, профессор Академии военных наук В.Г. Назин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья содержит особенности методики оценки и результаты анализа динамики физической подготовленности космонавтов в ходе подготовки к полету.

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

Levels of Physical Fitness of Cosmonauts Having Different Health Status at Various Stages of Training for Flight. V.G. Nazin

The paper contains evaluation procedures and analysis results of dynamics of cosmonaut fitness during training for flight.

Key words: level of physical fitness, professionally significant physical qualities, standard physical exercises.

Начиная с 2006 года, оценка физической подготовленности космонавтов к полету проводится с помощью оригинальной методики, разработанной непосредственно в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (далее – ЦПК).

В отличие от ранее используемой и других известных методик оценки физической подготовленности тестируемых в средней школе, вузах, Вооруженных силах и т.д., методика ЦПК:

- обеспечивает кардинально большую информативность, точность, достоверность и объективность получаемых результатов;
- нормативные требования по выполнению нескольких десятков физических упражнений (тестов, проб) реализует не в традиционном табличном, а в аналитическом виде;
- учитывает точечную оценку возраста тестируемых, а не их принадлежность к той или иной возрастной группе;
- учитывает относительную важность отдельных нормативных физических упражнений и отдельных физических качеств тестируемых;
- для оценки результатов выполнения нормативных физических упражнений, уровней физических качеств и общего уровня физической подготовленности тестируемых использует не традиционные дискретные качественные оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», а единую непрерывную количественную 10-балльную шкалу;
- компьютеризирована, проста и удобна при производстве расчетов на ПЭВМ, обеспечивает возможность создания электронной базы данных и т. д.

Электронная версия методики обеспечивает возможность документирования результатов расчетов в виде формализованного заключения о физической подготовленности космонавта к полету (рис. 1). В заключении указываются данные о космонавте (фамилия, имя и отчество, возраст, категория), этап подготовки, вид полета по длительности, даты начала и окончания тестирования, а также требуемый уровень его подготовленности по 10-балльной шкале. Далее представлены таблицы результатов, балльных и качественных оценок выполнения космонавтом нормативных физических упражнений (в данном примере только 11-ти из 28-ми),

балльных и качественных оценок уровней его профессионально значимых физических качеств, общий уровень подготовленности, а также итоговый вывод о физической готовности космонавта к полету по результатам сравнения достигнутого уровня с требуемым.

Требуемый уровень физической подготовленности космонавта к полету предьявляется, исходя из его принадлежности к той или иной условной категории (табл. 1).

Таблица 1

Значения требуемых уровней физической подготовленности к полету космонавтов различных категорий

№ п/п	Категории космонавтов	Мужчины (баллы)	Женщины (баллы)
1	Российские профессиональные космонавты – военные и гражданские летчики	7	6
2	Российские профессиональные космонавты – военные и гражданские специалисты	6	5
3	Иностранные профессиональные астронавты и космонавты	6	5
4	Российские и иностранные участники космических полетов (УКП), отобранные на конкурсной основе	6	5
5	Российские и иностранные УКП – космические туристы	5	4

На оборотной стороне заключения (рис. 2) печатаются диаграммы балльных оценок результатов выполнения космонавтом нормативных физических упражнений и уровней его физических качеств. Эти диаграммы позволяют наглядно и оперативно оценить значения и сбалансированность уровней подготовленности космонавта по отдельным физическим упражнениям и шести физическим качествам. При этом, чем ближе вторая диаграмма по форме к правильному шестиугольнику, тем выше сбалансированность профессионально значимых физических качеств космонавта, а чем больше площадь этой фигуры, тем выше общий уровень его физической подготовленности к полету.

Разработка заключений о физической подготовленности космонавтов осуществляется на каждом из трех этапов их подготовки (отбора) к полету и не реже 1 раза в год. При этом заключения, разработанные в начале этапа общекосмической подготовки, фиксируют исходный уровень физических кондиций космонавтов и являются основой для разработки индивидуальных планов их физической подготовки. Заключения о физической подготовленности российских кандидатов в профессиональные космонавты, разработанные при окончании данного этапа подготовки, представляются в Комиссию по их отбору для зачисления в отряд космонавтов. Заключения, разработанные на последующем относительно длительном этапе подготовки космонавтов в составе групп, позволяют контролировать текущий уровень их физической подготовленности и, при необходимости, корректировать его. Заключения о физической подготовленности космонавтов в конце этапа подготовки в составе экипажей представляются в Межведомственную комиссию по отбору космонавтов и их назначению в состав экипажей пилотируемых космических объектов.

**Научно-исследовательский испытательный
Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина
Заключение о физической подготовленности к полету**

Фамилия, имя, отчество

Категория: российский профессиональный космонавт-военный летчик

Этап подготовки: подготовка в составе групп специализации

Время проведения оценки: с **19.01.2010** по **04.01.2010**

Возраст на период проведения оценки: **43,9 лет**

Вид полета по длительности: **продолжительный**

Требуемый уровень подготовленности по 10-балльной шкале: **не ниже 7 баллов**

Таблица результатов, балльных и качественных оценок выполнения нормативных физических упражнений

N п/п	Упражнение	Результат	Балл	Качественная оценка
1	PWC, кгм/мин	1637	10,00	чрезвычайно высокая
2	Плавание 800 м в/стиль, мин, сек	20,00	7,92	высокая
3	Подтягивание на перекладине, раз	9	5,48	выше среднего
4	Плавание 25 м в/стиль, сек	20	10,00	чрезвычайно высокая
5	Плавание 100 м в/стиль, мин, сек	1,45	7,89	высокая
6	Координация движений, простр. ориентация, баллы		8,00	высокая
7	Спортивные игры, баллы		9,00	очень высокая
8	Проба Ромберга, сек	60	6,98	достаточно высокая
9	Ныряние в длину, м	25	8,39	очень высокая
10	Бег на дорожке УКТФ, м	1150	7,00	достаточно высокая
11	Ручная велоэргометрия, мин, сек	3,20	7,00	достаточно высокая

Таблица балльных и качественных оценок профессионально-значимых физических качеств

N п/п	Качество	Балл	Качественная оценка
1	Выносливость	8,46	очень высокая
2	Сила	5,48	выше среднего
3	Быстрота	9,51	чрезвычайно высокая
4	Ловкость	8,71	очень высокая
5	Специальная физическая подготовленность	8,08	очень высокая
6	Бортовая физическая тренированность	7,00	достаточно высокая
Итоговая комплексная оценка		7,70	высокая

Итого: общий уровень физической подготовленности к полету (в баллах) 7,70 превышает требуемый на 10,0%

Вывод: по уровню физической подготовленности к полету готов

Рис. 1. Заключение о физической подготовленности космонавта к полету

Диаграмма балльных и качественных оценок результатов выполнения нормативных физических упражнений

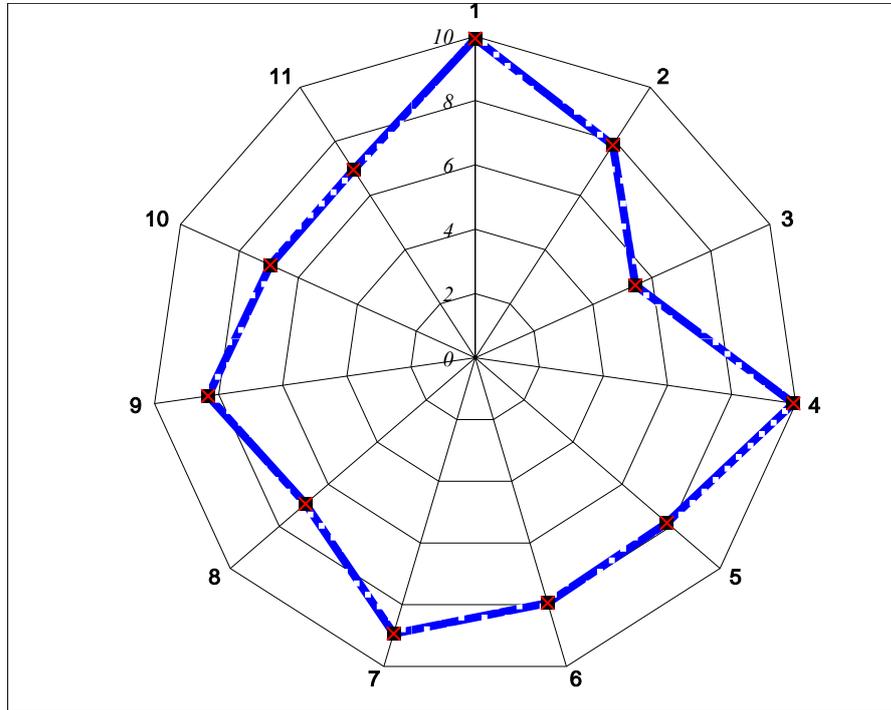


Диаграмма балльных и качественных оценок профессионально-значимых физических качеств

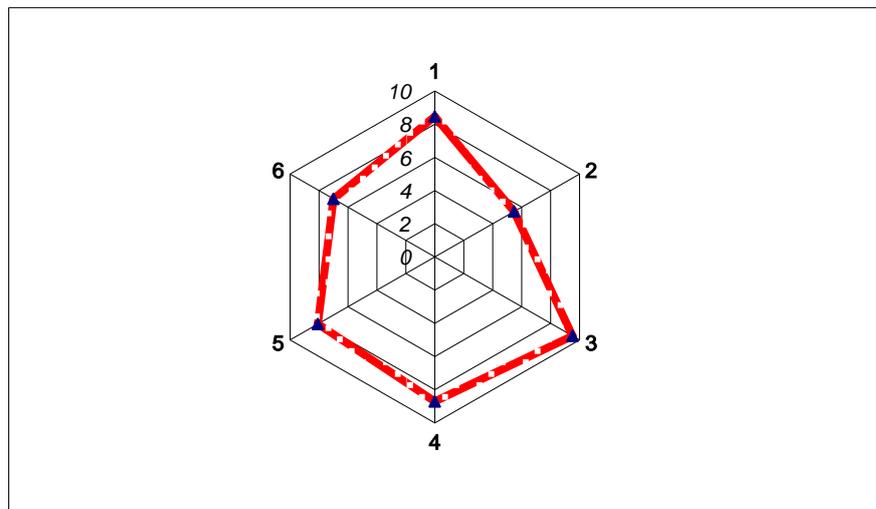


Рис. 2. Диаграммы оценок нормативных упражнений и физических качеств

Таким образом, основываясь на материалах заключений о физической подготовленности космонавтов, можно детально оценить динамику уровня их физических кондиций в ходе подготовки к полету, что, безусловно, представляет значительный научный и практический интерес.

Решение указанной задачи в рамках данной статьи предполагает, однако, деперсонификацию указанных материалов, поскольку реальные данные о физической подготовленности конкретных космонавтов являются конфиденциальной информацией.

Поэтому далее речь идет о средних значениях уровней физической подготовленности космонавтов следующих исследуемых категорий:

- российские профессиональные космонавты – военные летчики;
- российские профессиональные космонавты – гражданские специалисты;
- иностранные УКП, отобранные на конкурсной основе;
- астронавты ЕКА (представители всех указанных категорий – мужчины);
- космические туристы – мужчины;
- космические туристы – женщины.

При этом необходимо отметить, что оцениваемые выборки космонавтов указанных категорий не являлись абсолютно равнозначными как по персональному составу, так и по численности. Так, например, некоторые российские космонавты еще не включались в состав основных и дублирующих экипажей и, естественно, не тестировались на этапе ПСЭ, в то время как другие российские космонавты проходили эту процедуру неоднократно. Такие категории, как иностранные УКП, космические туристы и астронавты ЕКА, в силу своей малочисленности и специфики подготовки в ЦПК тестировались только на отдельных этапах подготовки и не всегда в одном и том же составе. К сожалению, не оценивались по методике ЦПК американские астронавты, включенные в состав экипажей российских пилотируемых транспортных кораблей.

Тем не менее, полученные статистические данные (всего порядка 150 расчетных случаев) позволили отразить вполне пригодную для анализа динамику средних уровней физической подготовленности космонавтов исследуемых категорий в ходе подготовки к полету (рис. 3).

Исходя из анализа полученных результатов, можно, в частности, отметить следующее:

1. В начале общекосмической подготовки (нОКП) средние уровни физической подготовленности космонавтов всех категорий ниже требуемых значений (соответственно, ниже 7 баллов – для военных летчиков, 6 – для гражданских специалистов и УКП, 5 – для космических туристов – мужчин).

2. В конце этой подготовки (оОКП) уровни физической подготовленности российских кандидатов в космонавты – военных летчиков и гражданских специалистов, а также астронавтов ЕКА в среднем достигают требуемых значений.

3. На протяжении многолетнего этапа подготовки в составе групп (ПСГ) российские космонавты в целом поддерживают достигнутые на предыдущем этапе уровни физической подготовленности, несмотря на некоторое снижение мотивации ввиду неопределенности сроков и перспектив самого полета.

4. На завершающем этапе подготовки в составе основных и дублирующих экипажей (ПСЭ) средние уровни физической подготовленности к полету российских космонавтов, иностранных УКП и космических туристов (в том числе, и женщин) превышают требуемые значения.

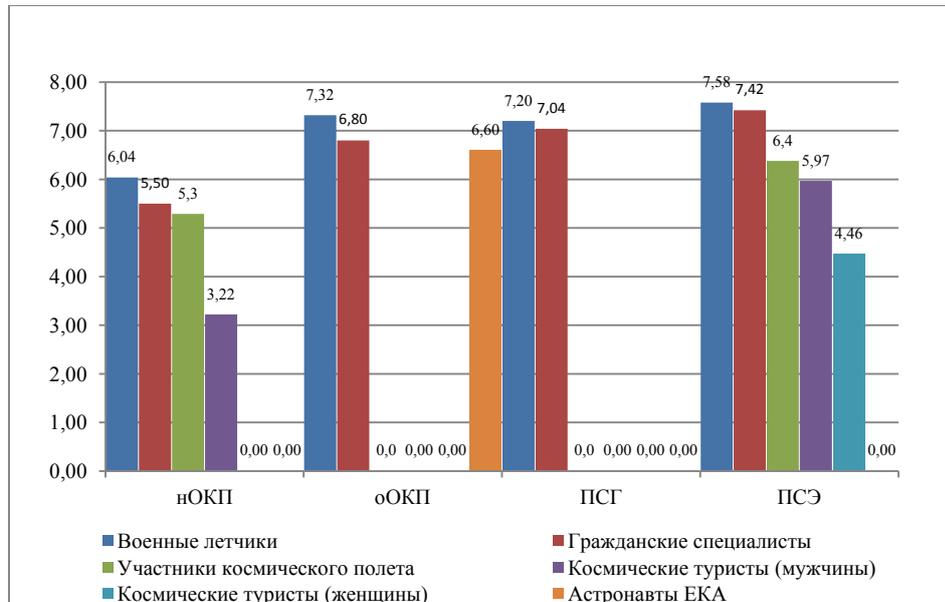


Рис. 3. Средние уровни физической подготовленности космонавтов различных категорий на различных этапах подготовки к полету

5. Указанная выше констатация лишний раз подтверждает корректность действующих требований к уровням физической подготовленности космонавтов различных категорий (табл. 1). При этом следует особо оговорить, что сам факт превышения требуемых уровней физической подготовленности в среднем отнюдь не означает 100%-е соответствие всех космонавтов установленным требованиям. Так, например, на этапе подготовки в составе групп примерно 15% из протестированных российских космонавтов – военных летчиков показали результат ниже требуемого; на этапе подготовки в составе экипажей из четырех протестированных иностранных туристов – мужчин, один не достиг требуемого результата и впоследствии был отстранен от полета. За данным исключением все космонавты на конечном этапе подготовки в составе экипажей получили положительные заключения о физической подготовленности к полету. В отношении исходных уровней физической подготовленности космонавтов картина совершенно иная: 100% иностранных космических туристов, 50% участников полета, 60% российских космонавтов – гражданских специалистов и 85% – военных летчиков в начале ОКП не соответствовали установленным требованиям по физической подготовленности к полету. Обращает на себя внимание высокий средний уровень физической подготовленности российских космонавтов – гражданских специалистов на этапе подготовки в составе экипажей (почти на 1,5 балла выше требуемого). Данный факт, однако, не указывает на необходимость пересмотра требований к данной категории космонавтов в сторону их повышения, а, скорее, свидетельствует о существенной неоднородности протестированных в этой группе. Так, например, если к данной категории космонавтов предъявить такие же требования, как и к космонавтам – военным летчикам (не ниже 7 баллов), то примерно 40% космо-

навов – гражданских специалистов на заключительном этапе подготовки к полету получили бы отрицательные заключения о физической подготовленности.

6. Относительный прирост средних уровней физической подготовленности космонавтов рассматриваемых категорий на различных этапах подготовки к полету характеризуют следующие показатели:

– у российских кандидатов в космонавты – военных летчиков и гражданских специалистов уровень физической подготовленности в период ОКП вырос в среднем, соответственно, на 21% и 24% (за весь период подготовки к полету, соответственно, на 25% и 35%);

– иностранные участники космического полета и космические туристы (мужчины) повысили свои исходные уровни физической подготовленности за все время подготовки в ЦПК в среднем, соответственно, на 21% и 85%.

Указанные величины относительного прироста уровней физической подготовленности космонавтов характеризуют эффективность самой системы физической подготовки космонавтов в ЦПК.

В заключение важно напомнить, что действующая методика оценки физической подготовленности космонавта к полету определяет уровень этой подготовленности как результат аддитивной «свертки» уровней его профессионально значимых физических качеств и, естественно, обеспечивает определение последних в ходе расчетов. Динамику уровней профессионально значимых физических качеств космонавтов различных категорий в ходе их подготовки в ЦПК предполагается рассмотреть в отдельной статье.

НАВЫКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ ПО НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ЭКСПЕРИМЕНТАМ

Е.В. Попова

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

В работе рассмотрено формирование навыков космонавтов на примере подготовки по научно-прикладным исследованиям и экспериментам (НПИиЭ). В основу анализа легла работа Н.А. Бернштейна «О построении движений». Выделено два периода в формировании навыков у космонавтов при подготовке к выполнению космических экспериментов (КЭ). Используя подходы «построения навыков», предложенные Н.А. Бернштейном, и «этапы развития навыка» по Л.Б. Ительсону, показано сходство процесса усвоения знаний и выработки навыков у космонавтов в ходе профессиональной подготовки по НПИиЭ. Рассматривая процесс формирования навыков у космонавтов по выполнению космических экспериментов, нужно отметить, что эффективность и быстрота обучения (или выработка навыков) зависит от опыта космонавтов, осмысленности этапов и задач КЭ, трудности изучаемого материала и других факторов.

Ключевые слова: космический эксперимент, навыки, подготовка космонавтов, усвоение знаний, обучение.

Skill Formation in the Course of Cosmonaut Occupational Training.

E.V. Popova

The paper discusses the problem of skill formation by the example of crew training for performing scientific-applied research and experiments (SAR&E). The N.A. Bernstein's work "On motion synthesis" formed the basis of analysis. Two phases of skill formation in the course of cosmonaut training for performing space experiments were defined. Using "skill construction" approaches, put forward by N.A. Bernstein, and "skill development phases" according to L.B. Itelson the similarity between the learning process and skill formation during occupational training of cosmonauts within the framework of the SAR&E program is showed. Speaking about the problem of skill formation for carrying out space experiments it should be noted that the efficiency and rate of learning (or skill formation) depend on the cosmonaut's personal experience, understanding of stages and objects of space experiments, difficulty of materials under study, and other factors.

Key words: space experiment, skills, cosmonaut training, learning, education.

Как отмечают многие исследователи (П.П. Блонский, Л.С. Выготский, В.В. Давыдов, И.А. Зимняя, А.Н. Леонтьев, С.Л. Рубинштейн и др.), освоение системы знаний, соединяющихся с овладением соответствующими навыками, рассматривается в качестве «основного содержания и важнейшей задачи обучения» (С.Л. Рубинштейн). Однако сама проблема формирования профессиональных *навыков* занимает одно из центральных мест в подготовке космонавтов.

К определению «*навыка*» подходят по-разному [3. С. 276]: «...как к способности, синониму умения, автоматизированному действию. Распространенным является определение навыка как упроченного, доведенного в результате многократных, целенаправленных упражнений до совершенства выполнения любого необходимого действия. Оно характеризуется оптимальным временем выполнения, качеством».

Рассмотрим формирование *навыков* космонавтов на примере подготовки экипажей по научно-прикладным исследованиям и экспериментам (НПИиЭ). Формирование навыков проведения КЭ – это сложный процесс, он включает все сен-

сомоторные уровневые системы человека [1]. Они являются постоянно усложняющимися системами координационного управления любыми навыками.

В соответствии с «Теорией уровней построения движений» Н.А. Бернштейна, «В зависимости от того, какую информацию несут сигналы обратной связи, афферентные сигналы приходят в разные чувствительные центры головного мозга и, соответственно, переключаются на моторные пути на разных уровнях» [2. С. 140].

Каждый уровень имеет специфические, свойственные только ему моторные проявления, при этом каждому уровню соответствует свой класс движений.

«Уровень А – самый низкий и филогенетически самый древний. У человека он не имеет самостоятельного значения, зато заведует очень важным аспектом любого движения – тонус мышц. Он участвует в организации любого движения совместно с другими уровнями. На этот уровень поступают сигналы от мышечных проприорецепторов, которые сообщают о степени напряжения мышц, а также от органов равновесия.

Уровень В – уровень синергий, принимает большое участие в организации движений более высоких уровней, и там он берет на себя задачу внутренней координации сложных двигательных движений.

Уровень С – уровень пространственного поля. На него поступают сигналы от зрения, слуха, осязания, т.е. вся информация о внешнем пространстве. Поэтому на нем строятся движения, приспособленные к пространственным свойствам объектов – к их форме, положению, длине, весу и пр.

