

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,

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

Пилотируемые полеты: от Ю.А. Гагарина
к МКС и полетам в дальний космос.
С.К. Крикалёв, Б.И. Крючков, А.А. Курицын 6

Перспективы использования Международной
космической станции в интересах
развертывания Международной
аэрокосмической системы глобального
мониторинга. *В.А. Меньшиков, А.В. Радьков,
Б.Н. Родионов* 21

Текущее состояние и перспективы развития
системы управления полетами космических
аппаратов (*продолжение*). *В.А. Соловьёв,
В.Е. Любинский, Е.И. Жук* 30

Методологические аспекты
профессиональной ориентации подготовки
космонавтов. *Г.Д. Орешкин, Э.Н. Степанов* 37

Орбитальное маневрирование космических
объектов при решении задач технического
обслуживания и ремонта искусственного
спутника Земли. *А.Т. Митин, А.А. Митина* 47

Перспективы развития космической
экспериментально-клинической медицины.
В.М. Баранов, М.В. Баранов 57

Новое поколение электролизеров для
космической техники. *Д.А. Лялин,
А.Е. Баранов, М.В. Нечаев* 62

Использование фото- и видеоматериала
пилотируемых полетов на уроках экологии
в средней школе. *С.Н. Ревин* 73

Внеэкваториальные геостационарные ИСЗ –
перспективные средства оперативного
функционирования. *М.Н. Бурдаев* 79

Задачи и принципы создания комплекса тренажеров для подготовки космонавтов по лунной и марсианской программам. <i>С.В. Игнатьев, В.П. Хрипунов</i>	94
Анализ и синтез перспективной системы внекорабельной деятельности экипажа. <i>А.Н. Бабкин</i>	99
Некоторые вопросы развития и применения астрономических приборов ориентации пилотируемых космических комплексов. <i>А.А. Митина</i>	106
Перспективы применения нанотехнологий в системах обеспечения жизнедеятельности космонавтов. <i>О.С. Малиновская, Р.Н. Ризаханов</i>	113
Некоторые аспекты сравнительного анализа выполнения операций внекорабельной деятельности в скафандрах «Орлан» и «ЕМУ» при проведении испытательно-тренировочных работ в гидросреде. <i>А.А. Алтунин, И.В. Галкина</i>	119
О роли подтвержденных оценок в технологии последовательной коррекции функционирования целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС». <i>А.В. Малов, В.Н. Дмитриев</i>	132
К вопросу о роли и месте ПКА в системе космического мониторинга Земли. <i>В.М. Жуков</i>	137
Применение визуально-ассоциативного метода распознавания созвездий и навигационных звезд на небесной сфере в подготовке космонавтов. <i>В.Н. Прудков, Д.А. Темарцев, А.М. Чигиринов</i>	145
Молодежный образовательный Космоцентр. <i>О.В. Котов, В.Е. Шукшунов, О.С. Гордиенко</i>	155
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ.....	167
Конференция в Институте истории естествознания и техники имени С.В. Вавилова.....	167
Международный научный семинар в Казани.....	168
Информационное сообщение о рабочей встрече в г. Мюнхене (Германия) по научной программе «Плазменный кристалл».....	169
Международная научно-практическая конференция «Космос на благо человечества – взгляд в будущее».....	170
XXXV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, – «Королёвские чтения».....	171
Международная конференция «Экология планеты Земля глазами космонавтов».....	172
Международная конференция «Человек–Земля–Космос», посвященная 50-летию со дня полета в космос Ю.А. Гагарина.....	173

Молодежная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике».....	174
ИАС 2011 – 62-й Международный космический (астронавигационный) конгресс.....	175
Космический форум 2011, посвященный 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина, с международным участием	176
Информация для авторов и читателей.....	177