Уровень D – уровень предметных действий. Это корковый уровень, который заведует организацией действий с предметами. Он практически монополюбно принадлежит человеку. К нему относятся все орудийные действия, манипуляции с предметами и др.

Уровень E – (ведущий) уровень интеллектуальных двигательных актов, в первую очередь речевых движений, движений письма, и др. Движения этого уровня определяются не предметным, а отвлеченным, вербальным смыслом» [2. С. 146–148].

Учитывая что:

«– в организации сложных движений участвует, как правило, сразу несколько уровней,

– одно и то же движение может строиться на разных ведущих уровнях» [2. С. 149],

рассмотрим формирование *навыков* у космонавтов при обучении к проведению КЭ. Например, в операции подготовки научной аппаратуры (НА) участвуют все пять уровней:

- уровень А обеспечивает прежде всего тонус рук и пальцев;
- уровень В придает движениям плавность, обеспечивая скорость сбора НА;
- уровень С обеспечивает ровное расположение составляющих частей НА;
- уровень D обеспечивает правильное владение НА;
- уровень E обеспечивает смысловую сторону сбора НА.

Выделяются два периода в формировании *навыков* у космонавтов при подготовке к выполнению КЭ.

Первый период – *установление навыков* – включает четыре фазы:

- 1) установление ведущего уровня в выполнении КЭ;
- 2) определения двигательного состава движений (состава операторской деятельности космонавта) на уровне наблюдения и анализа движений преподавателя;
- 3) выявление адекватных коррекций как «самоощущение движений выпол-

нения КЭ». Эта фаза, по мнению Н.А. Бернштейна, наступает как бы сразу, хотя и относится не ко всем навыкам;

4) переключение фоновых коррекций в низовые уровни, т.е. процесс автоматизации. Важно, что выработка навыков выполнения КЭ требует времени, она должна обеспечивать точность и стандартность всех движений. Что особенно важно при выполнении КЭ, требующих точного выполнения в определенный срок времени.

Второй период – стабилизация навыков – также распадается на фазы:

1) срабатывание разных уровней вместе;

2) стандартизация навыков;

3) стабилизация, обеспечивающая устойчивость космонавтов к разного рода помехам, т.е. «несбиваемость». Достижение данной фазы очень важно в профессиональной подготовке космонавтов, т.к. некоторые сложные КЭ проводятся в период адаптации к полету, что усложняет процесс научной деятельности космонавтов в полете.

Рассматриваемые понятия (установление навыков, стабилизация навыков) крайне важны для учебной деятельности и ее организации, т.к. относятся к любым навыкам.

Если сопоставить рассмотрение «*построение навыков*», предложенные Н.А. Бернштейном [1], и «*этапы развития навыков*» по Л.Б. Ительсону [4], то обращает на себя внимание общность подхода к формированию навыков как к построению сложной двигательной системы. Используя данный подход, рассмотрим развитие (формирование) *навыков* у космонавтов в профессиональной подготовке по НПИиЭ (табл. 1).

Таблица 1

Развитие (формирование) навыков космонавтов по выполнению НПИиЭ с использованием метода Л.Б. Ительсона

Этап развития навыков выполнения КЭ	Характер	Цель	Особенности выполнения действия
Ознакомительный	Осмысливание действий проведения КЭ и их представление с учетом условий космического полета	Ознакомление с циклограммой проведения КЭ	Отчетливое понимание цели, достигаемой в конце обучения. Грубые ошибки при действии
Подготовительный (аналитический)	Сознательное, но неумелое выполнение КЭ	Овладение отдельными элементами действия (определенными шагами циклограммы КЭ); анализ способов их выполнения; подробное изучение шагов циклограммы	Отчетливое понимание способов выполнения действия КЭ, но неточное и неустойчивое его выполнение: много лишних движений, очень напряжено внимание на научной аппаратуре; сосредоточенность на своих действиях; плохой контроль своих действий

Окончание таблицы 1

Этап развития навыков выполнения КЭ	Характер	Цель	Особенности выполнения действия
Стандартизирующий (синтетический)	Автоматизация определенных действий по выполнению КЭ	Сочетание и объединение элементарных движений в единое действие, свободное владение циклограммой КЭ	Повышение качества движений (работы с научной аппаратурой) их слияние, устранение лишних, перенос внимания на результат; улучшение контроля, переход к мускульному контролю
Варьирующий (ситуативный)	Пластическая приспособляемость к ситуации к выполнению КЭ в условиях факторов космического полета; контроль аппаратуры с учетом возможности возникновения нештатной ситуации по КЭ	Овладение произвольным регулированием характера действий	Гибкое целесообразное выполнение действий с научной аппаратурой; контроль на основе специальных сенсорных синтезов; интеллектуальные синтезы (интуиция)

Эффективность обучения космонавтов по НПИиЭ определяется факторами, влияющими на формирование *навыков* проведения КЭ:

- 1) знание результатов выполнения КЭ;
 - 2) предотвращение неправильного хода КЭ;
 - 3) знание возможных нештатных ситуаций КЭ;
 - 4) разнообразие условий тренировки (учебный класс, комплексный тренажер), которое выявляется в необходимой вариации объема, порядка, условий, предъявления тренировочного образца научной аппаратуры (НА);
 - 5) знание метода и способа обучения, применяемого при тренировке;
 - 6) необходимость понимания принципов, общей системы выполнения КЭ.
- Прямое объяснение принципа дает лучшие результаты, чем самостоятельное отыскивание этого принципа космонавтами путем проб и ошибок. Влияние характера инструкции и времени ее предъявления на результат обучения.

У К. Ховланда [1, 4, 5] число факторов несколько увеличивается за счет, например, распределения упражнений, что в подготовке космонавтов по НПИиЭ не проводится из-за специфики КЭ. Преподаватель (инструктор) при отработке эксперимента с космонавтами не может делить его на части ввиду того, что космонавтам нужно получать знания и формировать *навыки* выполнения всего КЭ, следуя пошаговой инструкции (циклограммы) и зная строгую последовательность проведения КЭ. К. Ховланд, говоря о важности распределения упражнений во времени, подчеркивает «зависимость их концентрации или распределения самого материала». Что касается КЭ, то они также должны выполняться космонавтами на борту в выделенный промежуток времени. Здесь космонавты должны не только четко выполнить эксперимент, но и уложиться в отведенное время. Космонавтам требуется: войти в работу; проявить «гибкость», что необходимо при выполнении сложных КЭ.

Выделяются дополнительные факторы, благоприятствующие формированию *навыков* космонавтов для проведения КЭ:

а) своеобразная дополнительная тренировка, протекающая в форме фактических, воображаемых повторений или с использованием 3D-моделей космической научной аппаратуры в личное время;

б) чередование работы с отдыхом, давая возможность космонавту отвлечься от КЭ в течение выполнения упражнений, с целью упорядочения и осмысления действий.

Еще один фактор, влияющий на эффективность формирования навыков космонавтов к выполнению КЭ связан с ответом на вопрос – какое обучение лучше: целостное или по частям [3. С. 281], что «в практических условиях такие факторы, как усталость, заинтересованность и др., могут сыграть важную роль при сравнительной оценке преимуществ способов целостного научения или научения по частям. Но если эти факторы остаются в достаточной степени постоянными, то можно смело рекомендовать заучивание наибольшими единицами, имеющими смысловое единство и доступными обучающемуся. Чем больше его возраст, тем больше его интеллектуальные способности, чем богаче его практический опыт, тем с большими единицами он способен работать». Эта же мысль высказывалась ранее отечественными психологами Л.В. Знаковым, А.А. Смирновым и др.

Выводы: 1) Формирование навыков космонавтов по НПИиЭ представляет собой сложный неоднородный процесс, включающий взаимообусловленные этапы, характеризующиеся рядом особенностей, которые наиболее явно проявляются в развитии *навыков при обучении*. Эффективность и быстрота формирования навыков космонавтов зависит от опыта, осмысленности этапов и задач КЭ, трудности изучаемого материала и других факторов.

2) В статье проведен анализ формирования навыков космонавтов на примере подготовки экипажей по НПИиЭ. В соответствии с «Теорией уровней построения движений» [2] впервые:

– представлены операции подготовки НА по пяти уровням построения движений (А, В, С, D, E);

– выделены два периода в формировании навыков проведения КЭ у космонавтов;

– описаны этапы развития (формирования) навыков космонавтов по выполнению НПИиЭ с использованием метода Л.Б. Ительсона;

– определены факторы, влияющие на формирование навыков проведения КЭ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Акад. мед. наук СССР. Н.А. Бернштейн. – М., 1966.
- [2] Гиппенрейтер Ю.Б. Введение в общую психологию. Курс лекций. – М.: ЧеРо, МПСИ, Омега-Л, 2006.
- [3] Зимняя И.А. Педагогическая психология: учеб. для вузов / И.А. Зимняя – 3-е изд., пересмотр. – М.: МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2010.
- [4] Ительсон Л.Б. // Психология: Перевод А.В. Брушлинский, Л.Б. Ительсон, Н.С. Лейтес и др. // М.: Изд-во МГУ, 1986.
- [5] Сериков В.В. Обучение как вид педагогической деятельности / В.В. Сериков; под ред. В.А. Сластенина, И.А. Колесниковой. – М.: Академия, 2008.
- [6] Якунин В.А. Педагогическая психология: учеб. пособие / В.А. Якунин. – 2-е изд. – СПб.: Михайлов, 2000.

УРАВНЕНИЕ ПЕРЕЛЕТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К РАСЧЕТУ ВРЕМЕНИ

М.Н. Бурдаев

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

В статье изложен вывод обобщенного уравнения перелета между двумя точками центрального поля тяготения и разработанного на его основе нового универсального уравнения расчета времени перелета между этими точками для всех типов орбит и любых полей тяготения. В отличие от уравнения Ламберта, новое уравнение времени имеет однозначное решение.

Ключевые слова: уравнение перелета, время перелета, уравнение времени перелета, определение орбиты.

The Equation of Transfer and its Application for Calculating the Time of Transfer. M.N. Burdayev

The paper describes the derivation of a generalized equation of transfer between two points of the central gravitational field and a new, developed on its basis, universal equation of calculating the time of transfer between these two points for all types of orbit and any gravitational field. In contrast to Lambert equation the new equation of time has a single-valued solution.

Key words: equation of transfer, transfer time, equation of the time of transfer, orbit calculation.

Применение теории орбитальных годографов [1] к анализу и решению задачи перелета между двумя точками центрального поля тяготения позволило разработать обобщенное уравнение перелета между этими точками.

Исходными данными для вывода уравнения перелета являются величины гравитационных радиусов-векторов r_M начальной и r_N конечной точек перелета, угла $\Delta\vartheta$ между ними и гравитационной постоянной μ поля тяготения, в котором происходит перелет.

В качестве исходной переменной используется угол Ψ_M между местной вертикалью и вектором орбитальной скорости V_M в начальной точке перелета (рис. 1).

По известным величинам радиусов r_M начальной, r_N конечной точек перелета и угла $\Delta\vartheta$ между ними вычисляем угол $\Delta\Psi_M$ (рис. 2).

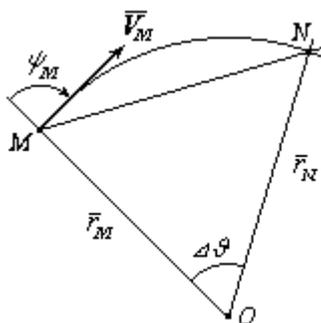


Рис. 1. Начальные условия перелета r_M , r_N , $\Delta\vartheta$, независимая переменная величина Ψ_M и вектор начальной орбитальной скорости перелета \vec{V}_M

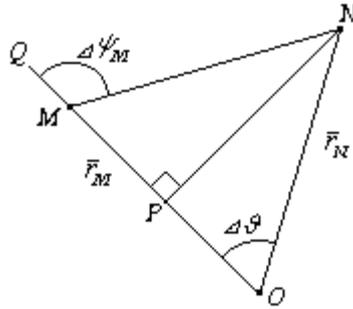


Рис. 2. К определению величины угла $\Delta\psi_M$

В треугольнике OMN опустим перпендикуляр из вершины N на сторону OM . Из треугольника ONP определяем $NP = r_N \sin \Delta\theta$. В треугольнике MNP имеем $MP = r_M - r_N \cos \Delta\theta$ и $NP = MP \cdot \operatorname{tg} (180^\circ - \Delta\psi_M) = (r_M - r_N \cos \Delta\theta) \operatorname{tg} (\pi - \Delta\psi_M)$. Приравняв взаимно два полученных выше выражения для NP и решая это равенство относительно $\Delta\psi_M$, находим

$$\operatorname{ctg} \Delta\psi_M = \frac{\cos \Delta\theta - \frac{r_M}{r_N}}{\sin \Delta\theta}. \tag{1}$$

Угол $QMN = \Delta\psi_M$ имеет геометрический смысл. Его сторона MN указывает направление из начальной точки перелета M на его конечную точку N и соединяет эти граничные точки перелета. Продолжение стороны MN является асимптотой годографа начальных скоростей перелета (рис. 3). Луч MQ направлен по местной вертикали в начальной точке M перелета и является исходным ориентиром для отсчета углов, указывающих направления векторов начальных скоростей перелета и второй асимптотой годографа начальных скоростей перелета. В пределах угла QMN лежит диапазон всех возможных значений начальных скоростей перелета по эллиптическим и гиперболическим траекториям.

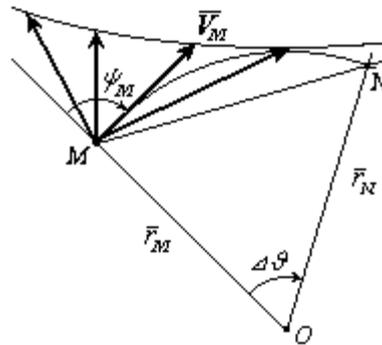


Рис. 3. Годограф начальных скоростей перелета

Решив совместно относительно величины эксцентриситета ε уравнения конических сечений для граничных радиусов перелета r_M и r_N

$$r_M = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos \vartheta_M} \quad (2)$$

и

$$r_N = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos(\vartheta_M + \Delta \vartheta)}, \quad (3)$$

получим выражение для эксцентриситета ε :

$$\varepsilon = \frac{1 - \frac{r_M}{r_N}}{\left(\frac{r_M}{r_N} - \cos \Delta \vartheta\right) \cos \vartheta_M + \sin \vartheta_M \sin \Delta \vartheta}. \quad (4)$$

Подставив полученное выражение (4) в известное уравнение, после преобразований получаем:

$$ctg \psi_M = \frac{\sin \vartheta_M}{\frac{1}{\varepsilon} + \cos \vartheta_M} = \frac{1 - \frac{r_M}{r_N}}{(1 - \cos \Delta \vartheta) ctg \vartheta_M + \sin \Delta \vartheta}.$$

Решим это уравнение относительно $tg \vartheta_M$:

$$tg \vartheta_M = \frac{1 - \cos \Delta \vartheta}{\left(1 - \frac{r_M}{r_N}\right) tg \psi_M - \sin \Delta \vartheta}. \quad (5)$$

Используя уравнение фокального параметра $p = \frac{r_M^2 V_M^2}{\mu} \sin^2 \psi_M$ и уравнение (2), получим равенство

$$\frac{r_M V_M^2}{\mu (1 + ctg^2 \psi_M)} = 1 + \varepsilon \cos \vartheta_M. \quad (6)$$

Подставим в правую часть равенства (6) выражение (4) для эксцентриситета и выполним некоторые преобразования:

$$1 + \varepsilon \cos \vartheta_M = 1 + \frac{\left(1 - \frac{r_M}{r_N}\right) \cos \vartheta_M}{\left(\frac{r_M}{r_N} - \cos \Delta \vartheta\right) \cos \vartheta_M + \sin \vartheta_M \sin \Delta \vartheta} = \frac{tg \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\frac{r_M - \cos \Delta \vartheta}{r_N \sin \Delta \vartheta} + ctg \psi_M}. \quad (7)$$

Подставляя (1) в (7) и (7) с этой подстановкой в (6), получаем уравнение годографа начальных скоростей перелета в форме

$$\frac{r_M V_M^2}{\mu} \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} = \frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}. \quad (8)$$

В этой форме уравнения обобщенный вектор начальной скорости перелета $\frac{r_M V_M^2}{\mu} \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2}$ является функцией двух взаимно независимых переменных: угла $\Delta \psi_M$, указывающего направление из начальной на конечную точку перелета, и угла ψ_M , определяющего направление вектора начальной скорости перелета относительно местной вертикали в начальной точке перелета.

Это уравнение впервые позволило представить общее решение задачи перелета между двумя точками центрального поля тяготения в наглядной форме, в виде обобщенного графика, и построить двумерное, на плоскости обобщенное изображение взаимных связей всех величин, характеризующих перелет между двумя заданными точками центрального поля тяготения (рис. 4).

Радиальные лучи на рис. 4 обозначают направления из начальной в конечную точку перелета и соответствуют постоянным значениям угла $\Delta \psi_M$. Изогнутые линии – годографы начальных скоростей перелетов для тех же значений углов $\Delta \psi_M$. Их общей асимптотой является местная вертикаль в начальной точке перелета. Вторые асимптоты этих годографов – изолинии соответствующих им углов ψ_M .

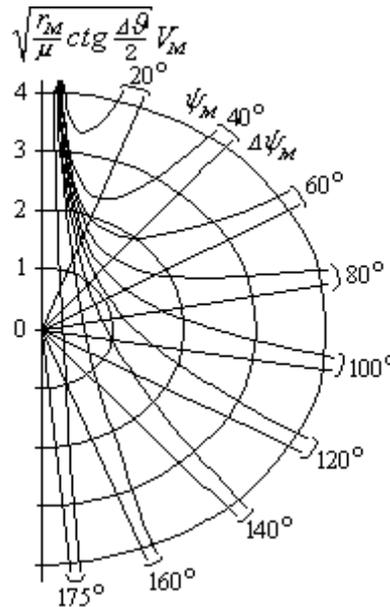


Рис. 4. Семейство годографов обобщенного параметра $\sqrt{\frac{r_M}{\mu} \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2}} V_M^2$ начальной скорости перелета

При необходимости, из уравнения (8) определяется величина начальной скорости перелета в физической размерности:

$$V_M = \sqrt{\frac{\mu}{r_M} \frac{(1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M) \operatorname{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}}.$$

В пределах диапазона углов $0 \leq \psi_M \leq \Delta \psi_M$ существуют границы, разделяющие множества эллиптических и гиперболических орбит. Это углы ψ_M , соответствующие параболическим траекториям. Они определяются из условия $\frac{r_M V_M^2}{\mu} = 2$.

С использованием уравнения (8) это условие записывается в виде:

$$2 = \frac{r_M V_M^2}{\mu} = \frac{(1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M)}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \operatorname{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2}, \quad (9)$$

откуда определяются граничные значения углов $\psi_{M1,2}$:

$$\psi_{M1,2} = \operatorname{arccctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \pm \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \frac{\Delta \vartheta}{2} - 2 \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \operatorname{ctg} \Delta \psi_M - 1} \right]$$

или, после подстановки в это выражение величины $\operatorname{ctg} \Delta \psi_M$ из (1),

$$\psi_{M1,2} = \operatorname{arccctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \pm \sqrt{\frac{r_M}{r_N} \left(1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\Delta \vartheta}{2} \right)} \right]. \quad (10)$$

Между двумя значениями $\psi_{M1,2}$ решений этого уравнения заключен диапазон величин углов ψ_M для эллиптических траекторий перелетов. Меньшее значение угла ψ_{M1} ограничивает минимальное значение угла ψ_M для эллиптических траекторий перелетов. Гиперболические траектории, соответствующие углам ψ_M , меньшим угла ψ_{M1} , уходят в бесконечность и не возвращаются в конечную точку перелета (рис. 3).

Значения углов $\psi_M > \psi_{M2}$ соответствуют гиперболическим траекториям, по которым перелеты в заданную конечную точку возможны. Максимальное значение угла ψ_M для гиперболических траекторий теоретически равно величине угла $\Delta \psi_M$. Этому случаю при конечных значениях величин начальных радиусов r_M перелетов соответствуют бесконечные величины начальных скоростей перелетов, что противоречит законам релятивистской физики. Поэтому максимальный

возможный угол ψ_M для перелетов по гиперболическим траекториям ограничен максимальной предельной скоростью перелета, равной скорости света. Вычисления ψ_{M2} из уравнения (8) для $V_M = 300\,000$ км/с показывают разницу значений углов $\Delta\psi_M$ и ψ_{M2} в градусах в пятом знаке после запятой.

Отметим, что скорости света в начальных точках перелетов с конечными значениями радиусов r_M соответствуют по законам нерелятивистской механики гиперболические, следовательно, криволинейные траектории, в том числе траектории лучей света. Кроме того, по законам небесной механики при изменении расстояния от центра притяжения скорость движения по гиперболической траектории меняется. Это обстоятельство вступает в противоречие с основным постулатом общей теории относительности Эйнштейна. Обсуждение этого противоречия выходит за рамки данной статьи.

Разработка уравнения перелета открыла возможность по-новому подойти к решению задачи расчета времени перелета между двумя точками центрального поля тяготения и разработать принципиально новый метод решения этой задачи.

Для получения такого решения потребовалось получить уравнение связи углов скорости в граничных точках перелета. Для сокращения объема данной статьи заимствуем его без вывода из [1]:

$$\operatorname{ctg}\psi_N = -\frac{r_N}{r_M} \operatorname{ctg}\psi_M + \left(\frac{r_N}{r_M} - 1\right) \operatorname{ctg}\frac{\Delta\vartheta}{2}. \quad (11)$$

В астрономии и космонавтике для расчета времени перелета между двумя точками центрального поля тяготения используется уравнение Ламберта. В общем случае оно имеет четыре варианта решения. Выбор варианта для вычисления зависит от расположения траектории перелета и ее граничных радиусов относительно обоих фокусов орбиты, элементом которой эта траектория является. В [2] отмечается, что при проведении астрономических вычислений применяются только два из этих вариантов. В практической космонавтике приходится иметь дело со всеми четырьмя вариантами [3]. Необходимость выполнения операций по выбору используемого для вычисления варианта усложняет алгоритм вычислений и увеличивает затраты времени на выполнение расчетов.

Известны несколько вариантов формул для расчета времени перелета между двумя точками центрального поля тяготения, выведенных на основе уравнения Кеплера [4], [5]. Для эллиптических орбит исходное уравнение для вывода всех этих вариантов имеет вид:

$$\Delta M = (E_N - E_M) - (\varepsilon \sin E_N - \varepsilon \sin E_M), \quad (12)$$

где: ΔM – разность средних аномалий начальной и конечной точек траектории перелета,

E – эксцентрисические аномалии начальной и конечной точек траектории перелета,

ε – эксцентриситет траектории перелета.

Представим уравнение (12) в форме, в которой независимыми переменными будут радиусы граничных точек перелета r_M , r_N , угол между ними $\Delta\vartheta$ и угол ψ_M

между местной вертикалью и вектором \vec{V}_M орбитальной скорости в начальной точке перелета (рис. 4).

Величина эксцентриситета траектории перелета определяется из {4}.

Эксцентрисические аномалии E_N конечной и E_M начальной точек траектории перелета определяются из соотношения

$$E = 2 \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} \right).$$

Разность эксцентрисических аномалий E_N конечной и E_M начальной точек траектории перелета приведем к виду:

$$\begin{aligned} E_N - E_M &= 2 \left[\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta_M + \Delta\vartheta}{2} \right) - \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta_M}{2} \right) \right] = \\ &= 2 \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\varepsilon \left(\operatorname{tg} \psi_M \operatorname{ctg} \frac{\Delta\vartheta}{2} - 1 \right) \sin \vartheta_M}. \end{aligned} \quad (13)$$

Уравнения (1) и (5) позволяют преобразовать (4) к виду:

$$\varepsilon \sin \vartheta_M = \frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta\vartheta}{2}}{1 - \operatorname{tg} \psi_M \operatorname{ctg} \Delta\psi_M}. \quad (14)$$

Подставив (14) в (13), получаем:

$$E_N - E_M = 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2} (\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta\psi_M) \operatorname{ctg} \frac{\Delta\vartheta}{2}}{\left(\operatorname{ctg} \frac{\Delta\vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M \right)} \right]. \quad (15)$$

Произведение $\varepsilon \sin E$ преобразуем к виду:

$$\varepsilon \sin E = \varepsilon \sin \left[2 \left(\frac{E}{2} \right) \right] = e \frac{2 \operatorname{tg} \frac{E}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{E}{2}} = 2\varepsilon \frac{\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 + \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}} = \frac{\varepsilon \sqrt{1-\varepsilon^2} \sin \vartheta}{1 + \varepsilon \cos \vartheta} = \sqrt{1-\varepsilon^2} \operatorname{ctg} \psi$$

Используя это выражение, представим разность произведений $\varepsilon \sin E_N - \varepsilon \sin E_M$ в правой части уравнения (12) в виде:

$$\varepsilon \sin E_N - \varepsilon \sin E_M = \sqrt{1-\varepsilon^2} (\operatorname{ctg} \psi_N - \operatorname{ctg} \psi_M). \quad (16)$$

Уравнение (11) позволяет записать:

$$\operatorname{ctg} \psi_N - \operatorname{ctg} \psi_M = \left(\frac{r_N}{r_M} + 1 \right) \left(\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M \right) - 2 \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2}. \quad (17)$$

Из (1) определяем величину r_N/r_M :

$$\frac{r_N}{r_M} = \frac{1}{\cos \Delta \vartheta - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M \sin \Delta \vartheta}. \quad (18)$$

С подстановками (18) и (17) соотношение (16) принимает вид:

$$\varepsilon \sin E_N - \varepsilon \sin E_M = \sqrt{1 - \varepsilon^2} \left[\frac{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}{\operatorname{ctg} \Delta \vartheta - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \left(\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M \right) - 2 \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \right]. \quad (19)$$

Подставляя (15) и (19) в (12) получим формулу:

$$\Delta M_{MN} = 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} (\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M)}{\left(\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M \right)} \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \right] - \sqrt{1 - \varepsilon^2} \left[\frac{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}{\operatorname{ctg} \Delta \vartheta - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \left(\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M \right) - 2 \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \right]. \quad (20)$$

Для вычисления времени перелета между двумя точками центрального поля тяготения используем известное соотношение

$$t_N - t_M = \frac{a^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\mu}} \Delta M_{MN}. \quad (21)$$

Чтобы сохранить при вычислениях единообразие и минимальное количество переменных величин, представим большую полуось траектории перелета a в функции тех же трех углов и начального радиуса r_M траектории перелета. Для этого в известное уравнение большой полуоси эллиптической орбиты подставим величину обобщенного параметра скорости из (8):

$$a = \frac{r}{2 - \frac{rV^2}{\mu}} = \frac{r_M}{2 - \frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M)}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}}. \quad (22)$$

$$t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left[\frac{r_M}{2 - \frac{(1 + \text{ctg}^2 \psi_M) \text{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M}} \right]^{\frac{3}{2}} \times \left\{ 2 \arctg \left[\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} (\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M) \text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \psi_M} \right] - \right. \\ \left. - \sqrt{1 - \varepsilon^2} \left[\frac{\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \Delta \psi_M}{\text{ctg} \Delta \vartheta - \text{ctg} \Delta \psi_M} \left(\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \psi_M \right) - 2 \text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \right] \right\} \quad (23)$$

Подставив (22) и (20) в (21), получаем уравнение для расчета времени перелета по эллиптическим траекториям:

Известно, что для эллиптических орбит

$$\sqrt{1 - \varepsilon^2} = \sqrt{\frac{rV^2 \left(2 - \frac{rV^2}{\mu} \right)}{1 + \text{ctg}^2 \psi}} \quad (24)$$

Используя (8), перепишем (24) в виде:

$$\sqrt{1 - \varepsilon^2} = \sqrt{\frac{2(\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M) - (1 + \text{ctg}^2 \psi_M) \text{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M}} \text{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \quad (25)$$

Подставляя (25) в (20), получаем, после некоторого преобразования уравнение для расчета разности средних аномалий граничных точек M и N перелета по эллиптическим траекториям в функции трех углов: $\Delta \vartheta$, $\Delta \psi_M$ и ψ_M :

$$\Delta M_{MN} = 2 \arctg \left[\frac{\sqrt{2(\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M) \text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg}^2 \psi_M - 1}}{\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \psi_M} \right] + \\ + \sqrt{\frac{2(\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M) \text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg}^2 \psi_M - 1}{\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M}} \times \\ \times \left[\frac{\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \Delta \psi_M}{\text{ctg} \Delta \vartheta - \text{ctg} \Delta \psi_M} \left(\text{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \text{ctg} \psi_M - 1 \right) + 2 \right] \quad (26)$$

В уравнении (26) представлены только угловые величины.

Подставив (22) и (26) в (21), получаем вторую форму уравнения для расчета времени перелета по эллиптическим траекториям:

$$\begin{aligned}
 t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} & \left[\frac{r_M}{2 - \frac{(1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M) g \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}} \right]^{\frac{3}{2}} \left\{ 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{2(\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M) \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg}^2 \psi_M - 1}}{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M}} \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{\sqrt{2(\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M) \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg}^2 \psi_M - 1}}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \times \left[\frac{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}{\operatorname{ctg} \Delta \vartheta - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \left(\operatorname{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \operatorname{ctg} \psi_M - 1 \right) + 2 \right] \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Уравнение (27) представляет зависимость времени перелета по эллиптическим траекториям между двумя точками центрального поля тяготения от трех углов: $\Delta \vartheta$, $\Delta \psi_M$ и ψ_M , определяющих некоторое семейство орбит перелета с одинаковой разностью средних аномалий ΔM в граничных точках, и от радиуса начальной точки перелета r_M , играющего роль масштабного коэффициента при выборе конкретных траекторий из этих семейств.

Обратная задача – определение орбиты по известным двум ее радиусам r_M , r_N , углу между ними $\Delta \vartheta$ и времени перелета $t_N - t_M$ – решается методом последовательных приближений.

При организации итерационных вычислений по формулам (23), (26) или (27) в качестве варьируемой переменной могут использоваться величины ψ_M или $\operatorname{ctg} \psi_M$. Использование величины $\operatorname{ctg} \psi_M$ предпочтительно, так как в этом случае в итерационном цикле, в отличие от уравнения Ламберта, не требуется вычислять прямые тригонометрические функции. Это свойство нового уравнения позволяет заметно сократить длительность итерационного цикла и общую длительность вычислений.

Для выбора в итерационных расчетах первого приближения величины $\operatorname{ctg} \psi_M$ или ψ_M определим параметры режима перелета с минимальной начальной скоростью.

Взяв первую производную по углу ψ_M от параметра начальной скорости перелета из уравнения (8), находим, что угол $\psi_{M V_{\min}}$ между вектором минимальной начальной скорости перелета и местной вертикалью в точке M равен половине угла $\Delta \psi_M$.

Для угла $\psi_{M V_{\min}}$ вычисляем по уравнению (23) или (27) время перелета $\Delta t_{MN \min}$ между граничными точками M и N , соответствующее минимальной начальной скорости перелета. Сравнивая это время с заданным в начальных условиях значением временем перелета Δt_{1-2} , определяем, в какую сторону по ψ_M двигаться в итерационном процессе. При $\Delta t_{MN \min} > \Delta t_{1-2}$ угол ψ_M следует увеличивать. При $\Delta t_{MN} < \Delta t_{1-2}$ угол ψ_M следует уменьшать.

После достижения заданной точности итерационных вычислений из уравнения (8) определяется величина орбитальной скорости V_M и далее с использовани-

ем величин r_M , V_M и ψ_M известными методами рассчитываются внутривсплошные элементы орбиты.

При расчете времени перелета с использованием уравнений (23) или (27), в отличие от уравнения Ламберта, нет необходимости в выборе одного из четырех возможных вариантов получаемого результата.

Эта особенность нового уравнения является следствием замены в нем варьируемой переменной величины: вместо употребляемой в уравнении Ламберта в этом качестве большой полуоси орбиты использован угол скорости в начальной точке перелета.

Диапазон возможных значений переменных $\psi_{M1,2}$ или $ctg\psi_{M1,2}$ для эллиптических орбит перелетов определяется с применением формулы (10).

В качестве примера на рис. 5 показан диапазон углов скорости $\psi_{M1,2}$ в начальной точке перелетов по эллиптическим орбитам для соотношения граничных радиусов перелетов $\frac{r_M}{r_N} = 0,5$, рассчитанный по уравнению (10).

Часть диапазона значений $ctg\psi_{M1,2}$, соответствующих этим углам $\psi_{M1,2}$, для величин $\Delta\vartheta = 50^0 - 310^0$ изображена на рис. 6.

Изложенный в данной статье метод позволяет очень просто определять время перелета по параболическим траекториям. Для решения этой задачи при известных радиусах r_M , r_N , и угле между ними $\Delta\vartheta$ из (10) определяются углы $\psi_{M1,2}$ и подставляются в (27). Обратная задача решается по схеме, изложенной выше.

Аналогичным изложенному выше путем выведем аналогичное уравнение времени перелета между двумя точками центрального поля тяготения для гиперболических траекторий.

Уравнение Ламберта для гиперболических орбит имеет вид:

$$t_N - t_M = \frac{|\alpha|^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\mu}} [\varepsilon(shH_N - shH_M) - H_N + H_M], \quad (28)$$

где α – большая полуось гиперболической траектории перелета,

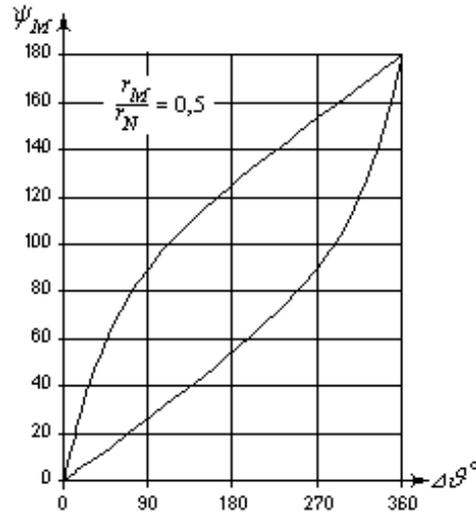
ε – эксцентриситет траектории перелета,

H – величины, аналогичные эксцентрическим аномалиям эллиптических орбит.

Величина большой полуоси гиперболической траектории перелета вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{r_M}{\frac{rV^2}{\mu} - 2}, \quad (29)$$

где обобщенный параметр $\frac{rV^2}{\mu}$ получаем из уравнения (8) годографа начальных скоростей перелета:

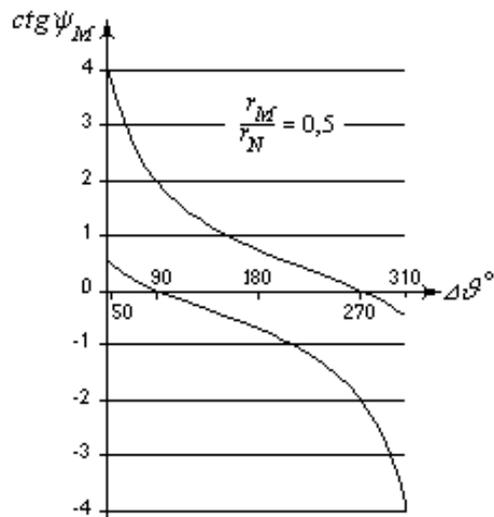


$$\frac{r_M V_M^2}{\mu} = \frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \psi_M}{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M} \operatorname{tg} \frac{\Delta g}{2}. \quad (30)$$

Рис. 5. Диапазон углов скорости ψ_M в начальной точке перелетов по эллиптическим орбитам для $\frac{r_M}{r_N} = 0,5$

Рис. 6. Часть диапазона значений $ctg \psi_M$ для начальных углов ψ_M перелета между двумя точками центрального поля тяготения по эллиптическим траекториям для углов $\Delta \vartheta = 50 - 310^\circ$

Разность $H_N - H_M$ вычисляется по формуле:



$$H_N - H_M = 2 \left[\operatorname{arth} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta_N}{2} \right) - \operatorname{arth} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta_M}{2} \right) \right] =$$

$$= 2\operatorname{arth} \left(\frac{\sqrt{\varepsilon^2 - 1}}{\left(\operatorname{tg} \psi_M \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - 1 \right) \varepsilon \sin \vartheta_M} \right). \quad (31)$$

Подставив (14) в (31), находим:

$$H_N - H_M = 2\operatorname{arth} \left(\sqrt{\varepsilon^2 - 1} \frac{\operatorname{ctg} \psi_M - \operatorname{ctg} \Delta \psi_M}{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M} \operatorname{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} \right). \quad (32)$$

Чтобы вычислить гиперболический синус shH , представим величину H в новом виде. Для этого используем формулу гиперболического тангенса:

$$\operatorname{th} \frac{H}{2} = \frac{e^{\frac{H}{2}} - e^{-\frac{H}{2}}}{e^{\frac{H}{2}} + e^{-\frac{H}{2}}} = \frac{e^H - 1}{e^H + 1}.$$

Решим это уравнение относительно e^H :

$$e^H = \frac{1 + \operatorname{th} \frac{H}{2}}{1 - \operatorname{th} \frac{H}{2}}. \quad (33)$$

Возьмем логарифм от этого выражения и подставим в него величину $\operatorname{th} \frac{H}{2}$:

$$H = \ln \frac{1 + \operatorname{th} \frac{H}{2}}{1 - \operatorname{th} \frac{H}{2}} = \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 - \sqrt{\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}} \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}} = \ln \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1}} + \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{\sqrt{\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1}} - \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}$$

Подставим полученное выражение (33) для e^H в уравнение гиперболического синуса:

$$sh H = \frac{e^H - e^{-H}}{2} = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - 1}}{\varepsilon} \frac{\varepsilon \sin \vartheta}{1 + \varepsilon \cos \vartheta} = \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \operatorname{ctg} \psi,$$

откуда следует

$$\varepsilon sh H = \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \operatorname{ctg} \psi$$

и

$$\varepsilon sh H_N - \varepsilon sh H_M = \sqrt{\varepsilon^2 - 1} (\operatorname{ctg} \psi_N - \operatorname{ctg} \psi_M). \quad (34)$$

Подставляя величины $\operatorname{ctg} \psi_N - \operatorname{ctg} \psi_M$ из (17) и r_N/r_M из (18) в соотношение

(34), получим:

$$\varepsilon (shH_N - shH_M) = \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \left[\frac{ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg \Delta \psi_M}{ctg \Delta \vartheta - ctg \Delta \psi_M} \left(ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg \psi_M \right) - 2ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} \right]. \quad (35)$$

Подставляя (29), (30), (32) и (35) в (28), получаем уравнение времени перелета для гиперболических орбит:

$$t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left[\frac{r_M}{(1 + ctg^2 \psi_M) tg \frac{\Delta \vartheta}{2} - 2} \right]^{\frac{3}{2}} \left\{ \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \left[\frac{ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg \Delta \psi_M}{ctg \Delta \vartheta - ctg \Delta \psi_M} \left(ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg \psi_M \right) - 2ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} \right] - 2arth \left[\sqrt{\varepsilon^2 - 1} \frac{ctg \psi_M - ctg \Delta \psi_M}{ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - tg \psi_M} ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} \right] \right\}. \quad (36)$$

Границы $\psi_{M1,2}^*$, разделяющие диапазоны углов ψ_M для гиперболических и эллиптических траекторий перелетов, соответствуют параболическим траекториям перелетов и определены выше из уравнения (10).

Сопоставление уравнений (23) и (36) обнаруживает, что они, как и указывалось в [2] и [3], различаются знаками больших полуосей, выражения $1 - \varepsilon^2$ и разности в фигурных скобках, а также присутствием $arctg$ в формуле для эллиптических орбит и $arth$ в формуле для орбит гиперболических.

Для гиперболических орбит из (25) имеем:

$$\sqrt{\varepsilon^2 - 1} = \frac{\sqrt{\left[(1 + ctg^2 \psi_M) tg \frac{\Delta \vartheta}{2} - 2(ctg \psi_M - ctg \Delta \psi_M) \right] tg \frac{\Delta \vartheta}{2}}}{ctg \psi_M - ctg \Delta \psi_M}. \quad (37)$$

Подставляя выражение (37) в (36), получаем вторую форму уравнения времени для гиперболических орбит в виде

$$t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left[\frac{r_M}{(1 + ctg^2 \psi_M) tg \frac{\Delta \vartheta}{2} - 2} \right]^{\frac{3}{2}} \left\{ 2Arth \left[\frac{\sqrt{2(ctg \psi_M - ctg \Delta \psi_M) ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg^2 \psi_M - 1}}{ctg \frac{\Delta \vartheta}{2} - ctg \psi_M} \right] + \right. \quad 135$$

$$+ \left. \frac{\sqrt{2(ctg\psi_M - ctg\Delta\psi_M)ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg^2\psi_M - 1}}{ctg\psi_M - ctg\Delta\psi_M} \times \left[\frac{ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg\Delta\psi_M}{ctg\Delta\vartheta - ctg\Delta\psi_M} \left(tg\frac{\Delta\vartheta}{2}ctg\psi_M - 1 \right) + 2 \right] \right\}. \quad (38)$$

Сопоставляя уравнения (27) и (38) обнаруживается, что они, как и уравнения [23] и [36], различаются знаками больших полуосей, выражения $1 - \varepsilon^2$ и разности в фигурных скобках, а также присутствием *arctg* в формуле для эллиптических орбит и *arth* в формуле для орбит гиперболических.

Количество различий между уравнениями [23] и [36] можно сократить до предела введением знаков модуля для указанных элементов уравнений:

$$t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left[\frac{r_M}{\left(1 + ctg^2\psi_M \right) tg\frac{\Delta\vartheta}{2}} \right]^{\frac{3}{2}} \times \left\{ 2Ar\left(\left[\frac{\sqrt{|1-\varepsilon^2|} (ctg\psi_M - ctg\Delta\psi_M)}{ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg\psi_M} ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} \right] - \sqrt{|1-\varepsilon^2|} \left[\frac{ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg\Delta\psi_M}{ctg\Delta\vartheta - ctg\Delta\psi_M} \left(ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg\psi_M \right) - 2ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} \right] \right\}. \quad (39)$$

Функция *Ar*() – это *arctg* для эллиптических орбит и *arth* для орбит гиперболических.

Аналогично можно сократить до предела количество различий между уравнениями [27] и [38] введением в них знаков модуля для указанных элементов:

$$+ \left. \frac{\sqrt{2(ctg\psi_M - ctg\Delta\psi_M)ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg^2\psi_M - 1}}{ctg\psi_M - ctg\Delta\psi_M} \times \left[\frac{ctg\frac{\Delta\vartheta}{2} - ctg\Delta\psi_M}{ctg\Delta\vartheta - ctg\Delta\psi_M} \left(tg\frac{\Delta\vartheta}{2}ctg\psi_M - 1 \right) + 2 \right] \right\}. \quad (40)$$

$$t_N - t_M = \frac{1}{\sqrt{\mu}} \left[\frac{r_M}{(1 + \text{ctg}^2 \psi_M) \text{tg} \frac{\Delta \vartheta}{2}} \right]^{\frac{3}{2}} \left\{ 2Ar(0) \left[\frac{\sqrt{2(\text{ctg} \psi_M - \text{ctg} \Delta \psi_M) \text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg}^2 \psi_M - 1}}{\text{ctg} \frac{\Delta \vartheta}{2} - \text{ctg} \psi_M} \right] + \right.$$

В уравнениях (39) и (40) различие между вариантами для эллиптических и гиперболических орбит остается только в обратных функциях в первых слагаемых в их правых частях.