CONTENTS

Manned Space Flights: From Yu.A. Gagarin to the ISS and Flights to Far Space. <i>S.K. Krikalev, B.I. Kryuchkov, A.A. Kuritsyn</i>	6
Prospects of the International Space Station Utilization in Favor of Deployment of the International Aerospace System of Global Monitoring. <i>V.A. Menshikov,</i> <i>A.V. Radkov, B.N. Rodionov</i>	21
Spacecraft Mission Control Systems' Current State and Development Prospects (<i>continued</i>). <i>V.A. Solovyov, V.E. Lyubinskiy, Ye.I. Zhuk</i>	30
Methodological Aspects of Occupational Cosmonaut Training Guidance. <i>G.D. Oreshkin, E.N. Stepanov</i>	37
Orbital Maneuvering of Space Objects During Technical Maintenance and Repair of an Earth Artificial Satellite. <i>A.T. Mitin, A.A. Mitina</i>	47
Perspectives of Development of Space Experimental-Clinical Medicine. <i>V.M. Baranov, M.V. Baranov</i>	57
New Generation of Electrolyzers for Space Engineering. <i>D.A. Lyalin,</i> <i>A.E. Baranov, M.V. Nechaev</i>	62
Usage of Photo and Video Materials of Manned Flights During Ecology Lessons at Secondary School. <i>S.N. Revin</i>	73
Extraterrestrial Geostationary Earth Satellites – Promising Means of Quick Response Operation. <i>M.N. Burdayev</i>	79
Simulator System for Cosmonauts Training on the Lunar and Martian Programs Objectives and Concepts. <i>S.V. Ignatjev, V.P. Hripunov</i>	94
Crew Extravehicular Activity Advanced System Analysis and Synthesis. <i>A.N. Babkin</i>	99
Some of the Manned Space Systems Astronomical Orientation Tools Development and USE Issues. <i>A.A. Mitina</i>	106
Prospects of Nanotechnology Application in Cosmonaut Life Support Systems. <i>O.S. Malinovskaya, R.N. Rizakhanov</i>	113
Some Aspects of Comparative Analysis of Extravehicular Operations in “Orlan” and EMU Space Suits During Tests and Training in Water. <i>A.A. Altunin,</i> <i>I.V. Galkina</i>	119
About the Role of Confirmed Assessments in the Technology of Cascade Stabilization of “MCC-Crew-MCC” Target System Operation. <i>A.V. Malov,</i> <i>V.N. Dmitriyev</i>	132
About the Role and Place of Manned Spacecraft in the Earth Space Monitoring System. <i>V.M. Zhukov</i>	137
USE of the Visual-Association Method of Constellation and Navigation Stars Recognition on the Celestial Sphere for Cosmonaut Training. <i>V.N. Prudkov,</i> <i>D.A. Temartsev, A.M. Chiginov</i>	145

Youth Educational Space Center. <i>O.V. Kotov, V.E. Shukshunov, O.S. Gordienko</i>	155
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION	167
Conference in S.I. Vavilov Natural History and Technique Institute	167
International Scientific Seminar in Kazan	168
Information Statement About “Plasmatic Crystal” Scientific Program Meeting in Munich (Germany)	169
International Research and Practice Conference “Space for the Welfare of Mankind – Looking Into the Future”	170
XXXV Academic Conference on Astronautics Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and Other Outstanding Domestic Scientists – the Pioneers of Space Exploration	171
International Conference “Planet Ecology the Earth by Eyes of Cosmonauts”	172
International Conference “Human–Earth–Space”, Dedicated to the 50th Anniversary of the First Human Space Flight by Yu.A. Gagarin	173
Youth Conference “New Materials and Technologies in Rocket–Space Technics”	174
IAC 2011 – 62-nd International Space (Astro-Navigational) Congress	175
Space Forum 2011, Dedicated to the 50th Anniversary of the First Human Space Flight by Yu.A. Gagarin, with International Participation	176
Information for Authors and Readers	177

ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ: ОТ Ю.А. ГАГАРИНА К МКС И ПОЛЕТАМ В ДАЛЬНИЙ КОСМОС

С.К. Крикалёв, Б.И. Крючков, А.А. Курицын

Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, летчик-космонавт СССР, канд. психологических наук С.К. Крикалёв; докт. техн. наук Б.И. Крючков; канд. техн. наук, доцент А.А. Курицын (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются этапы развития мировой пилотируемой космонавтики. Показаны основные перспективные направления развития пилотируемой космонавтики в наступившем столетии. Сделан вывод, что существующие достижения в науке и технике, приобретенный опыт выполнения космических программ позволяют приступить к решению задач по освоению дальнего космоса с помощью средств пилотируемой космонавтики.

Ключевые слова: пилотируемые космические аппараты, орбитальные пилотируемые комплексы, пилотируемые полеты, космонавты, экипажи, космические агентства, Луна, Марс, астероиды.

Manned Space Flights: From Yu.A. Gagarin to the ISS and Flights to Far Space. S.K. Krikalev, B.I. Kryutchkov, A.A. Kuritsyn

The article describes the stages of the world's manned space exploration development. It shows main promising directions of manned space exploration development this century. It concludes that the existing achievements in science and engineering and the obtained experience of space program performance allow to proceed to far space exploration with the use of manned spacecraft.

Key words: manned spacecraft, orbital manned complexes, manned space flights, cosmonauts, crews, space agencies, Moon, Mars, asteroids.

В этом году исполнилось 50 лет со дня первого полета человека в космическое пространство.

День 12 апреля 1961 года стал точкой отсчета эпохи пилотируемых космических полетов. За 50 космических лет пилотируемая космонавтика прошла гигантский путь от первого полета Ю.А. Гагарина, протяженностью всего в 108 минут, до полетов экипажей на Международной космической станции (МКС), находящихся более 10 лет практически в непрерывном пилотируемом режиме.

Первому полету предшествовала долгая и напряженная работа больших научно-технических и производственных коллективов в нашей стране. В течение 1957–1961 годов были проведены космические запуски автоматических аппаратов для изучения Земли и околоземного космического пространства, Луны и дальнего космоса. В начале 60-х годов отечественными специалистами под руководством Главного конструктора ОКБ-1 Сергея Павловича Королёва было завершено решение сложнейшей задачи – создание первого в мире пилотируемого космического корабля «Восток».

В полетах «Востоков» исследовалось воздействие на организм космонавтов перегрузок и невесомости, влияние длительного пребывания в кабине ограниченного объема. Первый «Восток», пилотируемый Ю. Гагариным, совершил только один оборот вокруг Земли. В том же году Герман Титов провел в космосе целые сутки и доказал, что человек в невесомости может жить и работать. Интересно отметить, что Титов первым из космонавтов сделал фотоснимки Земли, он стал

первым космическим фотографом. В настоящее время космонавты оснащены самой современной фотоаппаратурой и съемки из космоса стали неотъемлемой частью их полетной деятельности.

Полет корабля «Восток-5» с космонавтом В. Быковским продолжался уже около 5 суток.

На корабле «Восток-6» 16 июня 1963 года полет в космос выполнила первая в мире женщина-космонавт Валентина Владимировна Терешкова.

«Восход» – первый в мире многоместный пилотируемый космический корабль. Из корабля «Восход-2» 18 марта 1965 года Алексей Архипович Леонов совершил первый в мире выход в открытый космос. Теперь внекорабельная деятельность космонавтов стала неотъемлемой частью почти всех космических полетов.

Пилотируемая космонавтика, воплощая в себе самые передовые достижения мировой науки и техники, развивалась стремительными темпами. В СССР на смену «Восходам» пришли корабли нового поколения – «Союзы», в США корабли «Меркурий» и «Джемини» сменили новые корабли серии «Аполлон». Конец 1960-х начало 1970-х годов ознаменован многими памятными «космическими» событиями.

Январь 1969 года – первая стыковка на орбите (в ручном режиме) двух пилотируемых кораблей. Выполнен переход двух космонавтов – Алексея Елисеева и Евгения Хрунова через открытый космос из «Союза-5» в «Союз-4».

Июль 1969 года – полет «Аполлона-11». Впервые люди Земли астронавты Нейл Армстронг и Эдвин Олдрин высадились на поверхность Луны. Видимо, пройдет не так много времени и человек вернется на Луну. Вернется с новыми задачами, технологиями, программами исследований.

Новый этап орбитальных полетов начался в июне 1971 года полетом «Союза-11» (Георгий Добровольский, Владислав Волков, Виктор Пацаев) и экспедицией на первую долговременную орбитальную станцию «Салют». На орбите космонавты в течение 22 суток впервые отработали цикл полетных операций, ставших впоследствии типовыми для длительных экспедиций на космических станциях:

- сближение и стыковка корабля со станцией;
- расконсервация бортового оборудования и выполнение программы научных работ на борту станции;
- техническое обслуживание и ремонт служебных и научных систем;
- ликвидация возникших НшС и отказов оборудования;
- консервация оборудования станции;
- расстыковка и возвращение на Землю.

Особое место в пилотируемой космонавтике занимает состоявшийся в июле 1975 года полет в рамках «Экспериментальной программы «Аполлон–Союз». Это был первый опыт проведения совместной космической деятельности представителей разных стран – СССР и США, положивший начало международному сотрудничеству в космосе – проектам «Интеркосмос», «Мир–НАСА», «Мир–Шаттл», МКС. Сегодня международному сотрудничеству уже более 35 лет. В перспективе, видимо, оно будет иметь еще большее значение в связи с освоением дальнего космоса.

В начале 70-х годов в обеих «космических державах» – СССР и США – были развернуты работы по созданию многоэтажных транспортных космических систем по программам «Спейс шаттл» и «Энергия–Буран».

Многоразовые ТКС располагали возможностями, недоступными для одноразовых ПКА:

- доставка крупногабаритных объектов (в грузовом отсеке) на орбитальные станции;
- выведение на орбиту, снятие с орбиты искусственных спутников Земли;
- техническое обслуживание и ремонт спутников в космосе;
- инспекция космических объектов на орбите;
- повторное использование многоразовых элементов транспортной космической системы.

За 30 лет пятью кораблями «Спейс шаттл» было выполнено 133 полета.

Судьба «Бурана», успешно выполнившего в ноябре 1988 года первый орбитальный полет в автоматическом режиме, сложилась по-иному. Программа «Энергия–Буран» в дальнейшем была закрыта.

В период с 1971 по 1997 год нашей страной было выведено на орбиту восемь пилотируемых космических станций (табл. 1). Эксплуатация первых космических станций по программе «Салют» позволила получить опыт в разработке сложных орбитальных пилотируемых комплексов, обеспечивающих долговременную жизнедеятельность человека в космосе. На борту «Салютов» в общей сложности работали 34 экипажа.