В качестве примера в таблице и на рис. 7 приведены результаты расчета по уравнению (39) времени перелета между граничными радиусами $r_M = 6571$ км, $r_N = 6771$ км при угловом расстоянии между ними $\Delta \vartheta = 70^\circ$. Для этих условий угол $\Delta \psi_M = 123^\circ 774$.

В верхней строке таблицы показаны характеристики одной из близких к параболе эллиптических траекторий с наибольшими временами перелета. В средних строках таблицы приведены результаты расчетов для эллиптических и гиперболических орбит, близких к разделяющей их параболе. В нижней строке представлены параметры гиперболической траектории перелета, в начальной точке которой скорость близка к скорости света.

Таблица

ψ_M^0	k	ε	$t_N - t_M$ с
17,6354091	1,99999999	0,99999999	5,46584E+15
18	1,95722711	0,99599484	598319,2439
.....			
106	1,98356967	0,984827598	692,9802405
106,13817281495	2	0,99999999	689,9416157
106,138172817821	2	1,000000001	689,6039111
107	2,10899494	1,100100098	670,6555284
.....			
123	51,4033991	42,27535582	136,7682443
123,773581806205	1483919172	1233244906	0,025515023

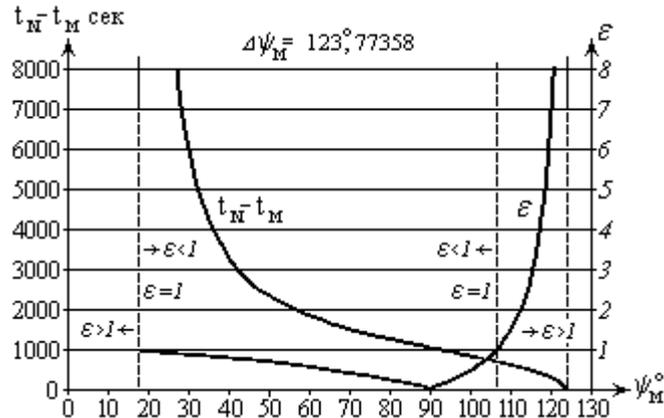


Рис. 7. Результаты расчета по уравнению (39) времени перелета по эллиптическим, параболическим и гиперболическим орбитам для $r_M = 6571$ км, $r_N = 6771$ км, $\Delta\vartheta = 70^\circ$

В знаменателях вторых слагаемых в правых частях уравнений (8), (9) и (10) стоит разность $\operatorname{ctg} \frac{\Delta\vartheta}{2} - \operatorname{ctg} \psi_M$. В случаях, когда $\psi_M = \frac{\Delta\vartheta}{2}$, эта разность равна нулю. По этой причине вместо углов $\psi_M = \frac{\Delta\vartheta}{2}$ при вычислениях следует брать величину, близкую к этому значению.

В машинных программах расчетов по уравнениям (39) и (40) замена функции arctg на arth сводится к добавлению в конце буквенного сочетания atan буквы h .

Результаты вычислений, приведенные в таблице и на рис. 7 показывают, что уравнения (39) и (40) применимы для расчетов времени перелета по эллиптическим и гиперболическим траекториям. Дополнительные расчеты подтвердили, что эти уравнения пригодны для расчетов времени перелета по круговым орбитам и траекториям, близким к прямолинейным.

Обратная задача – определение элементов орбиты по известным радиусам r_M , r_N , углу между ними $\Delta\vartheta$ и времени перелета Δt_{MN} решается с использованием этих уравнений по схеме, изложенной выше.

Численная проверка уравнений (23), (26) и (27) показала, что для них существует общее условие проверки и коррекции: если при вычислениях появляется величина $E_N - E_M$, меньшая нуля, то в правую часть уравнений (23), (26) и (27) следует добавить 2π .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бурдаев М.Н. Теория годографов в механике космического полета. – М.: «Машиностроение», 1975. – 152 с.
- [2] Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. – Главная редакция физико-математической литературы Издательства «Наука», 1968. – 800 стр.

- [3] Беляков А.И. Графо-аналитический метод исследования движения космических аппаратов. – М.: «Машиностроение», 1973. – стр. 148.
- [4] Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 540 с.
- [5] Херрик С. Астродинамика. Т.1. – М.: Изд-во «Мир», 1976. – 318 с.
- [6] Бурдаев М.Н. Применение метода годографов к расчету времени перелета в центральном поле тяготения // Журнал Российской Академии Наук «Космические исследования». – Том 47. – № 2. – Март-апрель 2009. – С. 204–208.

ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ НА МАРСЕ

О.С. Цыганков, С.А. Морозов

Док. техн. наук, профессор МАИ, Заслуженный конструктор РФ, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники О.С. Цыганков (РКК «Энергия» им. С.П. Королёва)
канд. в космонавты-испытатели С.А. Морозов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина)

Рассмотрены предвидимые условия деятельности десантной группы экипажа на поверхности Марса при воздействии ветровых нагрузок.

Ключевые слова: проекции скафандра, скорость ветра, модель обтекания, аэродинамическая сила, моделирование ветровой нагрузки.

Wind Effects on Mars. O.S. Tsygankov, S.A. Morozov

The paper discusses the foreseeable conditions under which the landing group should work on the Martian surface when exposed to wind loads.

Key words: spacesuit projections, wind speed, flow model, air force, wind effect simulation.

Ко времени планирования десантной операции, благодаря автоматическим аппаратам (как и должно быть), о Марсе будет значительно больше информации, чем было о Луне перед посадкой Аполлона-11. Космонавты десантной группы первой марсианской экспедиции должны быть и будут готовы какой-то отрезок времени жить и работать в природных условиях марсианского климата [1].

Одно из наблюдаемых на Марсе природных явлений – это постоянно дующие со скоростью 10–30 м/с и меняющиеся по направлению ветры, взвешенная пыль. Для подъема пыли достаточна скорость ветра 30–50 м/с, а для ее переноса – не менее 70 м/с [2]. В атмосфере Марса периодически возникают пыльные бури, порою глобального масштаба, не имеющие аналогий на Земле.

Озабоченность вызывает воздействие ветровых нагрузок на марсонавта. С этой целью проведена оценка силы, действующей на оператора в скафандре при обтекании его потоком углекислого газа с постоянной скоростью путем использования расчетной аэродинамической программы AeroShape-3D для численного моделирования процессов обтекания (Андреев С.В., Егоров Н.А., Медведев Н.Г., Стойко С.Ф., РКК «Энергия»).

Расчеты, относящиеся к марсианским условиям, выполнены при следующих параметрах набегающего потока: скорость – 30 м/с, температура – 243,8 К, плотность – 0,0164 кг/м³, давление – 600 Па [3]. Эти термодинамические параметры соответствуют условиям, которые, согласно нормальной модели атмосферы Марса, наличествуют на высоте 0 м от поверхности планеты. Схематизированное представление оператора в скафандре приведено на рис. 1. Высота модели (рост оператора) равна 1,9 м, максимальная ширина во фронтальной проекции – 0,9 м.

На рис. 2, 2а, 2б показано распределение модуля скорости в плоскости симметрии ($z = 0$) при обтекании описанной геометрической модели.

Для сравнительной оценки количественных результатов были привлечены данные, полученные по инженерной методике расчета. Абсолютное значение аэродинамической силы составило $\sim 30H$.

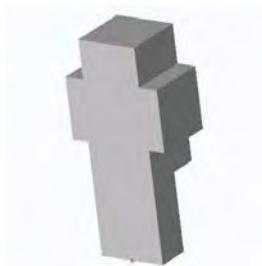


Рис. 1. Схематизированное представление оператора в скафандре

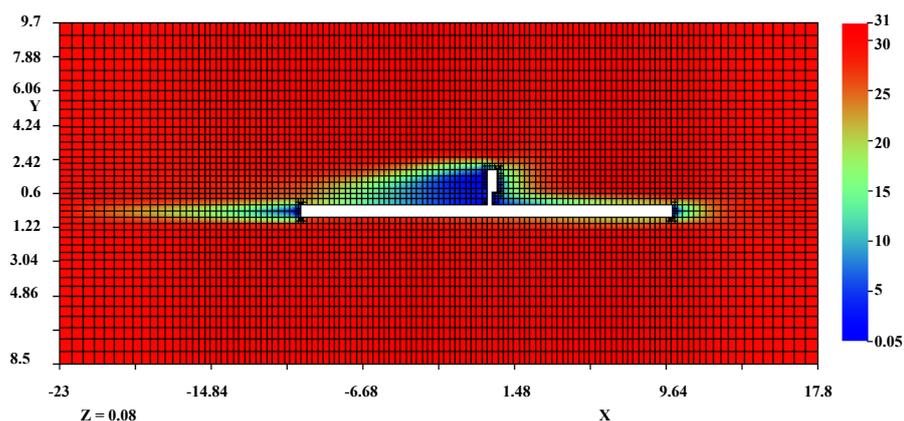


Рис. 2. Поле модуля скорости при обтекании оператора со спины (поток набегаёт справа).
Поверхность грунта смоделирована с помощью непроницаемой плиты

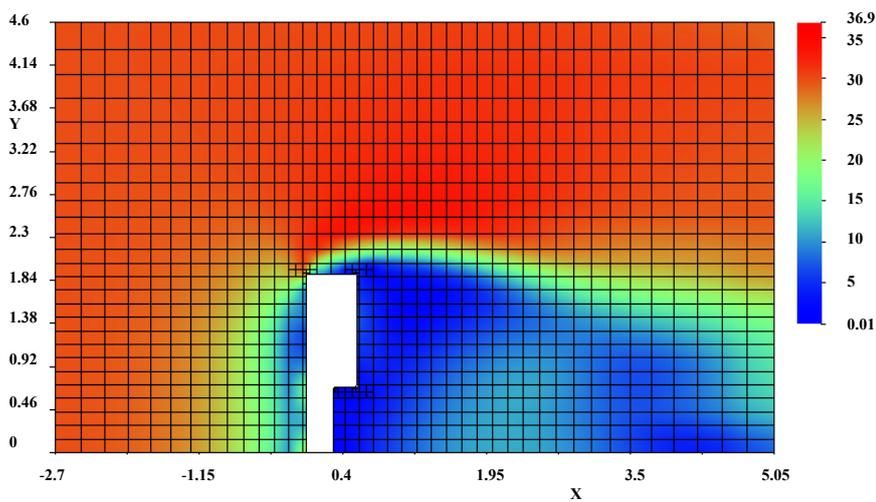


Рис. 2а. Поле модуля скорости в плоскости симметрии при обтекании оператора спереди (поток набегаёт слева), несжимаемая схема

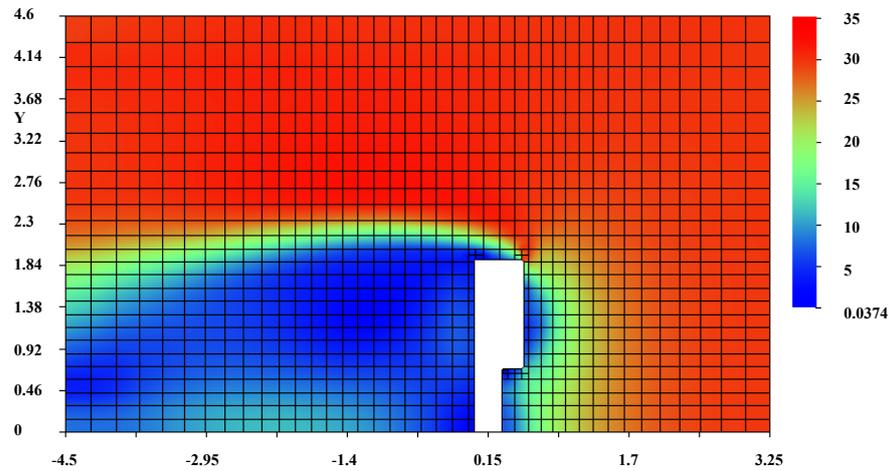


Рис. 26. Поле модуля скорости в плоскости симметрии при обтекании оператора со спины (поток набегаёт справа), несжимаемая схема

Таблица 1

Расчет обтекания оператора в марсианских условиях, $v = 30 \text{ м/с}$

Расчетный случай	Абсолютное значение аэродинамической силы, H	Абсолютное значение аэродинамического момента, $H \cdot м$
Обтекание со спины, принудительно задана сжимаемость, грунт моделируется с помощью плиты	16,52	22,02
Обтекание со спины, несжимаемое течение, $y = 0$ – условие непротекания	12,06	19,2
Обтекание спереди, несжимаемое течение, $y = 0$ – условие непротекания	12,64	43,74
Обтекание сбоку, несжимаемое течение, $y = 0$ – условие непротекания	7,43	7,71

По некоторым источникам, скорость ветра достигает 140 м/с . Можно предположить, что при такой скорости ветра, особенно при резких порывах, нагрузки на скафандр могут достигать значений, в разы больше указанных и запредельных для безопасности марсонавта.

Чтобы составить представление о воздействии ветровых нагрузок на испытателя в скафандре, был проведен оценочный эксперимент в наземных условиях. При этом испытатель в современном орбитальном скафандре «Орлан» в вентиляционном исполнении под избыточном давлением $0,4 \text{ атм}$, располагался в положении стоя на макете грунта (стенд «Селен», РКК «Энергия», рис. 3).



Рис. 3. Испытатель и макет грунта на стенде «Селен»

Вес скафандра составлял ~ 40 кгс, что может быть близко к весу марсианского скафандра в условиях $g = 0,38$; вес испытателя 75 кгс. Сосредоточенная нагрузка через динамометр прилагалась в точке расположения центра тяжести системы «человек–скафандр». Измерялась опрокидывающая сила, приводящая к наклону скафандра и выводу проекции точки центра тяжести из площади опоры, занимаемой подошвами ботинок скафандра. При приложении силы 30–35Н и наклоне на 12° – 15° от вертикали, происходило падение испытателя (рис. 4).

Вопросам безопасности при падениях следует уделять особое внимание, учитывая массу связки «человек–скафандр» и марсианское ускорение силы тяжести 371 см/сек^2 , а также характер поверхности в виде застывшей лавы. На Земле известны подобные породы под названием «вулканическое стекло», которые имеют раковистые режущие изломы или игольчатые образования, например, обсидиан (*obsidianus lapis*). Придется позаботиться о защите органов управления, остекления гермошлема и перчаток скафандра, где на кончиках пальцев только однослойная оболочка.

Прогнозируемая ветровая обстановка на Марсе ставит в повестку дня создание и оснащение посадочно-взлетного модуля, а может быть, и скафандров, нетипичными для космической техники приборами с функциями древнего флюгера или анемометра для определения направления ветра и измерения его скорости. Прибор в модернизированном исполнении мог бы выдавать интегрированное показание величины ветровой нагрузки на скафандр и иметь звуковую тоновую индикацию.

Полученные результаты, несмотря на отличие условий эксперимента от ожидаемых на Марсе, дают пищу для осмысления проблемы и, возможно, распространения их на реальную ситуацию или использования для подготовки более корректных экспериментов, например, в аэродинамической трубе.



Рис. 4. Имитация ветровой нагрузки

ВКД на поверхности Марса является локальным фрагментом пилотируемой экспедиции. Исследования в этом направлении можно и целесообразно разворачивать уже в настоящее время с целью формирования концептуальных и методических подходов к решению этой многоаспектной проблемы. Результаты исследований деятельности экипажа должны быть учтены на ранних этапах проектирования элементов межпланетного экспедиционного комплекса, что позволит исключить принятие неадекватных и неэффективных решений в части учета человеческого фактора.

Проблемы обеспечения деятельности человека на поверхности Марса далеко не исчерпываются рассмотренными выше, более того, они во множестве своем еще не определены. Проведение исследований и разработок по теме ВКД на поверхности небесных тел, которые опережали бы проектирование конкретного экспедиционного комплекса, не будет преждевременным и может стать вкладом России в международные проекты, в том числе, полета на Марс.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А.С. Коротеева. – РАКЦ, Москва-Королев, 2006.
- [2] В.И. Мороз. Физика планеты Марс. – Москва: «Наука», 1978.
- [3] Марс. – М.: Физматлит, 2004.

От редакции

Впервые в нашем журнале представляется философское понимание духовной составляющей летного и космического труда в неземной среде обитания, осмысление опыта жизни «людей летающих». У летчиков и космонавтов – богатый внутренний мир, яркие переживания, эмоции, ощущение Пространства и Времени.

Статья носит дискуссионный характер и ведет читателя к размышлению, анализу, обращению к себе и мыслям человека в неземной среде обитания...

Джим Ирвин – пилот лунного модуля космического корабля «Апполон-15», пробыл на поверхности Луны 67 часов: *«Наш разум был в состоянии гигантского напряжения, работая в максимальном режиме. А души наши замерли: они понимали, что этот полет приближает их к вселенскому космическому состоянию, а в этом состоянии они смогут лучше понять великую тайну жизни и цели человека... На Земле мы не видим всю картину Вселенной, а только ее крошечный кусочек возле нас...»*.

ЧЕЛОВЕК ЛЕТАЮЩИЙ

В.А. Пономаренко

Докт. мед. наук, акад. РАО В.А. Пономаренко. (НИИИЦ авиакосмической медицины)

В статье излагаются концепции и направления дальнейшего развития науки авиационной и космической психологии. Рассматривается проблема духовного измерения человеческих качеств в неземной среде обитания, внутреннего мира человека летающего, обогащенного нерукотворным миром. Оценивается не только прагматический результат авиакосмических полетов, технические, социальные, политические аспекты, но и духовно-нравственное развитие познающего природу Вселенной. Сформулированные мысли носят дискуссионный характер.

Ключевые слова: духовность, внутренний мир личности, одухотворенность, ноосферная информация, Пространство и Время, Вселенское сознание трансформации духовного мира Земли в космическое мировоззрение. Парадигмы XXI века в системе общений смысла и целей жизни.

Homo Volans (a Flying Man). V.A. Ponomarenko

The paper presents concepts and directions of the further development of aviation and space psychology. The problem of spiritual measurement of humanness in an unearthly living environment, the inner world of a flying man, enriched with the not man-made world is discussed. Not only pragmatic results of aerospace missions, their technical, social, and political aspects but also spiritual and moral development of a personality, cognizing nature of the universe, is evaluated here. Formulated ideas are of controversial nature.

Key words: immateriality, inner world of an individual, spirituality, noospheric information, Space & Time, Universal consciousness of transformation of spiritual world of the planet into the space world-view. Paradigms of the XXI century in the system of intercommunication between the sense and objectives of a life.

Опасная профессия всегда сопряжена с мобилизацией духовных сил, нравственным напряжением, доминированием в целеполагании добродетельности. Обратимся к философии Духа человека в небе. Для человека летающего Небо всегда было, есть и будет любовь и Дух. Безусловно, трудно доказать, что Дух человека

есть сила небесная, но еще труднее опровергнуть сказанное. Не следует упорствовать в убеждении, что Дух – это что-то не от мира сего. Человеческий Дух – это реальный опыт возвышенного психического состояния, возникающего не столько в результате действия, **сколько в процессе достижения смысла своей деятельности**. Самое понятие «смысл» включает цель в ее духовном обрамлении. Любой идеальный мир, построенный в нашей голове, не имеет выраженного физического эквивалента, хотя мы его всегда физически ощущаем как чувство переживания. Чувство переживания в свою очередь трансформируется в физически ощущаемую душевную боль, прилив крови, учащение сердцебиения и т.д. Все это говорит о том, что Дух не есть аллегория, мифологема, скорее это исторический опыт культуры семьи, общества, этноса, данный нам в чувственных переживаниях по отношению к другим людям, событиям, явлениям.

В Духе представлены как бы две ипостаси – земное и космическое, природное и эфирное. Высшее предназначение Духа – во вселенском развитии сущностных сил человека. Для человека летающего высший смысл деятельности, а порой и жизни, **в полете**, который реализуется в его чувствах свободы. Этим-то и ценен Дух, что он, как родник, капля за каплей наполняет колодезь души такими чувствами, как страсть раскрыть, развить, размыслить свое «Я», как желание найти свое место в небе. И, наконец, «выйти» из своей телесной оболочки, «погулять» чуточку на воле. Скорость, пространство за пределами Земли, ощущение дыхания гравитации, своей причастности к Вселенной, переживание чувства своего нового «Я»; более свободного, радостного, вольного – все это и есть новый мир пространства Духа, где человек познает сущее. В этой связи уместно вспомнить интересную мысль Н. Бердяева, что знания всегда принудительны, а веру дает свобода [1]. Может, в этом и есть контрапункт полета: выйти за рамки знаний к познанию разумности порядка свободы. Дело в том, что в полете потребность в духовной поддержке, право на многообразие степеней свободы, выбора решений востребуются самой профессией. Вот тут и приходит на помощь Дух, истинный смысл которого раскрывается не в «впрыскивании» волевого начала, а в открытии правды о себе, о своем моральном и профессиональном «потолке», т.е. в откровении! Эти мгновенные переживания того, что ты стоишь как личность, и есть духовный процесс очищения от самодовольства, гордыни, осознание своей вины – выхода за пределы своих возможностей. Дух летчика есть реальность, представленная в его жизненном и профессиональном опыте. Но проявляется он не в интеллекте и образованности, а в более глубоком и цельном – **любви** к полету. Это состояние владеет человеком, жаждущим летать как дышать, как жить.

Опыт психологического изучения мотивов и поступков в момент покидания самолета в аварийной или катастрофической ситуации наводит на мысль, что именно чувство ответственности и органично присущее летчику творчество заставляло человека идти до конца в борьбе за жизнь **только вместе с самолетом**. Особенно это характерно для ситуации, которая представлена в сознании как порождение собственной вины. И тогда с позиции земной логики начинаются неразумные действия, когда аварийная ситуация доводится до степени непреодолимости как результат борьбы мотивов. Это действительно редчайшие случаи в авиации, но они приоткрывают некую тайну, когда совесть оценивает уход от решения нравственной дилеммы как предание интересов великой цели Полета.

Опасность барражирует над летчиком, когда он вынужден расстаться с Небом. Это самая мучительная опасность, разъедающая душу. Это особенно характерно для случая, когда наступает состояние излета [11]. Человек чувствует, что

ему полет не в радость, он духовно насилует себя, теряет ответственность перед собой, семьей, товарищами, идет в полет как на подневольную работу. В этом состоянии его преследует страх, неуверенность, снятие с себя ответственности за исход полета. Идет распад целостности времени, **прошлое верховодит над будущим**: человек возвращается назад к оценке правильности своего выбора. Это духовная опасность, ибо она есть трансформация высшего в низшее. Реальность жизни заполняется чувством стыда от схода с дистанции, которое рождает психологическую установку на беспощадность оценки своей личности. И в этом духовная жизнь летчика подтверждает догадку мыслителя о том, что мы правильно видим себя только в минуты стыда [9]. Это и есть утрата идеи, своей сути.

Опасность и есть духовная высота, достигая которую летчик приобретает новые качества, определяющие осознание своей силы, одновременно развивая в себе то, чего не хватает земным людям: ответственность и способность оценивать результаты своих действий [10]. Ответственность проявляется в умении распорядиться своей свободой. На свободе многих «бес путал». Свобода, пожалуй, единственная из форм насилия, которая в конечном счете служит добродетелью для человека, охраняя его от поступков за рамками добра. Ведь высшие порывы к работе в зоне повышенного риска могут проявляться в поведении как в положительной, так и отрицательной форме. Философия человека в небе состоит в том, чтобы законы, по которым он летает, были освящены пониманием того, что совершенствование для летных экипажей есть путь к духовным высотам, а уж потом к профессиональным. Отсюда и некая смена акцентов при определении «совершенствования психической деятельности».

Духовная основа самовоспитания есть, прежде всего, познание своего второго «Я», которое может быть названо твоим Духом, ибо рождает любовь к полету. Второе «Я» – это воля, но в особом качестве, качестве ограничителя собственной свободы, т.е. духовное средство сознательного управления своими чувствами и действиями. Второе «Я» – это осознание своих способностей как путь к добру и **как личный знак твоего имени**, чем ты должен дорожить не меньше, чем жизнью. Духовная работа над собой, конечно, приведет к способности осознавать такие высшие чувства, как грех и вина. Грех не есть зло. Грех в том, что твой Дух дал злу воспользоваться данной тебе свободой, т.е. поступить неразумно. Не бойтесь познать Дух в себе, ибо он не есть нечто потустороннее. Это более разумное и доброе «Я». Придет время – и люди будут гордиться тем, что именно летчики и космонавты первыми поняли: есть у каждого Бог в душе.

В настоящее время в интересах глобального преобразования людских сообществ гуманисты ставят новую цель: подчинить технику, экономику, иррациональные социальные силы [12]. Это новая человеческая утопия. Я же хочу сформулировать свою «авиационную» утопию, смысл которой сводится к следующему. Сегодня поднята идея создать истинное гуманистическое общество, тогда почему не увидеть в сообществе летающих людей достойный ему пример. К этому есть некоторые предпосылки. Летчик – это человек в совести, которая его хотя и ведет к жажде власти, но над собой. Его внутреннее «Я» как данная в Духе свобода воплощается в других людях, его сознание настроено на Вселенскую частоту. Летчик в качестве **средства достижения высших целей** представляет любовь и жизнелюбие. Самый большой порок в человеке – это гордыня, но и ее многие выдающиеся летчики постоянно усмиряли, исповедуя авиационный нравственный императив: чем выше поднимаемся, тем меньше кажемся мы людям, которые не умеют летать. Это удивительный психологический феномен духовной приемст-

венности. Вот где великое предзнаменование святой обязанности: возвращаясь с неба, обогащать Духом землян! Конечно, это благое пожелание, далеко не все способны его исполнить. Попытаемся использовать необычный ракурс видения летного труда в целях поиска его духовных свойств, новых качеств сознания, которые не отделяют человека от других миров, а сближают с ними. В свое время Л. Гумилев духовное стремление человека к общности идеалов у всех людей называл этнической доминантой [5].

Какова психология чувств человека, который **покоряет** пространство?

Прежде всего, авиация придала таким абстрактным категориям, как пространство и время, личностный смысл, т.к. именно эти категории для человека летающего превращаются в социальную ценность, ибо психологически включены в цель и средства деятельности. Пространство, по мнению летчиков и космонавтов, стало **доступным**. «В полете, – писал летчик В. Еремин, – рождалось не иллюзорное, а вполне реальное чувство доступности любой точки земной поверхности в заданное время, крылья и мотор изменили реальность» [6]. Как видим, психологическая трансформация физической сути пространства для летающего есть интеллектуальный процесс осмысления и самосознания себя как личности, как социальной ценности. Летчики и космонавты очеловечивают Пространство, называя его общим Домом. Пространство и время в полете – это информационная категория, имеющая глубокий социальный смысл: сохранение национальной безопасности страны, устранение причин катастрофических экологических ситуаций, общение планетян и т.д.

Таким образом, саму проблему Пространства мы можем обозначить как новую область исследований механизмов формирования планетарного сознания. Дело в том, что Небо едино над планетой. Поэтому авиация и космонавтика помогают человеку любой страны в полете развивать человеческое в себе, обостряя нравственные потребности, понимание себя в другом. Эта профессия может служить способом накопления человеческого капитала, создавать (в понимании Сент-Экзюпери) «планету людей». Мне кажется, что подобный общий взгляд на проблему пространственной ориентировки (и в ее частном виде в авиации) смог бы нас продвинуть в решении сугубо практических задач.

Пора нам вырваться из плена привычных метафизических постулатов и переходить на уровень Вселенского сознания, ибо только тогда мы увидим в многообразии содержания и форм реакций организма и психики свидетельство далекой эволюции.

На этом пути проблема пространственной ориентировки летчика есть исключительный инструмент познания адаптивных возможностей человека. Дело в том, что сам процесс дезориентации, т.е. распад целостности психического отражения себя в пространстве, процесс дезинтеграции сознательного и бессознательного, дисгармонии биологического и социального, раздвоения «Я» и образования «ложного мира» станет ключом к разгадке духовных истоков человека.

Космос дает возможность поставить вопрос о перспективных исследованиях человека как носителя Вселенского сознания и как личности – вместилища Духа. С этой позиции все достижения космической психологии – это не более, чем начальный результат, т.к. моделью была искусственно созданная локальная земная жизнь. В космических полетах живительная связь землян с человеком не прерывалась. Но факт остается фактом – наше научное сознание отдало приоритет биологическому началу в человеке и, соответственно, под эту концепцию выстроило всю программу медико-биологической подготовки профессионалов. И вместе с

тем триумф осознания духовного родства планетян после полета Ю. Гагарина позволяет мне высказать ряд суждений.

Космическая эра в жизни землян вызвала к жизни культурологическую концепцию сближения людей вместо их разобщения. Я не считаю, что дело можно свести к трансформации политических мотивов. Думается, речь должна идти о социальных мутациях сознания. Духовным итогом прорыва человечества в космос является развитие энергетического потенциала культуры нашей планеты, создание реальных предпосылок для нравственного императива, могущего поднять людей до нового уровня осознания Всевышнего Разума. Суть этого императива в скачке земного рассудочного разума к Духовному Разуму в интересах создания единого поля для человеческого сообщества, познавшего и усилившего смысл жизни как бытия Вселенной. Но для этого в исследованиях Человека о космосе необходимо изменить научную парадигму, сместив акцент с земной психологии на космическую. И вновь приходится говорить о методологии. В межпланетарном космическом полете создадутся условия для глубокого снижения воздействия земной среды и, соответственно, условия для более глубокого соприкосновения организма, клетки с космической средой. А это позволит, с одной стороны, определить динамические величины психофизиологических резервов, а с другой, – прижизненно сформировать новые структуры, определяющие иные формы организации бытия организма в необычной среде.

Велика роль Космоса и в области формирования планетарного сознания, теологических теорий для интеллектуалов-атеистов и нового нравственного пространства духовного развития землян. В Космосе – ключ к открытию и психического кода, который был по неизвестным причинам утрачен, и нам досталась лишь частичка прошлого разума для обслуживания своих витальных, репродуктивных и эгоистических потребностей.

В этой связи психологическая программа исследований в Космосе должна предусматривать, с одной стороны, решение практической задачи в виде создания способов развития новых свойств коммуникативности психики, ее помехоустойчивости, способности через общение с членами экипажа конструировать новую духовную среду обитания, а с другой стороны, обоснование теоретических аспектов установления связей земного человеческого бытия с тайной нашего происхождения. Не менее важна роль Космоса в создании нового планетарного сознания, новых духовных теорий. Человечество нуждается в создании нового нравственного пространства для духовного единения землян.

Человек в Космосе начинает одухотворять пространство. Там, наверху, он осознает Землю как часть своего «Я». Вот где творческое поле для будущих философов. В Космосе взаимопереходы общего в единичное, идеального в материальное столь ощутимы, что позволяют приблизиться к проблеме зарождения общей планетарной Души. Следует присмотреться к душевным трансформациям космонавтов, даже кратковременным. Отгалкиваясь от этих крупниц озарений, прозрений можно создать программы познания личности, свободы воли и мысли.

Полеты человека в околоземное пространство впервые создали условия, когда нации, народности и просто личности, живущие на Земле, так ощутимо озарились мыслью о единой человеческой Душе, а **космонавт, получив импульс космического сознания, убедился в том, что не Землею един Человек!** Приток вселенского сознания начался, жизнь в Небе существенно преобразила быт в бытие, тем самым открыла дорогу Духу.

Сознание мы всегда рассматривали как отражение и преобразование материального в идеальное и очень боялись представлять его как приемник для связи с информационным миром вне Земли.

Во все века люди стремились переделывать мир, не понимая главного – мир для нас или мы для мира? Но мир – это мы и есть. Таким образом, если переделывать, то себя, а это означает выбор: с кем ты, Человек? От этого выбора будет зависеть успех прорыва в пространство Вселенского сознания. В этой гипотезе меня поддерживает тот факт, что человечество сегодня встало на путь поиска высших ценностей. Рождается потребность в новой Вере!

В свое время В. Вернадский выдвинул гипотезу мироздания. Живое вещество привнесено на Землю из глубин Космоса, причем не в виде молекул, а в форме биологических полей. Поле, в физическом смысле, представляет часть пространства, в пределах которого действуют различные силы. В мироздании есть две реальности: вещество и поле (А. Эйнштейн). Вещество биосферы находится в двух состояниях: живом и космическом. Они соединены между собой. Космогоническая суть биополя живого вещества представлена человеческим разумом, который и преобразует биосферу в сферу вселенского разума, т.е. в ноосферу [2]. Вещество, время и пространство – это как бы форма Вселенной, а информация и Дух – ее содержание.

Связь энергии космоса с полем живого вещества человека осуществляется через духовность. Отсюда – объективизация физического смысла духовных сил. Однако это не помешало Тейяр де Шардену высказать мысль о том, что возникновение жизни есть результат процесса ВЗЛЕТА ДУХА, увенчавшегося появлением человека. По Шардену, материя, т.е. поле, есть матрица духовного начала [13]. Физическая энергия поля Вселенной по мере ее рассеивания эволюционно поддерживается духовной энергией. Эта энергия присуща и клетке, и молекуле, а в новой материи эта энергия приобретает форму сознания.

Высшее предназначение живого духовного поля в человеке, по-видимому, – в организации и координации равновесного состояния Добра. Выводит из этого равновесного состояния энергия Зла. Этому способствует Вселенское свойство биополя человека быть всеобщим. Мое «Я» есть также «Я» других людей – это всеобщность (Гегель). Фундаментальным свойством духовного поля является связанность людей в добре и зле [7]. Отсюда я формулирую методологическую, а затем и теоретическую посылку (концепцию) об объективной возможности экстрасенса с помощью своего энергетического поля восстанавливать поле другого человека, потерявшего динамическое равновесие и вышедшего за пределы «духовных законов» (область зла). Обозначим эту гипотезу-концепцию как «Равновесие энергетических полей». Такое равновесие энергетических полей аналогично механизмам духовной организации Вселенной. Поле духа в рамках человеческой субстанции противодействует хаотичности состояний души, выходящих за пределы нравственных границ, т.е. пребыванию их по ту сторону Добра. Учитывая всеобщую связь людей в добре и зле, человек способен принять энергию из космоса и передать ее другому, помогая ему достигнуть в Душе равновесного состояния. Постулат равновесия энергетических полей рассматривается мною как главное условие выживания человечества. Другими словами, человек в принципе обладает сверхчувствительной способностью перевести хаотичное состояние в равновесное, которое в наибольшей степени отвечает предназначению человека; он может воспроизводить добро и тем самым контролировать зло, хотя, может наоборот, и умножать зло.

Меня заинтересовали эксперименты С. Грофа (в том числе над собой) с позиции регрессии памяти о Космосе. Это выразилось в переживании космического

единства, безмятежного вневременного блаженства, переживании Чистого Бытия. Люди, пережившие это состояние, описывали его как бесконечность, утрату своего «Я», расширение сознания, они как бы сами становились сознанием. Они себя ощущали космическими существами, получая заряд мудрости. Дело доходило до состояния экстаза, когда испытуемый обожествлял себя [4].

Хочу привести оригинальные эксперименты своего коллеги профессора Л.П. Гримака, касающиеся внушения в гипнозе состояния невесомости лицам, которые никогда это ощущение не переживали [3]. Исследования биохимических и вегетативных реакций у человека в состоянии внушенной гиповесомости показали, что развивающиеся при этом функциональные состояния сердечно-сосудистой системы и локомоторной сферы близки тем, которые имеют место в реальных условиях полета. Приведенные выше данные «мучают» меня. Дело в том, что наблюдения за душевными состояниями летчиков и за личными своими переживаниями на высотах более 15 тыс. метров в кабине самолета-истребителя и при изучении расстройств сознания от высотной гипоксии показали, что одним из первых феноменов проявляется «полет души», отчуждение от земного тяготения, чувство блаженства и главное – встречи с другим миром. Я проводил в 1967 году научный эксперимент над собой с использованием обедненной газовой смеси, т.е. кислородное голодание. В этот момент управлял «самолетом» – тренажером. Поскольку я был осведомлен, что потеряю сознание, то все свои ощущения диктовал на магнитофон. Кратко опишу это состояние. Никакой эйфории у меня не наступало. Я отчетливо заметил, что мои реакции на изменения параметров полета замедляются (критическая сфера сохранялась). Затем постепенно появилось чувство легкости и медленное удаление от задачи, которую я выполнял. Начиналась трансформация реальности в ареальность: световые иллюзии, пустота, бесконечность, ощущение нового измерения, другого Пространства... другой жизни. Потерю сознания не ощутил. В последующем с сотрудниками Института психологии Российской академии наук мы проводили исследования подобного рода.

Обычно изменение сознания имело строго фазовый характер: изменения в эмоционально-волевой сфере (снижение критичности, благодушие), сенсомоторной (двигательная расторможенность, дизартрия речи), далее в психической (заторможенность, отчужденность, судороги, ступор, кома). Но есть и другие проявления, когда реальная действительность не просто уходит, а вытесняется новой в виде сновидений благостного характера. Ощущение высвобождения души появляется, но, к сожалению, физического эквивалента, регистрируемого в нейропсихологических измерениях, нет. Поэтому в этом направлении мы только строим гипотезы. Хотел бы обратить внимание на один странный факт: по мере углубления гипоксии мозга сфера рефлексии заметно сужается (Т. Ушакова), и в то же время появляется «другое сознание», которое живет в другом мире. Видимо, в этот момент осуществляется информационная связь психического биополя с космическим.

С позиции антропогенеза этот феномен можно расценить как реализацию эволюционного механизма отклика на космический импульс. Приведенные наблюдения наводят на мысль, что человек летающий впитывает космическую энергию, становясь естественным экстрасенсом, даруя окружению частицы поля Вселенной.

Речь идет о создании теории духовной генерации высших целей человечества. Психология способна создать новое научное направление в виде образа Духа человеческого как истока для развития земной жизни и ее ценностей. Дух – это жизненная сила, но не для власти над другими, Дух – это характер, но для

смирения, т.е. чтобы смирять свое «Я» с добродетелью. Дух – это достоинство, но готовое к покаянию. Так постепенно мы научно углубимся в субъективный мир человека. Эта задача не только научно-познавательная, но и практическая, ибо от ее решения зависит судьба создания совершенно нового языка, языка сознания, с помощью которого люди обретут дар понимания друг друга в Духе.

Язык сознания – это одновременно способ подключения к биоэнергии Высшего Разума. Кто знает, возможно, создав новый язык сознания, психологии как науке удастся разработать способ длительно поддерживать в Душе человека общевселенское Добро, потенциал которого выше Зла. Добро, по мнению просвещенных мыслителей, не столько в борьбе со злом, сколько в ограничении зоны его действия. Возможно, стоит решиться расширить проблему психического образа и выйти на исследования образов Добра и Зла.

Как было сказано выше, вдали от Земли летчики и космонавты отмечают прилив необычной энергии добродетели, чувство свободы Души, они ощущают ранее им несвойственное осознание своего второго «Я» и его связь со всеми людьми, а главное – появление любви к человечеству. Это примечательно, что именно в космосе у людей произошел отклик на время прошлого, они открывали для себя, что внутренняя свобода есть средство реализации смысла жизни. Эти факты должны порождать наш научный интерес к энергии Времени и Пространства и способам ее трансформации во Вселенское сознание. Повторяю, к этому есть предпосылка, т.к. реальное пребывание человека даже в околоземном пространстве способствовало озарению мысли о единстве человеческих Душ.

Осталось «немного»: исследовать вид языка для перевода внечеловеческого сознания в образе духа, осуществляющего добродетельное межчеловеческое общение. Открыть это надо было еще вчера, а сегодня нужда в этом обострилась больше. Человеческий мир слишком алогичен и жесток, порой униательно неразумен. Несмотря на то, что на Земле есть все для природного насыщения человека, все же недостает способности удерживать энергию Духа. Человечество его не только не удерживает, но и извращает. Видимо, утрачен механизм раскодирования энергетики Разума. Но если есть психическое поле, психический образ, должно быть психическое вещество. Скорее всего, оно представлено энергией в виде информации, которая пока остается за пределами нашего сознания. Предполагаю, что код расшифровки лежит во Времени, которое не совпадает с циклами земной жизни. Причиной этого несовпадения, скорее всего, является разность мер организованности биополей в духовном и физическом пространствах. Нужен код сведения этих полей. Требуются принципиально новые психолого-теологические парадигмы в интересах Духовного объединения. Пора осознать некие житейские мудрости типа того, что истинная ценность жизни измеряется лишь отсутствием страданий, а не присутствием наслаждений [14]. В частности, достичь уровня познания духовных сил, нравственных начал не только в пространстве истории государств, но и гораздо дальше за их пределами. Тогда сольются научное и религиозное сознание, которое станет образом-пульсаром субъективного мира человека.

В заключение я считаю необходимым привести мнения ученых, летчиков и космонавтов, основанные на пережитом в полете.

Итак, применительно к опасной профессии в данном случае летно-космической, под духовностью условимся понимать чувственное особого рода психическое состояние, которое отражает и включает в себя целостность натуры свободной личности, предуготовленность сознания, культурно-этический код в интересах реализации своих максимальных добродетельных благоверных возможностей.

Дух – это реальный, исторический опыт возвышенного, прежде всего психического состояния души субъекта труда, в постижении смысла жизни в данной профессии. Смысл, в данном случае, видится как высшая ценность, т.е. святость, которую нельзя изменить и тем более предать. Вочеловечивание смысла полета и есть постижение, проникновение в космогоническую область свободы, эстетического пробуждения, чувства красоты, причастности к вечному, к бесконечному Пространству, к появлению вне воли человека повышенной доброты к землянам.

Поэтому не случайно человек в полете ощущает, как просыпается, расширяется его интеллектуальная сфера, сфера повышенной чувствительности, образности воспринимаемого мира, изменяется земное сознание, просыпаются спящие нейронные сети, воспринимающие и передающие в мозг другое видение формы и смысла Пространства и Времени. Пространство осмысливается через личностный смысл. Открывается «непроявленный мир Божественного Разума».

«Бесконечность не есть понятие не идеальное, не материальное, а – живое, которое при этом чувственно воспринимается» О.П. Флоренский.

«Не мыслится идея без материи, но и материя без идеи не мыслится».

Рождается новое чувствознание и можно реально осязать смену материального мира на духовный. Прочитую мысли летчика-космонавта, члена корреспондента РАН В.В. Лебедева, дважды героя СССР.

«У каждого поколения есть свой мир пространства, который представляется в виде оболочки, объем которой соответствует уровню накопленного разума, как наследие всего живого. Мысль проникает в пространство, сжимает его. И сила упругости возвращается назад, при этом оставляя след в материи пространства. В какие-то моменты человек, его внутреннее состояние входит в резонанс с окружающим миром, и тогда проявляются сверхвозможности разума через прорыв оболочки всеобщего разума. В такие моменты человек может ощутить состояние озарения, прилив сверхсил, видение прошлого или грядущего, или контакта с разумом себе подобным. Прогресс нас тянет вверх, а общественное сознание удерживает на ее витках». [10]

Если бы психологи взяли экспериментально исследовать сознание человека в полете, я не сомневаюсь, что они бы открыли новые законы первичности и вторичности области динамической смены места сознания и материи, определили бы факты формирования понятий в ядре нейрона. Они бы убедились в тупиковом пути технократического подхода замены живой жизни на виртуально-компьютерную. Именно тонкий мир Разума формирует основу передачи мысли на расстоянии, создает предпосылки к озарению, интуиции.