Таблица 1

Полеты орбитальных станций в период 1971–2011 гг.

Название орбитальной станции	Период полета, годы	Количество экспедиций		Налет, сутки
		основных	посещения	
Салют-1	1971	1	–	175
Салют-2	1973	–	–	13
Skylab	1973–1979	3	–	2249
Салют-3	1974–1975	1	–	213
Салют-4	1974–1977	2	–	770
Салют-5	1976–1977	2	–	412
Салют-6	1977–1982	5	11	1765
Салют-7	1982–1991	5	4	3216
Мир	1986–2001	28	9	5514
МКС	с ноября 1998	29	17	4697

Американским аэрокосмическим агентством была выполнена интересная программа полетов на станции «Скайлэб», где работали три экспедиции, доставляемые «Аполлонами».

Орбитальный комплекс (ОК) «Мир» стал международным многоцелевым комплексом, на котором была осуществлена практическая отработка целевого

применения будущих пилотируемых космических комплексов, выполнена обширная программа научных исследований. Вот несколько цифр, которые наглядно характеризуют вклад «Мира» в развитие пилотируемой космонавтики. На борту ОК «Мир» работало 28 основных экспедиций, несколько экспедиций посещения, выполнено 79 выходов в открытый космос и проведено более 23 000 сеансов научных исследований и экспериментов. На «Мире» работали 71 человек из 12 стран. Выполнено 27 международных научных программ. В. Поляковым в 1994–1995 гг. выполнен полет, равный по длительности полету на Марс и обратно. Он продолжался 438 суток. В течение 15-летнего полета комплекса был приобретен опыт устранения нештатных ситуаций различной значимости и отклонений от нормы, возникавших по различным причинам.

Использование орбитальных станций, начиная с «Салюта-1», показывает, что доля времени их полета в пилотируемом режиме неуклонно растет. Для МКС этот показатель на 1 октября 2011 года составил 85,6% и уже превысил соответствующий показатель для ОК «Мир» (83,5%), причем МКС находится на орбите на два с лишним года меньше «Мира». На рисунке 1 показана динамика максимальной продолжительности полетов экспедиций на орбитальных станциях.

К настоящему времени полеты в космос осуществили в общей сложности 520 человек из 35 стран, из них 110 космонавтов РФ (СССР), 332 астронавта США. Только на российских (советских) пилотируемых космических аппаратах летало и работало 87 иностранных космонавтов и астронавтов из 28 стран мира, 10 непрофессиональных космонавтов. К настоящему времени в мире выполнено 290 пусков ПКА. Если бы космонавты летали всего лишь по одному разу, а не многократно, на орбите побывало бы не 520, а 1095 человек.

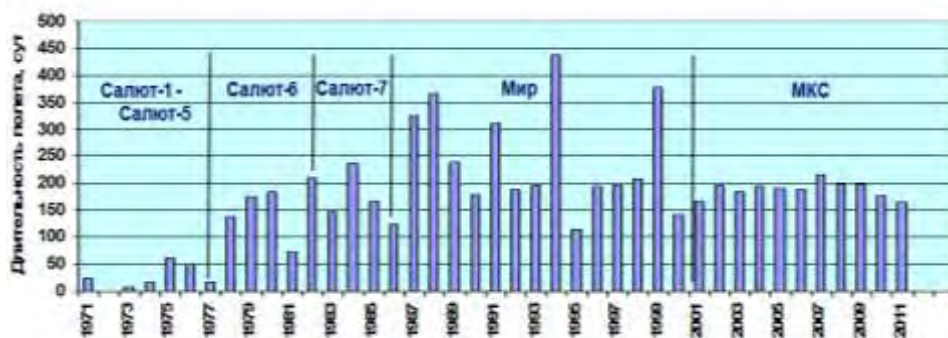


Рис. 1. Максимальная продолжительность полетов экипажей орбитальных станций

Международная космическая станция – это проект, в котором участвуют шестнадцать стран. Она вобрала в себя опыт и технологии всех предшествующих ей программ развития пилотируемой космонавтики. Вклад России в создание и обеспечение эксплуатации МКС весьма значителен. К началу работ на МКС в 1993 году Россия уже имела 25-летний опыт эксплуатации орбитальных станций и соответственно развитую наземную инфраструктуру.

Объем и сложность операций, выполняемых экипажами на МКС, более чем на порядок превышает эти показатели на станции «Мир», что оказывает существенное влияние на требуемый уровень подготовки интегрированных международных экипажей.

В таблице 2 показаны сводные данные по участию в полетах на МКС представителей стран-партнеров (на 20.10.2011). С 2009 года экипаж МКС увеличен до шести человек, что позволяет значительно эффективнее использовать ресурсы станции.

Таблица 2

Данные по представительству стран-партнеров в экипажах МКС

Космонавтов РФ (из них 10 человек летали по 2 раза: С. Крикалёв, Ю. Гидзенко, Ю. Маленченко, Г. Падалка, А. Калери, М. Тюрин, О. Котов, Ф. Юрчихин, Ю. Лончаков, С. Волков)	34
Астронавтов ЕКА (из них 2 человека летали по 2 раза: Ф. де Винне, Р. Виттори)	8
Астронавтов США (из них 3 человека летали по 2 раза: П. Уитсон, М. Финк, Д. Уилльямс)	34
Астронавтов Японии	3
Астронавтов Канады	1

В настоящее время (октябрь 2011 г.) на борту МКС работает 29 основная экспедиция, выполнено 17 экспедиций посещения на российский сегмент. В этих экспедициях на борту станции осуществили программы полетов 34 космонавта РФ, 8 астронавтов ЕКА, 34 астронавта США, 3 японских астронавта и астронавт Канады (без учета экипажей шаттлов). Кроме того, на борту станции побывали 10 непрофессиональных космонавтов.

Сложность выполняемых задач на борту станции предъявляет повышенные требования к управлению процессами отбора, подготовки и реабилитации экипажей МКС. Все эти процессы являются структурными элементами единой системы. На рисунке 2 показаны взаимосвязи этих процессов.

Важнейшими принципами системы являются этапность и пролонгированность процессов отбора и подготовки космонавтов, обеспечивающие в итоге высокое качество подготовленности экипажей ПКА.

Одной из главных особенностей профессиональной подготовки космонавтов и астронавтов является необходимость приобретения первичного «космического» опыта в наземных условиях. Этот опыт они приобретают на наземных тренажерах, на которых моделируются условия деятельности экипажей космических кораблей и станций. Именно результатами подготовки на тренажерах во многом определяется успех космического полета в целом – его эффективность и безопасность.

В настоящее время основными техническими средствами подготовки космонавтов в ЦПК служат специализированные и комплексные полномасштабные тренажеры транспортных кораблей «Союз» и орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции.

В подготовке космонавтов также используется еще целый ряд специализированных тренажеров и технических средств, моделирующих различные факторы космических полетов, а также штатные и нештатные условия посадки на Землю. Все более широкое применение находят виртуальные и компьютерные тренажеры.

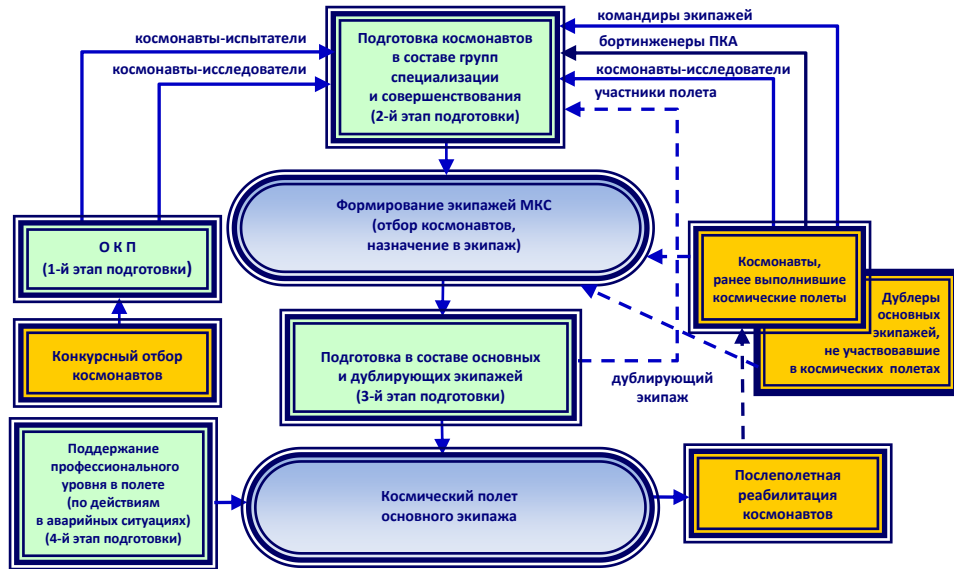


Рис. 2. Взаимосвязь этапов отбора, подготовки и послеполетной реабилитации космонавтов

Подготовка экипажей МКС – это интегрированный процесс, осуществляемый на принципах многосегментной подготовки, когда каждый партнер (космическое агентство) отвечает за подготовку экипажа по своему сегменту (модулю) и проводит ее на собственной базе. На основе опыта проведенной подготовки экипажей МКС сложилось определенное распределение задач и времени по базам партнеров, последнее представлено на рис. 3. Преобладающей является подготовка в России к полету на транспортном корабле «Союз», являющимся в настоящее время единственным средством доставки экипажей на МКС и возвращения их на Землю.