Речь идет о познании тонкого мира, смысла волн физического вакуума, которые являются носителями информации. Вот где наша наука психология выйдет на уровень нанотехнологии, разгадав роль миллионов, для земных условий избыточных, нейронов. Роль психологии зажечь в душах Свет.

Уже пробуждаются сомнения, что сознание не только продукт мозга. Чтобы как-то эти «красивости» опустить на грешную землю с помощью хотя бы опосредованных доказательств, послушаем небожителей, открывших нам новый чувственный и переживаемый мир трансформации сознания и чувств. Но в начале я приведу три цитаты, выбирайте сами, какая из них поможет нам в этом.

Даниил Андреев, «Роза мира».

«Все живое, и человек в том числе, приближается к Богу через три божественных свойства, данных ему: свободу, любовь и Богосотворчество».

Вторая мысль принадлежит Пифагору.

«Человечеству угрожает три вещи – невежество священников, материализм ученых и бесчинство демократов».

Третья мысль принадлежит заслуженному летчику-испытателю Ю. Жучкову.

«...в особо экстремальных ситуациях состояние связки мозг-тело, человек начинает жить в другой заповедной динамической области своего временного пространства, при этом несоизмеримо опережая свой стандартно повседневный ритм мышления и действий. Чем это подпитывается? И ограничено ли это только резервами мозга? Конечно, нет! Человек, особенно в полете, являясь постоянно работающей частичкой Космоса разумного, иногда презрев и сбросив пелену запретов, презрев опасность, начинает активно взаимодействовать с мозгом. Открывая громадным скачком, расширяя человеческие возможности по упражнению, приему и анализу поступающей информации, переходя на режим заблаговременных действий: не вдогонку, а навстречу развивающимся опасным событиям. Человек начинает чувствовать работу управляющих сигналов из Космоса Разумного, каналов тонкого мира, по причине того, что его приемники перешли на другой режим работы. После пережитого нового состояния у человека ощущается наличие второго Я, или же поступление управляющей информации извне. Меняется отношение к своим возможностям восприятия действительности, которые, оказывается, могут быть намного шире привычных горизонтов. Мир, получается, может быть другим. Меняется ритм настроя всей остальной жизни».

Все эти мысли подводят нас к необходимости создания новой философии мировоззрения о человеке летающем.

Слегка повторяюсь, задав вопрос:

Что же открыл человек, оторвавшийся от Земли? Кратко охарактеризую эти открытия.

А. Фундаментальная, надсоциальная, надпрофессиональная особенность в том, что есть разница в Сущем: между оценками полета в смысле производственном и тем содержанием, что представлено в индивидуальном образе мира человека летающего. Суть разницы в психологии восприятия: кто ты? Куда и зачем летишь? Это связано с тем, что у летчика духовный мир заполнен двумя образами: Земли и Неба с их смыслами и значениями. Это создает в подсознании особую энергетику противостояния регламентной колее. Все это складывается в сознании.

Б. Отсюда же происходит корпоративность со своей ценностью и уважением иметь право на понимание духовности свободы, понимание своей профессии как счастья, как подарок судьбы, *«о том удивительном чувстве независимости, свободы, собственной значимости, которые дарит человеку небо»* (Антуан де Сент-Экзюпери). Внутри и только внутри корпоративности есть свой кодекс чести, который нередко разделяют понятия морали и нравственности, оставляя первую для Земли, вторую для Неба. Это связано со слишком близким расстоянием между жизнью и смертью, отношением к риску, Подвигу, правде, самосознанию, самокритике, очищением совести, восхождением к Истине. Картина образа профессионального мира выступает производной от Сущего в образе мира Небесного и ее надо представлять перед собой. Очень интересно, что воззрение летчиков на мир близко соответствует тому, что писал Шопенгауэр. [14]

«Моральный закон вполне условен. Есть такой мир и такое воззрение на жизнь, при которых моральный закон лишен высокой силы значения. Этот мир и есть, в сущности, реальный мир (подчеркнуто мною, В.П.), в отношении к моральности есть уже отрицание этого мира и нашего индивидуума».

В. В летной профессии содержание образа мира, духовное начало превалирует над профессиональным! Очень характерный штрих высший духовный смысл или мироощущения себя в пространстве Вселенной, в восприятии ее бесконечности, выступает как психологический дифференциал между оценкой добра и зла. Позволю подчеркнуть, что отношение к риску, подвигу, героизму зиждется на ценности жизни, ибо слишком она хрупка вдали от Земли. Приведу мнение летчиков-профессионалов.

«Постоянное соприкосновение с риском привило более правильный взгляд на то, что есть в жизни мелочь, а что не мелочь. Доброта выражалась в большой терпимости к человеческим свободам» (М. Галлай, Герой СССР).

«Сочетанность трагического и духовного в полете помогло открыть для себя духовную музыку» (Л. Попов, Герой СССР).

«С первых полетов острее стал воспринимать жизнь, ощутил ее быстротечность и хрупкость и понял как-то внутренне, что к ней надо относиться с благоговением» (Г. Катышев).

Г. В каждой профессии есть предмет труда, есть он и у летчиков (перевозка пассажиров и грузов, защита Отечества, разведка, спасение людей и т.д.). И все же есть специфика: предметный образ обогащается трансцендентными чувствами вдохновенной свободы.

«Полеты давали ощущение Вечности и Бесконечности. От этого захватывает дух»,

«Любой полет был для меня вдохновением, постоянно знал, что смертен, но верил в свою причастность к бесконечной Вселенной»,

«Я благодарен Небу, что оно дает мне чувство свободного парения души».

Д. Профессиональный мир небожителей, их внутренний мир, образ своего «Я» имманентно включает в себя универсальные мироощущения причастности к космическому бытию.

«В воздухе почувствовал психическое отличие жизни в небе, увидел новое Пространство, осознал ранее неоощущаемую Свободу, духовно прочувствовал более глубокое мироощущение третьего измерения, задышающейся радости от реализации затаенной мечты: «Я могу! Я летаю!» (В. Новиков)

«Ты и машина, а кругом небо. И только оно держит вас в своей власти. И никого над вами, кроме Бога. Спустия все годы, не летая, по свободе, которую дарует полет, я тосковал долго и трудно» (А. Маркуша).

«Мне часто не хочется возвращаться из полета, – пишет летчик-испытатель Н. Григорьев. – Только в полете у меня зримо проявляется духовность, думаю из-за приобщения к пространству, свободе, познанию нового, а для моей души даже где-то к вечности».

«Там рассеются страхи и чудом – Перемены свершатся с судьбой: Я очищусь, воскресну и буду ладить с миром и ладить с собой». (С. Кричевский, космонавт-исследователь).

За всем этим стоит культура, нравственность, духовность, этика – духовная субстанция в виде доверия людьми своей жизни в полете «Я» и «Ты» в духовных слоях сознания выступают механизмом очищения «ЭГО».

Красота, будучи эстетической категорией, напрямую включена в этическое поле личности, это буфер от стресса, гармонизирует душевные состояния. Прочитую летчиков.

«Полет как слитность с пространством и красотой одаривает тебя неопределяемыми ракурсами смены тени и света, игры красок. Земля сверху не ста-

тична, она дышит, живет заснеженными вершинами, огнями городов, светлячками деревень. Этот заряд прекрасного поднимает настроение после полета и отклик в трепетной душе. Наблюдая в разных состояниях Землю, Небо и Светила, становишься эстетически богаче и тоньше, чувствуешь Божий мир» (А. Сеницын).

«Увидев небесную красоту нерукотворного мира, проникся мыслью о том, что, видимо, человек не понимающий и не умеющий любить Природу, теряет значительную часть того, что мы понимаем под словом человеческое счастье, теряет то, что порождает в нас доброту. Меня посетило откровение: чудесность мироздания делает нас участливыми ко всему живому на Земле» (М. Колошенко).

«Для меня Авиация — это проявление жизни Неба во мне» (А. Зизико).

Краткий итог по профессии «человека летающего»:

- Психология труда – это генератор мотивов, самосовершенствования, самодостаточности, достоинства, отношения к профессии.

- Единицей поведения выступает познавательная проба как дар природы «выходить познающему из себя»

- Креативность, позволяющая предугадывать опасность и порождать «боковое мышление», инсайтность, смысловые действия в процессе принятия решения на расширение границ риска.

- Метафизичность: надежность действий профессионала определяется предшествующей созидательной жизнью.

Общий вывод: «Человек летающий отобран Природой, пробужден Духом, социально предназначен быть созидательным. Он обречен и обручен Небом любовью к полетам. Он на Земле лишь существует, а живет в Небе» (Г. Береговой, В. Пономаренко).

Считаю полезным сказать несколько слов о свободе, т.к. этому понятию в психологии труда уделяется явно недостаточное внимание.

Я приведу ряд ответов летчиков на этот вопрос о чувстве свободы. Эти ответы довольно разных личностей можно прочесть как единый текст.

«Духовность в полете проявляется как ощущение приобщения к пространству, свободе, познания нового, я бы сказал, для моей души даже где-то к вечности». (Заслуженный летчик-испытатель В. Селиванов)

«... В полете ты свободен, но поэтому нельзя лгать даже самому себе, будешь наказан. И в этом великий этический смысл летной профессии. Человек отвечает за свои поступки САМ и немедленно». (Заслуженный военный летчик полковник А. Сеньков).

«Свобода породила необходимость возрастающей требовательности к себе». (Заслуженный штурман-испытатель, Герой России Л.С. Попов).

«Только в полете я получаю удовольствие от чувства парения, свободы во всем окружающем меня пространстве, легкость души. Я благодарен небу, что оно дает мне это свободное парение души». (Военный летчик-испытатель Н. Григорьев).

Наличие в человеке заданности жить свободным, и только в этом случае он реализует свой смысл жизни.

Чем глубже человек уходит вовнутрь, тем более он расширяется и обретает естественную и необходимую связь со всеми остальными людьми, со всей мировой жизнью в целом. И эта способность человека, в данном случае летчика, крайне ценная, т.к. из глубин своей души он извлекает новое знание, более того, знание неземное.

Приведу еще пример перестройки сознания летчика в полете, как профессии, избранной на всю жизнь.

Из письма летчика А. Зизико.

«Из летного опыта я вывел объективно существующий закон летной жизни – потребность постоянного преодоления себя, самосовершенствования. Ты просто должен, просто не можешь не стремиться поднимать всего себя на высоту. Осознание себя и есть эффект самоочищения небесной средой. Законы полетной среды заставляют уходить из индивида плохому и злему».

Вот вам живой пример «выхода познающего из себя». Именно духовные силы берут начало в природосообразности предназначения человека, реализуясь при этом в смысле отбираемых ценностей. Именно эти ценности, в случае опасности, дают о себе знать, когда нужно обеспечить свою человеческую и профессиональную надежность, проявить порядочность и совесть.

Не в кабине сермяжная правда профессионализма, в кабине – лицо специалиста, а профессионализм – это вторая ступень летчика-небожителя, это Небо, из него приходит Дух. Прекрасно эти мысли выразил летчик А. Зизико. Цитирую:

«Летное дело чистит наше нутро. И это не наша заслуга, это проявление жизни Неба в тебе. Вот где зарождается готовность наперед уже принятое решение: своей жизнью спасти людей от падающего самолета».

Глубоко прав великий Л.Н. Толстой в призыве к самоусовершенствованию. Нервом самоусовершенствования и развития является все же, извините за грубость, – нутро человеческое, анатомическая суть которого ясна. А духовная?.. Вот почему гуманистической парадигмой XXI века станет (обязательно станет!) психология Духа и Души. Считаю пророческими мысли К. Юнга: «...духовная нужда привела в наше время к «открытию» психологии. На сегодня нам уже не обойтись без науки о душе» (подчеркнуто мною – В.П.) ([15], с. 209). Видимо, мыслители были правы, когда считали, что в душевной жизни не меньше достоверности о мире, чем в знаниях о его физическом аналоге.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бердяев Н. Философия свободы. – М., 1994.
- [2] Вернадский В. Пространство и время в живой и неживой природе. – М., 1975.
- [3] Гримак Л. Моделирование состояний человека в гипнозе. – М., 1978.
- [4] Гроф С. За пределами мозга. – М., 1993.
- [5] Гумилев Л. Этногенез и биосфера. – Л., 1990.
- [6] Еремин В. Воздушные бойцы. – М., 1994.
- [7] Ильин И. Путь к очевидности. – М., 1992.
- [8] Лосев В. Воспоминание о Павле Флоренском // Наш Современник. – 2009. – № 4. – С. 229.
- [9] Льюис К. Любовь. Страдание. Надежда. М. – 1992.
- [10] Лебедев В. Мое измерение. – Изд. Наука, 1994.
- [11] Пеггем А. Человеческие качества. – М., 1980.
- [12] Пономаренко В. Психология жизни и труда летчика. – М., 1992.
- [13] Фромм Э. Иметь или быть. – М., 1990.
- [14] Тейяр де Шарден. Феномен человека. – М., 1965.
- [15] Шопенгауэр А. Свобода воли и нравственность. – М., 1992.
- [16] Юнг К. Архетип и символ. – М., 1981.

**РАССЕЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА ВНЕ ЗЕМЛИ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

С.В. Кричевский

Докт. философ. наук, канд. техн. наук, профессор С.В. Кричевский (ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Москва), космонавт-испытатель (в 1989–1998 гг. был в отряде космонавтов ЦПК им. Ю.А. Гагарина)

Расселение вне Земли представляется как сверхзадача человечества и стратегическая цель пилотируемой космонавтики. Необходимо осмыслить итоги полетов людей в космос и дать новый импульс процессу космической экспансии, научному и практическому решению проблемы расселения человечества вне Земли. Рассмотрены основные проблемы, возможности, ограничения, прогнозы и перспективы расселения человечества вне Земли, трансформации человека в «человека будущего», «человека космического» и «универсального», создания «космического человечества».

Ключевые слова: инфраструктура, «космическое человечество», космонавт, технологии, прогнозирование, расселение человечества вне Земли, сообщество космонавтов, стратегия, «человек космический», экспансия.

Space Colonization: Problems and Prospects. S.V. Krichevsky

Space colonization is a super aim for mankind and the strategic target of manned cosmonautics. It is necessary to comprehend the outcome of human space flight and to give a new impulse to space expansion, scientific and practical solving the problem of space colonization by human beings. The attention is also paid to key issues, potentials, restrictions, forecasts, and prospects of space colonization as well as to the transformation of a man into “a man of the future”, “homo cosmicus”, and “a universal man”, to the formation of “space mankind”.

Key words: infrastructure, “space mankind”, cosmonaut, technologies, forecasting, space colonization, cosmonaut community, strategy, homo cosmicus, expansion.

Первый полет человека в космос 12 апреля 1961 года – это начало процесса реального размещения – расселения людей вне Земли.

«**ВСЕ В КОСМОС!**» – таким был лозунг-призыв на стихийном митинге, состоявшемся после полета Ю.А. Гагарина в Москве, на Красной площади, который отразил не только эйфорию праздника, настроение и мечты людей в связи с выдающимся достижением и событием для СССР и всего человечества, но и сущность процесса космической экспансии.

Спустя полвека пришло время осмыслить итоги полетов людей в космос и дать новый импульс процессу космической экспансии, научному и практическому решению проблемы расселения.

В статье использован ряд источников по теме [1–19], изложены результаты инициативных междисциплинарных исследований, выполненных в 2007–2011 годах, помещены материалы докладов автора на двух международных конференциях: 1) Космический форум – 2011, посвященный 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина, Звездный городок, 18–21 октября 2011 года [6]; 2) Международный конгресс «Глобальное будущее – 2045», Москва, 17–21 февраля 2012 года [9].

Зачем необходимо расселение человечества в космосе? К сожалению, наш дом – прекрасная планета Земля – не вечна, и даже если мы будем беречь ее, сохраняя и восстанавливая окружающую среду, все равно когда-нибудь неизбежно утратим. Возможно, в результате неблагоприятных «внутренних» и «внешних»

природных, а также антропогенных, техногенных процессов это произойдет в течение ближайших столетий.

Человечество должно быть готово к тому, что неизбежно возникнет проблема выживания, и если Земля будет необратимо деградировать, разрушаться, станет непригодной для жизни людей из-за катастрофических процессов, спасительным сценарием станет только космическая экспансия.

Поэтому расселение вне Земли представляется как сверхзадача человечества и стратегическая цель пилотируемой космонавтики.

Однако, возможность и целесообразность реализации процесса расселения человечества вне Земли, как ни парадоксально, в начале XXI века многим представляются не менее утопичными, чем в начале XX века, когда свои идеи, проекты и стратегию расселения предлагал К.Э. Циолковский [17–19], которого в те времена в Калуге многие считали городским сумасшедшим.

Возникают вполне закономерные вопросы:

1. Циолковский ошибся и/или поспешил?
2. Расселение человека и человечества вне Земли – это:
 - 2.1. Утопия, бред, фальстарт, гибель, путь к вырождению?
 - 2.2. Надежда и шанс на выживание, развитие, вечную жизнь = бессмертие?
 - 2.3. Шанс только для сверхбогатых и суперэлиты?
 - 2.4. Способ создания «человека будущего» = постчеловека?
 - 2.5. Сверхзадача пилотируемой космонавтики или путь в тупик?

В СССР после полетов Ю.А. Гагарина, Г.С. Титова и других космонавтов в 1961–1963 гг., когда проявились негативные последствия, обусловленные воздействием невесомости и других неблагоприятных факторов космических полетов, многие космонавты 1-го Отряда космонавтов возражали против быстрого увеличения продолжительности космических полетов (см. дневники Н.П. Каманина) [3] и книгу К.П. Феоктистова [15]), что было вполне обоснованно в связи с неопределенностью последствий для жизни и здоровья человека из-за дефицита научных знаний, отсутствия эффективных технологий обеспечения жизнедеятельности, защиты организма, а также из-за отсутствия необходимого практического опыта.

Первые космонавты стремились как можно чаще летать в космос, но никто тогда не ставил и не решал задачу расселения вне Земли, чтобы космос стал постоянным местом жительства (ПМЖ) для конкретного человека, группы людей.

Однако и через полвека отряд космонавтов (соответственно, в России, США и др. странах), несмотря на все выдающиеся достижения в длительности и количестве полетов, постоянное присутствие на околоземной орбите на Международной космической станции, к расселению вне Земли не готов. Люди отобраны по другим критериям, для других задач. Они стремятся и готовятся слетать на Луну, Марс, на астероиды и т.д., в перспективе даже на спутники Юпитера, длительно работать в космосе «вахтовым» методом на научных станциях и базах, а затем вернуться обратно.

Но чтобы улететь на ПМЖ навсегда, стать «человеком космоса» [8], т.е. «человеком космическим», создать из современного сообщества космонавтов [7] будущее «космическое человечество» [5], – для этого пока ни в ЦПК имени Ю.А. Гагарина в России и нигде на Земле никого не готовят.

Сейчас за реальную космическую экспансию активно выступают только отдельные энтузиасты – писатели, ученые (среди них ярче и конкретнее всех – С. Хокинг), космонавты, т.е. малочисленные общественные группы [2, 4, 5, 14, 16].

При этом в официальных стратегиях и программах космической деятельности (КД) космических государств, национальных космических агентств ничего нет о расселении человечества вне Земли как о сверхцели КД и пилотируемой космонавтики.

До сих пор у человечества, мирового сообщества, ООН нет стратегии и программы космической экспансии.

В общественном сознании, научных исследованиях, в официальных космических программах и проектах преобладает парадигма пилотируемых полетов, межпланетных полетов [1, 2, 4, 5], но это по сути лишь технологии движения, перемещения в космическом пространстве по траектории Земля–Космос–Земля.

Из-за отсутствия адекватной стратегической цели появились крайне критические и по сути антикосмические призывы, например: «**50 лет человек в космосе. Не пора ли обратно?**» (Тема лекции, с которой 13 октября 2011 года в Москве выступил канд. физ.-мат. н., с.н.с. ГАИШ МГУ В.Г. Сурдин [13]).

Полагаю, что **в постановке и решении проблемы расселения вне Земли мы не имеем права делать ни шагу назад.**

Через 50 лет после полета Ю.А. Гагарина очевидны и реальны 3 направления – 3 потока людей, стремящихся за пределы Земли:

1. Космонавты-профессионалы (пилоты, бортинженеры, исследователи, специалисты по полезной нагрузке и др.).

2. Космические туристы (в ближайшие годы ожидается, что этот поток станет самым бурным).

3. Космонавты – «расселенцы», кто отправится в космос на ПМЖ, – жить вне Земли до конца своей жизни (или жить вечно, если удастся решить проблему радикального продления жизни и бессмертия [10–12]).

Причем, по третьему направлению все только начинается (перспектива: базы и поселения на Луне, Марсе и т.д., включая грядущую колонизацию Солнечной системы и создание «космического человечества»).

Возможности, риски и ограничения процесса расселения:

1. Реализация процесса расселения обусловлена социально-политической, эколого-экономической ситуацией на Земле, ее развитием.

2. При общем росте населения Земли (в 2012 году ~7 млрд чел.) темпы роста падают, в середине XXI века ожидается ~9 млрд чел., в конце века – стабилизация на уровне ~12–15 млрд чел. (прогнозы ООН, С.П. Капицы (1999) и др. [5, С. 278]), т.е. снимается проблема отселения избытка населения в космос.

3. Сейчас острая необходимость, эффективные технологии, общественный договор, политическая воля и ресурсы для массового расселения вне Земли отсутствуют.