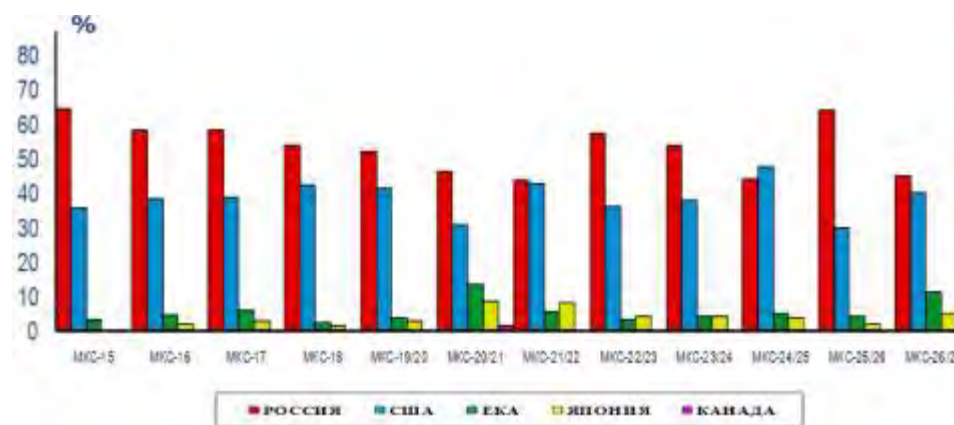


Рис. 3. Распределение времени подготовки экипажей МКС по учебно-тренировочным базам международных партнеров

На РС МКС выполняются научные исследования и эксперименты, их направления представлены в табл. 3. Многие реализуются совместно с США и ЕКА.

Таблица 3

Направления научных исследований на МКС

№ п/п	Направление	Всего
1	Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	21
2	Геофизика и околоземное космическое пространство	20
3	Медико-биологические исследования	42
4	Дистанционное зондирование Земли	14
5	Исследование Солнечной системы	6
6	Космическая биотехнология	38
7	Технические исследования и эксперименты	46
8	Астрофизика и фундаментальные физические проблемы	5
9	Исследование физических условий в космическом пространстве на орбите Земли	7
10	Образование и популяризация космических исследований	11
Итого:		210

Космические исследования расширяют и углубляют знания о нашей планете, окружающем мире, закладывают основы для решения фундаментальных научных и социально-экономических проблем. Объем проводимых исследований на РС МКС неуклонно растет, что связано как с увеличением количества научного оборудования, так и с увеличением числа российских космонавтов на борту МКС до трех человек (рис. 4).



Рис. 4. Объемы научных исследований на борту РС МКС в часах

В 2013 году планируется дооснащение станции российским многоцелевым лабораторным модулем (МЛМ), позволяющим существенно увеличить российскую программу научных исследований за счет доставки на МКС целого комплекса новой научной аппаратуры. Кроме того, вместе с МЛМ планируется доставка европейского манипулятора ERA для обеспечения внекорабельной деятельности экипажей МКС. В дальнейшем предполагается доставить на РС МКС узловой модуль и два научно-энергетических модуля.

Решаются вопросы использования совместно с РС МКС свободнолетающих автоматических КА (программа ОКА-Т), которые будут стыковаться со станцией и обслуживаться космонавтами.

В процессе планирования и организации космической деятельности люди, принимающие решения, часто задаются вопросом: «Что (кто) лучше – автомат или человек в космосе?»

Можно назвать целый ряд направлений деятельности и задач, при решении которых в космосе без человека не обойтись.

К ним, в частности, относятся:

- сборка крупногабаритных конструкций;
- техническое обслуживание и ремонт искусственных спутников Земли;
- выполнение ряда научных экспериментов;
- управление орбитальными самолетами;
- экспериментальная отработка оборудования для автоматических КА и др.

Особенно высоких результатов удалось получить по следующим направлениям: медико-биологические исследования, материаловедение, биотехнологии, создание витаминных оранжерей. Физические эксперименты, такие как «Кулоновский кристалл», «Плазменный кристалл», позволили существенно продвинуть



Рис. 5. Число выполненных экспериментов по экспедициям

знания в области фундаментальных наук. Эксперимент «Плазменный кристалл» выполняется РФ совместно с Германией (обществом имени Макса Планка). За 10 лет его осуществления получены результаты, не имеющие аналогов в мире. Это еще раз подтверждает, что орбитальные комплексы могут эффективно использоваться в интересах фундаментальных исследований. Число выполненных экспериментов по экспедициям представлены на рис. 5.

О роли автоматов или человека в космосе академик О.Г. Газенко, в частности, писал: «И то и другое имеет свои границы компетенции, а значит, и право на участие в этом важном деле».

Преимущество космонавта – в его универсальности и интеллекте. Он может выполнять множество разных действий, а автоматы-роботы – строго определенную работу. По уровню интеллекта роботы еще долго будут уступать человеку.

Автоматическим КА, роботам недоступны прецизионные операции по настройке, регулировке и ремонту электронного, оптического и электромеханического оборудования, не говоря уже об устранении нештатных ситуаций. Подобные работы требуют осмысленного выбора, а это лучше делают люди. Разум человека увеличивает общую надежность космического аппарата.

Опыт использования в космосе орбитальных станций «Мир», МКС, телескопа «Хаббл» показал, что при решении задач сборки крупногабаритных конструкций, поддержания работоспособности сложных научно-технических комплексов, их модернизации в процессе длительной эксплуатации альтернативы человеку нет.

В 1982 году ЦПК посетил знаменитый немецкий ученый, один из основоположников космонавтики Герман Оберт. Наблюдая тренировку космонавтов в гидролаборатории, он говорил, что будущее космонавтики связано с непосредственным участием человека в исследовании дальнего космоса. Что же касается работ на орбите Земли, таких, как сборка больших телескопов, юстировка их зеркал, техническое обслуживание и ремонт, – эти операции станут обычными. Как видим, его предвидение полностью сбываются.

Нельзя не отметить одно из перспективных направлений пилотируемой космонавтики – космический туризм (табл. 4). В ряде стран уже разворачивается целая индустрия по обеспечению полетов в космос обычных граждан, не имеющих профессиональной квалификации космонавта. Частный космос может не только приносить прибыль владельцам соответствующих средств, но как и традиционный, государственный ведет к созданию новых технологий, а значит расширению инновационных возможностей общества. Космические путешествия не ограничатся только полетами на суборбитальных челноках и кратковременными полетами по орбите Земли. До 2020–2025 гг. могут появиться орбитальные отели, в которых с комфортом будут размещаться сначала от нескольких человек, а затем до десятков человек. Их смена может осуществляться чартерными космолайнерами, так же, как сейчас чартерные самолеты перевозят людей на Майорку или Канары. Проекты таких отелей есть и в США, и в России.

Большинство космических агентств и некоторые частные компании уже делают конкретные шаги для освоения дальнего космоса. Ведутся различные исследования и эксперименты, создаются новые транспортные системы. В России ведутся работы по созданию многофункционального пилотируемого транспортного корабля нового поколения. В НАСА подобные работы также осуществляются, в них включились и частные компании. Больше всех, видимо, в данном направлении продвинулась компания SpaceX с кораблем Dragon. Перспективным пред-

ставляется корабль компании Lockheed Martin, создаваемый с учетом заделов по кораблю «Орион».

Таблица 4

Подготовка космических туристов и выполнение ими полетов на российских ПКА

Ф. И. О.	Страна	Область профессиональной деятельности	Возраст на момент отбора	Выполнение полетов
ТИТО Денис	США	Бизнесмен	59	1
ШАТТЛВОРТ Марк	ЮАР	Бизнесмен	28	1
ОЛСЕН Грегори	США	Бизнесмен	60	1
КОСТЕНКО Сергей	Россия	Бизнесмен	42	
ПОНТЕС Маркос	Бразилия	Летчик-испытатель	35	1
АНСАРИ Анюше	США	Бизнесмен	39	1
ЭНОМОТО Дайсукэ	Япония	Бизнесмен	34	
СИМОНИ Чарльз	США	Бизнесмен	57	2
ШЕЙХ Музафар	Малайзия	Врач-ортопед	34	1
ФАИЗ бин-Халид	Малайзия	Военврач, стоматолог	26	
ПОЛОНСКИЙ Сергей	Россия	Бизнесмен	32	
БАСС Лэнс	США	Музыкант	23	
ЛОРИ Гарвер	США	Бизнесмен	41	
СОЙОН Йи	Республика Корея	Сотрудник НТЦ	28	1
САН Ко	Республика Корея	Сотрудник НТЦ	30	
ГЭРРИОТТ Ричард	США	Бизнесмен	47	1
ХАЛИК Ник	Австралия	Бизнесмен	37	
ЛАЛИБЕРТЕ Ги	Канада	Бизнесмен, артист	50	1
ДАЙСОН Эстер	США	Бизнесмен	58	
БЭРРЕТТ Барбара	США	Бизнесмен	60	

За 50 лет мировой пилотируемой космонавтики достигнуты существенные успехи. К основным из них можно отнести следующие:

- освоены технологии сборки и эксплуатации в космосе больших длительно функционирующих космических комплексов, обеспечивающих практически постоянное (при смене экипажей) пребывание на них человека;
- выполнены полеты человека на Луну;
- отработаны технологии создания и применения многоразовых пилотируемых космических систем;
- выполнена крупномасштабная программа научных исследований и экспериментов в космосе;
- отработаны технологии технического обслуживания и ремонта искусственных спутников Земли;
- создана международная интегрированная наземная инфраструктура обеспечения космических полетов;
- осуществляется международное сотрудничество в космосе;
- обеспечен доступ в космос непрофессиональным космонавтам.