4. Самая сложная проблема – это проблема физического и социального выживания человека вне Земли, в опасных условиях окружающей среды Космоса, т.е. проблема «человека будущего», «человека космического».

Современные прогнозы и сценарии расселения противоречивы. Целенаправленное массовое расселение связывают с созданием постоянных баз и поселений на небесных телах Солнечной системы. Прежде всего на Луне, что возможно с 30-х годов XXI века, с постепенной колонизацией Луны. Создание баз и поселений на Марсе возможно с середины XXI века с последующей колонизацией Марса как резервной планеты и т. д.

Структура расселения в XXI–XXII веках: сложная мегасеть, охват всех уровней пространства, вариантов инфраструктуры, начиная с околоземного кос-

мического пространства, на Луне, в точках либрации систем «Земля–Луна», «Солнце–Земля», на гелиоцентрической орбите Земли, на Марсе и др. телах Солнечной системы.

В научную и практическую «Космическую повестку дня» на XXI век для мирового сообщества целесообразно включить для обсуждения и решения следующие проблемы:

1. Космическая экспансия – расселение человечества вне Земли, формирование «человека космического» и «космического человечества».
2. Взаимодействие человека земного и космического, земного и космического человечеств для устойчивого социоприродного развития на Земле и в Космосе.
3. Возможности, ограничения и перспективы эволюции человека земного в «человека космического» и «универсального», способного жить на Земле и вне Земли, а также перехода человечества к новым внеземным социальным структурам.

Необходимы:

- 1) общественный договор и политическая воля для начала процесса расселения человечества вне Земли под эгидой ООН;
- 2) адекватные «правила игры» – законодательство на международном и национальном уровнях;
- 3) значительные ресурсы (материальные и др.) для осуществления космической экспансии;
- 4) принципиально новые технологии: транспортные; обеспечения и продления жизни людей при ПМЖ вне Земли (в т.ч. для создания «человека будущего», «космического», «универсального», «вечного»); инфраструктурные; экологические; социальные и др. (автором еще в 1993 году был предложен и опубликован социальный проект «Космические добровольцы: объединение людей, мотивированных на жизнь вне Земли» [5, С. 230–236], который до сих пор не реализован).

При расселении предстоит обеспечить выживание человека в гуманитарной парадигме (*стать человеком космическим и остаться самим собой!*), единство «земного» и «внеземного» человечеств (всего «неочеловечества» [10]), безопасность и развитие в балансе с окружающей средой Земли и Космоса [5,12].

Сложнейшая проблема – репродукция, воспроизводство человека в космосе («на полном жизненном цикле»), безопасность его развития как живого существа, обеспечение достойной и полноценной жизни, включая решение биоэтических, медико-биологических, гендерных и др. вопросов.

Без решения этой проблемы реальное массовое расселение человека и человечества вне Земли невозможно.

«Когда человечество стало космическим? – Когда первый ребенок родился в космосе», – такой была фабула одного из научно-фантастических произведений второй половины XX века, которая отражает сущность и необходимое условие колонизации космоса.

Следует признать, что за полвека мы очень мало продвинулись в решении этой проблемы, и понятно, что значит зачать, выносить и родить, вырастить ребенка во враждебной космической окружающей среде. На данном этапе неизбежны тяжелые патологии с чрезвычайно высоким риском смерти и проблема пока неразрешима. Как ее решать? Получается, что в космос на ПМЖ должны лететь выросшие, созревшие на Земле люди. И если мы не сможем обеспечить репродукцию человека вне Земли естественным путем, придется прибегать к каким-то изошренным технологиям, все более превращаясь в искусственного, кибернетического человека, киборга и т.п. Или все-таки нам удастся познать, понять и пре-

одолеть этот барьер, и в процессе развития «распакуются» какие-то возможности живого, и человек сможет жить и репродуцировать себя в космической среде. Но что для этого мы должны сделать? Открыть «код жизни»? Воспроизвести в космосе земные условия, создать другую окружающую среду, скопировать – «клонировать» или найти «новую Землю», максимально подобную нашей?

Какие есть варианты решения проблемы? – Представляется, что создание «человека космического» целесообразно начинать на Земле как часть проекта «человека будущего» в русле Плана Стратегического общественного движения «Россия–2045» [11]. Например, с создания биороботов – технологических «двойников» реальных космонавтов: пара «реальный человек–космонавт» + «двойник» (его технологическая копия, т. е. искусственное тело–аватар и др. структуры) должна совместно эволюционировать и действовать, причем, в опасные реальные условия космоса на длительный срок сначала отправляется «двойник» космонавта, при этом обеспечивается максимальное подобие и взаимодействие в паре. Со временем «двойник» должен стать максимально полной копией человека–космонавта, включая сознание и другие свойства личности.

В XXI веке существует благоприятное «окно возможностей» для подготовки и начала целенаправленного массового расселения людей вне Земли, которое мы можем и должны использовать для выживания, безопасности и развития человечества. Но «окно» может закрыться из-за нарастания земных проблем.

Полагаю, что России как одному из ведущих космических государств необходимо выступить с инициативой космической экспансии – расселения человечества вне Земли, – официально обратиться с таким предложением к ООН, а также к лидерам других ведущих космических государств, к космическим агентствам и корпорациям, к научному и бизнес-сообществам, ко всем людям Земли.

Это вовсе не значит, что завтра мы все «побежим» в космос. Но стратегия расселения человечества вне Земли должна быть выработана и принята на политическом, научном и общественном уровнях, в национальном и мировом масштабах с тем, чтобы начать общее целенаправленное движение.

Тогда у человека и человечества появится объединяющая сверхзадача, реальный шанс выживания и устойчивого развития в космическом измерении, а у сферы КД и пилотируемой космонавтики – новые смыслы, миссия и адекватная стратегическая цель.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Газенко О. Космонавт должен оставаться человеком Земли // Наука и жизнь. – 2006. – № 4. – С. 24–31.
- [2] Золотухин В.А. Колонизация космоса: Проблемы и перспективы. – Тюмень: НПЦ Интер-Кузбасс, 1997. – 194 с.
- [3] Каманин Н.П. Скрытый космос: в 4 кн. – М.: Инфортекст-ИФ, ООО ИД Новости космонавтики, 1995, 1997, 1999, 2001. – 1 кн. – 400 с. – 2 кн. – 448 с.
- [4] Космонавтика XXI века: Попытка прогноза развития до 2101 года / Под ред. Б. Е. Чертока. – М.: Изд-во «РТСофт», 2010. – 864 с.
- [5] Кричевский С.В. Аэрокосмическая деятельность: Междисциплинарный анализ. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 384 с.
- [6] Кричевский С.В. Расселение человечества вне Земли: проблемы, прогнозы, технологии // Космический форум – 2011, посвященный 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина (сб. материалов). – М.: ИМБП РАН, 2011. – С. 10–11.
- [7] Кричевский С.В., Иванова Л.В. Сообщество космонавтов: структура, особенности, перспективы // Социология власти. – 2011. – № 8. – С. 145–153.

- [8] Лебедев В.В. Человек космоса // Наука и жизнь. – 2010. – № 2. – С. 42–44.
- [9] Международный конгресс «Глобальное будущее – 2045». 17–21 февраля 2012 г., Москва. – <http://gf2045.ru/>
- [10] «Неочеловечество – 2045». Глобальная стратегия дальнейшей эволюции человечества в третьем тысячелетии. – 26.09.2011. – <http://2045.ru/news/29045.html>
- [11] План движения «Россия 2045» по радикальному продлению жизни с помощью кибернетических технологий (презентация) // Сайт движения «Россия 2045». – 25.07.2011 г. – <http://www.2045.ru/articles/28866.html>
- [12] «Планету придется когда-нибудь покинуть» // Взгляд: Деловая газета. – 10 февраля 2012 г. – <http://www.vz.ru/information/2012/2/10/560399.html>
- [13] Сурдин В.Г. «50 лет человек в космосе. Не пора ли обратно?» // Проект «Публичные лекции «Полит.ру». – Лекция. – Москва. – 13 октября 2011 г. http://polit.ru/article/2011/10/06/sourdin_anons/
- [14] Улететь на Марс без возврата готовы сотни добровольцев // Сайт Роскосмоса. – 9.02.2011 г. – <http://www.federal.space.ru/main.php?id=2&nid=15163>
- [15] Феоктистов К.П. Траектория жизни: между вчера и завтра. – М.: Изд-во Вагрус, 2000. – 384 с.
- [16] Хокинг: чтобы выжить, человек должен колонизировать космос. – 10.08.2010. – <http://www.voanews.com/russian/news/science-technology/howking-space-2010-08-09-100308909.html>
- [17] Циолковский К.Э. Вне Земли. Повесть. – Калуга: Изд-во Калужского общества изучения природы и местного края, 1920. – 118 с.
- [18] Циолковский К.Э. Путь к звездам: Сб. науч.-фантаст. произведений: Второе издание / Ред.-сост. Б.П. Воробьев. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 360 с.
- [19] Циолковский К.Э. Реактивные летательные аппараты. – М.: изд-во Наука, 1964. – 476 с.

© Кричевский С.В., 2012.

**«ПРОЦЕСС ПОЗНАНИЯ НЕ ОБХОДИТСЯ БЕЗ НЕУДАЧ»
(последнее интервью Б.Е. Чертока)¹**

**“The Learning Process Does Not Go Without Satbacks”
(the Last Interview with B.E. Chertok)**



Б.Е. Черток в домике С.П. Королёва
во время последнего интервью.
Фото Ю.М. Батурина

Мы пьем чай с Борисом Евсеевичем Чертоком в мемориальном доме-музее С.П. Королёва, филиале Музея космонавтики в Москве. Он в двух шагах от улицы академика Королёва, где Борис Евсеевич живет. Сейчас он сидит на маленьком диванчике. Вообще-то диван – ценнейший экспонат, и садиться на него не разрешается никому. Кроме Чертока.

В ИИЕТ РАН бережно собирают «устную историю», делают видеозаписи выступлений ученых. Недавно приступили к формированию галереи 3D-портретов значимых для истории науки и техники личностей. Мы договорились с Борисом Евсеевичем о создании стереодемонстрации о нем. Он дал согласие очень быстро и назначил встречу «у Королёва», где нам уже приходилось беседовать. В королёвском домике ему было уютно и приятно, видимо, он в мыслях возвращался в прежние времена. Иногда замолкал, наверное, вспоминал Сергея Павловича, прислушивался к его словам,

долетающим до него одного из иных пространств. Ему не мешали, не торопили. Камера работала, фиксируя молчащего Чертока. И в этом его молчании скрывалась сама история. Точнее, она каким-то чудесным образом открывалась нам.

Подготовка

Юрий Батурина: *Борис Евсеевич, я иногда буду задавать вопросы, но вы спокойно рассказывайте так, как ведет вас логика, и что считаете нужным.*

А я думал, что сегодня вы занимаетесь только видео, а я могу отдыхать и молчать.

Ю.Б.: *Нет, Борис Евсеевич. Нужно услышать ваш голос и ваш рассказ, который останется в Академии наук навсегда.*

И кто же сможет продукцией такой воспользоваться и посмотреть мой 3D-портрет, послушать? Архив Академии наук?

Ю.Б.: *Полный вариант – историки науки и техники, близкие вам люди, и сокращенный – каждый, кто захочет, специальных ограничений мы не ставим. Скажем, вы подготовили прогноз развития космонавтики на XXI столетие², и кто-нибудь в начале XXII в. прочитает книжку и захочет посмотреть на Бо-*

риса Чертока, который так много сумел провидеть, но в чем-то и ошибся. Рано или поздно все окажется в Архиве РАН, но пока это коллекция института.

Института истории естествознания и техники?

Ю.Б.: Да, ИИЕТ РАН.

А мне покажете?

Ю.Б.: Конечно, Борис Евсеевич. Когда вы придете в декабре на Общее собрание РАН, приглашаем вас в зал «Ротонда» посмотреть, что получилось. Мы покажем вам и другую нашу продукцию.

Если я доберусь до Собрания. Я теперь очень сильно чувствую, что такое 99 лет – когда для меня целая проблема одеться.

Ю.Б.: Ну, приходите в любой другой день, когда будете чувствовать себя бодро. Мы договорились о съемках и с Борисом Евгеньевичем Патоном. Кстати, он передавал вам привет.

Спасибо! У него, кажется, юбилей в будущем году – 50 лет, как он возглавляет Украинскую академию наук.

Ю.Б.: Да, в феврале.

Напомните мне потом. Надо его поздравить. Он очень тесно сотрудничал с нами и был участником создания ракеты Н-1, так и не долетевшей до Луны. Там была проблема сварки. А Патон, как известно, в области сварки – и на земле, и под водой, и в космосе – фигура, известная всему миру. Они встречались с Королёвым. У меня есть фото его приезда на Байконур, где собирали Н-1. Бывают такие люди, в которых с первого взгляда видишь неординарного человека, выдающегося. Он – хороший вождь украинской науки. Остается только пожелать ему доброго здоровья и успехов не только в области сварки, где он – царь и бог, но во всей науке. Не только украинской!

Ю.Б.: Может быть, приступим, Борис Евсеевич? А то фактически интервью уже началось.

Вы готовы? Прямо сейчас я могу говорить?

Ю.Б.: Да-да.

Интервью

Ю.Б.: Борис Евсеевич, когда готовили первый спутник, создавали корабль для полета Ю.А. Гагарина, и Главный конструктор, и вы, и ваши коллеги были людьми секретными. Как сравнить ваше тогдашнее положение с сегодняшней полной открытостью?

Мы с вами сейчас находимся в святом для космонавтики месте. Из этого домика, обнесенного зеленым забором, Сергей Павлович Королёв уезжал на работу, сюда возвращался. И при жизни, несмотря на то, что дом стоит в людном месте, он оставался никому не ведом. Уезжал неизвестным и возвращался неизвестным. Мы тут у него собирались, в частности, в этой комнате. Я сейчас не могу сказать точно, сидел ли я на этом диване или нет. Тут проходило наше общение, и мы считали нормальным, что нас засекретили, что мы закрыты. Ведь мы работали на два фронта: с одной стороны, после запуска спутника занимались космонавтикой вплоть до пилотируемых полетов, с другой – мы же создавали так называемый ракетно-ядерный щит.

Этим наша деятельность отличалась от работы партнеров, как мы говорим сейчас, а тогда – противников в «холодной войне». Обе стороны тяготились «холодной войной» У них военное (Пентагон) и гражданское ведомство (НАСА) занимались каждый своим делом. У Пентагона свои проблемы с космонавтикой, у

НАСА – мощнейшей организации, укомплектованной хорошими специалистами – свои. И разделив таким образом задачу, они смогли решить проблему высадки человека на Луну и возвращения его на Землю. И захватили лидирующие позиции, что мы переживали очень болезненно. Я испытывал стыд, что мы, став первыми в космосе, уступили Луну американцам.

Тут, конечно, сказалась и проблема экономики. В Советском Союзе все, что касалось оборонной техники, было выделено и пользовалось преимуществами. Но состояние всех остальных отраслей промышленности в США – самой могущественной по тем временам державы в области экономики и техники – было выше.

Ю. Б.: Луна тогда уже давалась Советскому Союзу непросто?

Мы безрезультатно потратили достаточное количество пусков по лунной программе. Я был тогда техническим руководителем. Когда у Военно-промышленной комиссии кончилось терпение, со мной решили наконец-то расправиться. И меня вызвали в Кремль на заседание ВПК. Я должен был отчитываться о причинах неудач. Почему до сих пор нет мягкой посадки на Луну? Почему мы до сих пор не получили панораму лунной поверхности?

Мы уже знали, что американцы готовятся полететь на Луну. И мягкая посадка была для нас очень важна. После нее мы имели бы возможность сказать: «Американцы высадились благополучно, потому что мы показали им, что там не глубокая пыль, а твердый грунт – садитесь, мол, спокойно. Мы, советские специалисты, им помогли». Хотя бы так.

Помню это заседание очень хорошо, оно в мою память как-то вошло, наверное, потому что я был ответчиком.

Я сидел за столом рядом с С.П. Королёвым. Мне дают слово. Встаю, чтобы сказать. И вдруг тяжелая рука Сергея Павловича вжимает меня обратно в кремлевское кресло.

– Я отвечаю.

– У нас по повестке дня докладывает ваш заместитель Черток, который несет прямую ответственность за наши неудачи, – говорит председатель ВПК.

– Я – главный конструктор. Могу я ответить за своего заместителя?

Министры сидят за столом. Рядом – Келдыш. Надо сказать, что тогдашние министры были не такими молчаливыми и бессловесными, как те, кого нам показывают по телевизору сегодня. Каждое министерство было своего рода государством в государстве. Слово каждого министра было очень весомым. К нему надо было прислушиваться. И вот меня извлекают на заседание комиссии. В глубине, не за столом пристроился Д.Ф. Устинов, ведавший проблемами обороны:



Б.Е. Черток в рабочем кабинете в Ракетно-космической корпорации «Энергия», 1 марта 2007 г. Фото Ю.М. Батурина

– Конечно, дайте слово Сергею Павловичу.

И Королёв очень спокойно сказал:

– Отчитываться, конечно, Черток сейчас сможет. Вон у него сколько плакатов висит. Он вам будет объяснять по каждому пуску, когда и что случилось, и кто виноват. А виноватых довольно много, в том числе и в нашей технике, где есть пока еще много ненадежных элементов. Но в целом идет процесс познания, и в нем такие неудачи, как мне кажется, происходили на протяжении всей человеческой истории. Происходят и сегодня. И не надо этому удивляться.

Из угла подает голос Устинов:

– Мне представляется, все ясно. Пора прекратить дискуссию.

А Королёв добавил:

– Хочу вам обещать, что в следующем пуске мы получим панораму Луны. И действительно, следующий пуск состоялся через месяц примерно после смерти Королёва. Историческая панорама лунной поверхности висит теперь в моем рабочем кабинете в РКК «Энергия» на самом почетном месте. Но Королёв ее уже не увидел. И мне это, если хотите, страшно больно до сих пор. *(Долгая пауза.)* Но что делать?!

Ю.Б.: Борис Евсеевич, в сентябре на XXIV Всемирном конгрессе космонавтов в Москве³, вы сказали, что Луну надо сделать новым «материком» Земли. Это ваша продуманная позиция?

Я эту задачу ставлю сегодня всюду и везде, где могу выступать. У Земли должна появиться еще одна часть света – Луна. Это задача нового поколения, работающего в ракетно-космической технике. Лунные базы должны стать в ближайšie годы (не столетие, а годы!) столь же обычными, как в далекой Антарктиде или Арктике. Большой задачей будет создание транспортной системы «Земля – Луна». И здесь не обойтись без ядерных энергетических средств. На Луне должны быть надежные базы, в которых будут решаться и научные проблемы разработки лунных ресурсов, и проблемы практические, если будет ликвидирован антагонизм между государствами. Вот я и выкрикиваю, так сказать, лозунг: Луна должна стать в ближайшем будущем частью земной цивилизации. Хотя населения там, конечно, будет немного.

Ю.Б.: Что вы думаете о развитии китайской космонавтики?

Хотите анекдот? Где-то в далекой вселенной братья по разуму обнаружили нас, соорудили корабль и летят в сторону Земли. Приблизились, а на нашей планете огромная надпись: «Сделано в Китае».

Знаете, анекдот, конечно, смешной, злой, но он «далеко думающий», я бы так его назвал. Китай добился выдающихся результатов. И вполне закономерно. Китайская космонавтика сегодня пока еще отстает и от российской, и от американской, но лет через десять, а может, и раньше, они утрут нам нос. Китайцы создают сегодня свою собственную орбитальную станцию. Рано или поздно они полетят на Луну. И если там появится надпись «Сделано в Китае», удивляться не надо.

Ю.Б.: Может быть, сделаем перерыв, Борис Евсеевич? Еще чай?

Против чая я не возражаю. Чай, кажется, тоже изобретение китайское.

Ю.Б.: Как бы вы охарактеризовали сегодняшний день космонавтики?

Космонавтика сегодня настолько тесно переплетается с новейшими достижениями в области информационной техники, что вся современная электроника, которая приходит в космос, делается доступной на Земле.

Сегодня каждый сидящий за рулем своего автомобиля может не знать Москвы, но задать навигационной системе пункт назначения и тут же получает мар-

шрут. Я за рулем уже сидеть не могу по причинам возрастным. Но приятно сидеть и слушать нежный женский голос: «Через 500 метров повернете налево. Поедете прямо. Проедете 1000 метров, повернете направо. Дальше я вам подскажу...» И никто уже не удивляется. Как эта штука работает? Благодаря органичному переплетению космической и связной техники.

То, что лет 30 назад было для каждого из нас совершенной фантастикой, сегодня каким-то образом вошло в быт, и мы даже не представляем себе своей деятельности без этих современных достижений слившихся космонавтики и электроники, что ли (название несколько условное).

Сегодняшнее поколение, еще находящееся на пороге вступления в трудовую жизнь, – старшеклассники, студенты – уже не понимает, каким образом раньше человечество без всего этого обходилось.

Ю.Б.: Ваше поколение было более аскетично, все-таки страна жила бедно.

Да, наше поколение обходилось без многого. Когда после войны я по собственной инициативе и инициативе Алексея Михайловича Исаева, замечательного конструктора космических двигателей, оказался директором нашего ракетного института в Германии, мы работали там и пользовались всеми обычными системами жизнеобеспечения. И я видел, что наши солдаты, прошедшие от Сталинграда до Тюрингии, зеленого сердца Германии, просто не понимали, что такое нормальный унитаз, они его никогда не видели. Такой разрыв в уровне жизни был тогда, в ситуации, сложившейся после войны, для нас естествен. Но и сегодня в России существует резко бросающийся в глаза разрыв между классом или группой очень богатых людей, окружающих их прислужников и людей очень бедных.



Б.Е. Черток в рабочем кабинете в Ракетно-космической корпорации «Энергия» с Ю.М. Батуриным 26 августа 2009 г., когда задумывалась книга «Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года». Фото из личного архива Ю.М. Батурина

Разрыв большой, чем в «классических» капиталистических странах, насколько я себе это представляю. Во всяком случае, когда я был в Соединенных Штатах, я такого разрыва не чувствовал.

Ю.Б.: Какая атмосфера была в космонавтике в старые времена?

В старые времена, если их можно считать старыми, при советской власти, была не только конкуренция между фирмами Королёва, Янгеля, Челомея, но и обмен опытом. Плодотворный обмен.

В качестве примера расскажу одну историю. Я был тогда первым заместителем С.П. Королёва и сидел в качестве начальника на так называемой нашей «второй» территории, которая во времена Королёва была загружена чисто космическими, а не ракетными задачами. Вдруг неожиданно звонок по «кремлевке». У меня, кстати, сохранился справочник этих кремлевских телефонов, и при необходимости историкам можно было бы показать, кто был допущен к этим кремлевским телефонам. Я гордился, что там, где значится фамилия Брежнева, и моя фамилия стоит. Что ни говори, а честолюбие свойственно любому. И я получал от этого некоторое удовлетворение.

Снимаю трубку, голос Сергея Павловича:

– Борис, к тебе придет сейчас сын Никиты Сергеевича Хрущева. Не вздумай проявлять подхалимаж! Разговаривай с ним только по-деловому.

В то время сын Хрущева работал у Челомея. У самого Королёва с Челомеем отношения были не очень теплые, но все же деловые. Никакого антагонизма у них, между прочим, не было. Сергей Никитович приехал. Сам за рулем. В то время было не очень принято самому водить. Это только начинало входить в моду, когда мы из Германии повезли трофейных машин. Мы с ним, действительно, невзирая на то, что он сын главы государства, совершенно нормально обсудили интересующие его вопросы.

Досадно и непонятно, почему сегодня он находит нужным жить в Соединенных Штатах, а не в нашей России.

Ю.Б.: Что бы вы хотели пожелать новому поколению космических инженеров и конструкторов?

Вчера мне довелось выступать на конференции так называемых молодых специалистов у нас в Ракетно-космической корпорации «Энергия». Я им объяснял, что специалист не должен быть ни молодым, ни старым. Он должен быть специалистом и нести полную ответственность за порученное дело по принципу «Если не я, то кто же?». Не только ждать, когда ему объяснят, но и самому понимать весь круг очень сложных, очень заумных, я бы сказал, задач, с которыми он сталкивается в такой новой области как космонавтика. Новой я ее считаю, потому что ей от роду всего около 50 лет, смотря откуда считать – от первого спутника или от первого полета в космос человека.

Вопреки установке наших штатных кадровиков, сказал, что не признаю молодых специалистов. Либо ты – специалист, либо – ищи работу. Дворники в наше время тоже совсем неплохо оплачиваются, между прочим. Я сужу по дворникам, которые работают на улице Королёва, где я живу. Но они работают!

Это все я пытался до них донести. Может быть, увлекаясь, наговорил лишнего. Но при этом сказал, что между нами, между всеми работающими в нашей области, должны быть тесные контакты и с точки зрения передачи опыта, и с точки зрения, если надо, взаимопомощи. Как это было во времена Королёва.

Ю.Б.: Если возвратиться к мысли Королёва, неудачи и в познании, и в космонавтике всегда были. То есть и сегодня они закономерны?

Сегодняшние неудачи? Вспоминаю о всех своих работах по разбору нештатных ситуаций. Сегодня я не занимаюсь поиском конкретных причин, а удовлетворяюсь воспоминаниями о десятках аварийных комиссий, где был председателем или по крайней мере членом. Мы всегда старались понять первопричину. И как правило первопричина оказывалась в человеческом факторе: кто-то допустил небрежность или разгильдяйство, как мы говорили тогда. Если находили виноватого, не столько занимались наказанием, сколько на этом примере обучали всех остальных. Как говорил один из моих тогдашних друзей, ушедший раньше времени по причинам онкологическим (а его брат, кстати, сгорел при взрыве ракеты Р-16 24 октября 1960 года): «Всегда, когда я нахожу виноватого, стараюсь взять его за шкуру и стучать мордой о стол до тех пор, пока он не поймет, как исправить то, что сделал».

Земля должна уметь контролировать аппарат, во главе которого все-таки находится человек, а не компьютер. И разум человека должен контролировать все, что происходит и на Земле, и в космосе. В отличие, скажем, от авиации, космическая техника не может проверять сама себя. Самолет полетел. Неисправность – сел. Кроме взлетно-посадочной полосы и грамотного экипажа ему ничего не требуется (конечно, какие-то самописцы на борту стоят).

Космическая техника требует исключительно детальной наземной подготовки. И трудиться над космическим аппаратом на Земле приходится гораздо больше, чем когда он уже вышел на орбиту. Все большие космические системы требуют хорошего думающего наземного экипажа. Когда мы смотрим на зал Центра управления полетами, он кроме компьютеров густо населен грамотными людьми, которые, каждый в своей части, понимает и при необходимости может вмешаться в работу космического аппарата.

Ю.Б.: А с «Фобосом» вмешаться не смогли...

С Марсом нам вообще не везет. И я был участником неудачного пуска на Марс, когда так же не повезло. Тогда мы путались с Карибским кризисом – то ли пускать ракету к Марсу, то ли термоядерную бомбу забрасывать на Манхеттен. Но, слава Богу, разум руководителей государств взял верх, и Карибский кризис был улажен в интересах космической техники, а не войны, в интересах и Советского Союза, и Соединенных Штатов.

Но то, что произошло с «Фобосом»!..

Когда в космос выходит космический аппарат, на нем могут обнаружиться любые неисправности, возникнуть любые нештатные ситуации. Но он обязан подавать голос. На нем стоит телеметрическая система, которая должна кричать и объяснять, что же случилось на борту: «Да, у меня нештатная ситуация. Да, я не могу выполнять свою основную задачу. Но вот, что происходит на борту... Вот, где я нахожусь... Я излучаю, вы можете с помощью радиолокаторов и других средств, которых сегодня на Земле предостаточно, следить за мной». А «Фобос» молчит, как метеорит. В наше время развитие ракетно-космической техники таково, что подобного просто быть не должно принципиально. Это находится за пределами того, что допускает сегодняшняя космическая техника. Если хотите знать мою точку зрения, меня это и удивляет, и возмущает.

Ю.Б.: И все-таки, почему Россия начинает отставать?

Если вас интересуют мои взгляды на нашу сегодняшнюю ситуацию... Очень досадно, что огромные средства – нужные, – которые могли быть потрачены на космонавтику для решения очень важных и народнохозяйственных, и научных, и оборонных задач, уходят в другую сторону, например, на дорогие яхты, стои-

мость каждой из которых – это десятки хороших космических аппаратов, например, для решения задач дистанционного зондирования Земли.

Ю.Б.: В этом причины, почему мы начинаем отставать в космонавтике?

Причины, в том числе, в проблемах социальной системы, которая установилась в стране. Каким образом руководство государства будет и сможет ли (и хочет ли) систему исправить, прогнозировать не берусь. Мне уже, слава Богу, вот-вот стукнет сто лет. И я больше всего обеспокоен тем, дотяну ли я до этой даты? А если дотяну, то в какой компании и как ее отметить?

Благодарности

Мы благодарны Борису Евсеевичу Чертоку за то, что он откликнулся на нашу просьбу, понимая ее важность для истории науки и техники, и его помощнику М.Н. Турчину. Выражаем признательность коллективу мемориального дома-музея С.П. Королёва, его директору Л.А. Филиной, а также директору Музея космонавтики, летчику-космонавту России, Герою России А.И. Лазуткину за любезное разрешение произвести съемки в интерьере экспозиции, а также за памятное чаепитие с Борисом Евсеевичем Чертоком, как оказалось, последнее.

Беседовал Ю.М. Батури

Подготовка 3D-документа – Д.Ю. Щербинин

Оператор – М.А. Селивестров

¹ Интервью записано 15 ноября 2011 года. В значительном сокращении было опубликовано в день похорон Б.Е. Чертока в «Новой газете» (№ 141, 16 декабря 2011).

² Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года / Ред. Б.Е.Черток. М., 2010.

³ Доклад Б.Е.Чертока будет опубликован в следующем номере ВИЕТ.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ИЗБРАНИЕМ В ЧЛЕНЫ-КОРРЕСПОНДЕНТЫ РАН И РАМН!

Congratulations on Your Election as a Corresponding Member of RAS and RAMS!

В 2011 году на очередных общих собраниях Российской академии наук и Российской академии медицинских наук прошли выборы новых членов академий. Среди вновь избранных есть представители славной плеяды российских космонавтов.

Так, членами-корреспондентами РАН избраны летчики-космонавты Батурин Юрий Михайлович, директор Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (ИИЕТ РАН), и Соловьёв Владимир Алексеевич, первый заместитель генерального конструктора РКК «Энергия».

Членом-корреспондентом РАМН избран летчик-космонавт Моруков Борис Владимирович, заместитель директора Института медико-биологических проблем РАН по науке.

Отряд космонавтов Роскосмоса, редакция журнала «Пилотируемые полеты в космос» поздравляют вновь избранных членов-корреспондентов и желают им новых творческих успехов.

КОЛЛЕКТИВУ ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ ИМЕНИ С.И. ВАВИЛОВА РАН

г. Москва, 28 февраля 2012 года

To the Collective Body of S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences

Moscow, February 28, 2012

Уважаемые коллеги!

Руководство, отряд космонавтов и сотрудники Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина сердечно поздравляют вас с 80-летием Института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН!

Ваш институт является важным структурным звеном Российской академии наук, состоит при Президиуме РАН. Институт успешно решает задачи исследования истории важнейших направлений естествознания и техники, общих проблем развития науки и техники, вопросов современной научно-технической революции, творческого наследия выдающихся ученых.

НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина в течение многих лет успешно сотрудничает с ИИЕТ им. С.И. Вавилова по тематике пилотируемой космонавтики.

Желаем сотрудникам института дальнейших творческих успехов, научных открытий и, конечно, космического здоровья!

Надемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество и реализацию новых совместных проектов.

ПЕРВЫЙ РОССИЙСКО-ГЕРМАНСКИЙ СЕМИНАР ПО КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

г. Штутгарт (Германия), 20–24 февраля 2012 года

The First Russian-German Workshop on Space Robotics

Stuttgart (Germany), February 20-24, 2012

С 20 по 24 февраля 2012 года в городе Штутгарте состоялся первый российско-германский семинар, посвященный проблемам развития космической робототехники.

Семинар был организован Баден-Вюртемберг Интернационал (bw-i) и Институтом технологий Карлсруе (RIT) при активном содействии Аэрокосмического форума Баден-Вюртемберг (LR DW).

В нем приняли участие ученые и специалисты из России и Германии, которые представляли следующие организации: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», РКК «Энергия», МГТУ имени Н.Е. Бумана, ФГУП «ЦНИИмаш», ИМБП, НПО «Андронидная техника», ЦНИИ РТК, лабораторию Sensorika, компанию «Astrium», Axon, DITF, IRS, RWTH, Robotics Innovation Center, DLR Space Administration, Steinbeis Eoropen Zentum, университет Карлсруе и другие.

Семинар открыли член руководства общества Баден-Вюртемберг Интернационал Ульрих Мак, профессор Аэрокосмического форума Баден-Вюртемберг Рольф-Юрген Алерс, и представитель института технологий Карлсруе кандидат технических наук Артем Каргов, которые подчеркнули, что на пути движения к новым ступеням научно-технического прогресса все большее значение приобретает международное сотрудничество.

2011/12 год является годом Российско-Германского образования, науки и инноваций. В его рамках проводится большое количество масштабных мероприятий, охватывающих множество организаций двух стран, в интересах взаимовыгодного сотрудничества.

Запланированный цикл семинаров в Германии и России утверждает платформу для сотрудничества в области космической и промышленной робототехники между двумя государствами, приглашая профессионалов, молодых ученых и учащихся к работе в совместных проектах, а также представляет информационную поддержку инновационной деятельности для предприятий отрасли, научно-исследовательских организаций и университетов обеих стран.

С приветственным словом обратился к участникам семинара летчик-космонавт Герой Российской Федерации Тюрин М.В., который в своем выступлении отметил значимость и важность робототехники для поддержки деятельности космонавтов в космических полетах.

На семинаре были представлены доклады по проблемам, успехам и перспективам космической робототехники. Одним из первых свой доклад представил доктор технических наук заместитель начальника Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина Крючков Б.И. «Человек и робот на пилотируемом космическом аппарате», в котором оценил роль и место робототехнических систем на современных ПКА.

Большой интерес у собравшихся на международном семинаре вызвали доклады о перспективных разработках российского робота, с которыми выступили представители ФГУП «ЦНИИмаш» кандидат технических наук Сапрыкин О.А. и доктор технических наук Сычков В.Б. Был представлен фильм, созданный при участии НПО «Андроидная техника», ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и ФГУП «ЦНИИмаш» о российском роботе-андронавте, разработанным НПО «Андроидная техника».

Все доклады, сделанные на семинаре, будут опубликованы в сборнике в 2012 году на английском языке.

Участники семинара посетили научно-исследовательские организации, такие как компания «Astrium», университет Карлсруе и др., где познакомились с текущими и перспективными робототехническими системами, создающимися в Германии.

В период работы семинара российскими специалистами был проведен целый ряд деловых переговоров с немецкими коллегами по вопросам научно-технического сотрудничества в сфере космической робототехники.

А. Салаев

**XXXIX МЕЖДУНАРОДНЫЕ
ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ,
ПОСВЯЩЕННЫЕ ПАМЯТИ
ПЕРВОГО КОСМОНАВТА Ю.А. ГАГАРИНА**

г. Гагарин, 9–12 марта 2012 года

**XXXIX International Social & Scientific Readings Dedicated to the Memory
of the First Cosmonaut Yu.A. Gagarin**
Gagarin, March 9–12, 2012

9–12 марта 2012 года на родине первого в мире космонавта в г. Гагарине Смоленской области прошли ежегодные Международные XXXIX общественно-научные чтения, посвященные памяти первого космонавта Ю.А. Гагарина.

В торжественных мероприятиях и самих чтениях участвовали космонавты СССР и Российской Федерации, ветераны космической отрасли, представители ведущих организаций Роскосмоса: ЦНИИмаш, РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, ГНЦ-ИМБП РАН и прочих. В работе чтений были представлены 20 регионов РФ, республика Беларусь, Украина, Казахстан, Испания.

Чтения проводятся под эгидой Российской академии наук при поддержке администрации Смоленской области. Одним из основных организаторов данных чтений является Центр подготовки космонавтов. Представители Центра приняли

активное участие в работе пленарных заседаний и провели секцию «Профессия – космонавт». Делегацию Центра на заседаниях представлял член оргкомитета чтений, кандидат технических наук, начальник 55 отдела Курицын Андрей Анатольевич. В работе чтений приняли активное участие сотрудники НИИ ЦПК: старший научный сотрудник Попова Е.В. – секретарь секции, Кузнецов К.Б., Ядревский К.С., Черняк Е.А., Марченкова Т.В., Ермоленко Г.В.

На заседаниях чтений было зарегистрировано 215 участников, из них 9 докторов наук, 23 кандидата наук, представлено более 100 докладов. Наибольшее участие выступающих по традиции отмечено на секции «Космонавтика и молодежь».

По итогам работы отмечено, что проведение общественно-научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина, вносит значительный вклад в сохранение памяти о первом космонавте Земли, развитие отечественной науки, пропаганду достижений российской пилотируемой космонавтики. По итогам работы чтений будет выпущен печатный сборник представленных докладов.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР В КАЗАНИ

г. Казань, 17–18 мая 2012 года

International Scientific Seminar in Kazan

Kazan, May 17–18, 2012

К 80-летию со дня образования Казанского авиационного института (1932–2012) в городе Казани, Татарстан, Россия, на базе Казанского национального исследовательского технического института (Казанского авиационного института) имени А.Н. Туполева с 17 по 18 мая 2012 года прошел Международный научный семинар «Проблемы моделирования и динамики сложных междисциплинарных систем».

В семинаре в рамках тематической сессии «Авиация и космонавтика: фундаментальные научные и прикладные аспекты» участвовали представители следующих организаций: Российской академии наук, Федерального космического агентства, КНИТУ-КАИ имени А.Н. Туполева, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», РАКЦ, Федерации космонавтики России, ОАО «Российские космические системы», Института нефти и газа РАН, Казанского федерального университета, КАПО им. С.П. Горбунова, КБ «Южное» (Днепропетровск) и др. В работе семинара активное участие принимали: президент Федерации космонавтики России летчик-космонавт СССР Коваленок В.В., советник президента республики Татарстан, вице-президент Газпромбанка, член попечительского совета КГТУ профессор Б.П. Павлов.

В рамках семинара были представлены научные доклады различных направлений исследований по авиационной и космической тематике. Организационным комитетом были отмечены наиболее интересные доклады, прозвучавшие на семинаре:

Г.В. Новожилов (РАН, Москва). Казань и Казанский авиационный институт – в развитии отечественной авиации.

С.К. Крикалёв, Б.И. Крючков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звёздный). Центр подготовки космонавтов: прошлое, настоящее, будущее.

А.А. Баренбаум, М.И. Шпекин (Институт нефти и газа РАН, КФУ, Москва-Казань). Галактоцентрическая парадигма в решении проблем селенологии.

А.В. Гусев (КФУ, Казань). О программах освоения Луны в 2015–2017 годах.

В.В. Коваленок (летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, Москва). ФКР: роль и место в развитии отечественной космонавтики и сотрудничество с университетами.

В докладах проведен анализ научно-технического развития мировой авиации и космонавтики в XXI веке на основе экспертных оценок ведущих специалистов в области практической авиации и космонавтики и космической науки.

Участники семинара присутствовали на торжественных мероприятиях, посвященных 80-летию со дня основания Казанского авиационного института. В рамках торжественных мероприятий проведено открытие мемориальной доски С.П. Королёву.

Перед началом семинара на базе КНИТУ-КАИ состоялось организационное собрание по образованию Казанского регионального отделения МОО «Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского». Президентом КазРО избран академик МОО «РАКЦ» доктор технических наук Алтунин В.А. В работе организационного собрания приняли участие вице-президенты МОО «РАКЦ» Ляшук Б.А. и Крючков Б.И., главный ученый секретарь академии Тюкалов Ю.П., академик-секретарь научного отделения № 10 МОО «РАКЦ» Курицын А.А.

А. Курицын

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина») инициировало издание научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» по широкому кругу проблем, связанных с тематикой пилотируемых полетов в космос. В журнале публикуются работы в области: обеспечения пилотируемых космических программ; научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области изучения космического пространства и создания космической техники; отбора, подготовки деятельности и послеполетной реабилитации космонавтов; безопасного пребывания космонавтов на орбите, а также теории конструирования и технологии летательных аппаратов, двигателей; вычислительных систем; экспериментальных исследований; дистанционного зондирования Земли, информационных спутниковых технологий; проблем нанотехнологий для авиа- и аэрокосмических систем.

Приглашаются к сотрудничеству ученые различных областей.

Приглашаются начинающие авторы. Конструктивная и доброжелательная критика специалистов на страницах журнала призвана способствовать повышению уровня и качества работ начинающих исследователей, стимулировать приток свежих сил в сложнейшую отрасль мировой науки и техники.

<http://www.gctc.ru>

Вниманию авторов

Авторы присылают подготовленные к изданию работы объемом до пятнадцати страниц, выполненные в программе Word for Windows, IBM PC, и экспертное заключение на них. Необходима качественная распечатка (лазерный принтер) на хорошей белой бумаге и дублирующая пересылка по электронной почте.

Размер полосы набора (поле текста, формат А4) – 12,5х20 см. Верхнее и нижнее поле – 4,82 см, левое и правое поле – 4,25 см. Отступы в начале абзаца – 0,8 см. Заголовок – Times New Roman, 11 pt, через один интервал; основной текст – Times New Roman, 10 pt, через один интервал; иллюстрации – в компьютерном исполнении (рисунок в Word, файлы с расширением – .bmp, .jpg, .gif) с возможностью их редактирования. Рисунки размещаются в тексте. Таблицы, схемы, рисунки и формулы в тексте должны нумероваться; схемы и таблицы должны иметь заголовки, размещенные над схемой или полем таблицы, а каждый рисунок – подрисуночную подпись.

Структура текста:

1. Название статьи.
2. Сведения об авторе / авторах: имя, отчество, фамилия, должность, место работы, ученое звание, ученая степень, домашний адрес (с индексом), контактные телефоны (раб., дом.), адрес электронной почты.
3. Аннотация статьи (3–10 строк).
4. Ключевые слова по содержанию статьи (8–10 слов), которые размещаются после аннотации.

5. На английском языке повторить название статьи, фамилию и инициалы автора.

6. На английском языке повторить аннотацию статьи.

7. На английском языке повторить ключевые слова.

8. Основной текст статьи на русском языке.

За автором сохраняется право копирования своей публикации. Журнал может быть выслан по заказу за отдельную плату.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в трех экземплярах. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.

Вниманию читателей

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редколлегия вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

To the Attention of Readers

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

Наши координаты для контактов (по вопросам публикации, рекламы, и деловых предложений)

Кальмин Андрей Валентинович (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала размещено на сайте <http://www.gctc.ru>

Научный редактор *Л.К. Васильева*
Технический редактор *Н.В. Волкова*
Корректор *Т.И. Лысенко*

Подписано в печать 26.06.2012.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 15,40. Тираж 100 экз. Зак. 464-12.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»