Несмотря на значительные успехи, уже достигнутые в пилотируемой космонавтике, можно утверждать, что мы находимся лишь в начале пути освоения космического пространства. Знаменитый ученый и писатель Артур Кларк говорил: «Золотой век космоса только начинается...».

На настоящем этапе определяется несколько основных перспективных направлений развития пилотируемой космонавтики:

1. Обеспечение присутствия человека в околоземном космическом пространстве в целях его дальнейшего использования.
2. Освоение Луны, окололунного пространства (создание лунных баз).
3. Полеты к астероидам и в точки Лагранжа (первые шаги в дальний космос).
4. Полеты на Марс (высадка человека на Марс, создание баз на его поверхности).

В наступившем столетии подготовка и полеты профессиональных космонавтов будут связаны с осуществлением новых орбитальных полетов, миссий по освоению дальнего космоса, включая Луну, астероиды, точки Лагранжа, Марс, а также обеспечением космического туризма.

Китай успешно осваивает орбитальные полеты. В настоящее время он практически приступил к созданию орбитальной станции и строит планы полетов на Луну.

По прогнозам, к началу XXII века количество полетов профессиональных космонавтов достигнет нескольких тысяч (рис. 6), при этом число космических туристов может составить сотни тысяч человек (рис. 7).

В наступившем столетии профессиональные космонавты будут выполнять:

- орбитальные полеты (по орбитам ИСЗ);
- полеты к Луне и на Луну;
- работы на лунных базах;
- полеты к астероидам;
- полеты в точки Лагранжа (научные исследования, ТОР космических телескопов);
- полеты к Марсу;
- посадка на Марс.

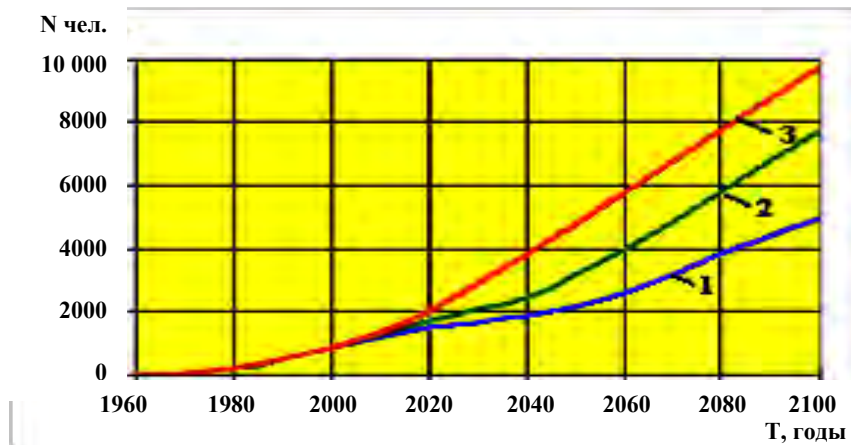


Рис. 6. Количество космонавтов-профессионалов в космосе (1, 2, 3 – варианты прогноза: умеренный, оптимистический и сверхоптимистический)

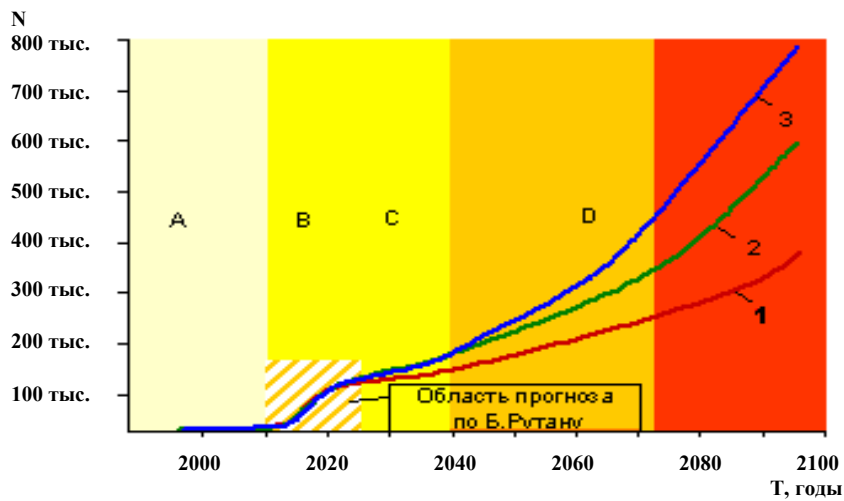


Рис. 7. Количество туристов в космосе (нарастающим итогом по годам) (1, 2, 3 – варианты прогноза: умеренный, оптимистический и сверхоптимистический)

Космические туристы будут осуществлять:

- суборбитальные полеты;
- длительные орбитальные полеты (космические отели);
- полеты к Луне и на Луну.

При существующем уровне развития науки и техники лунный проект, включающий создание первой базы, может быть осуществлен в период 2030–2035 гг. В перспективе Луна может стать площадкой для обширных научных исследований и отработки технологий освоения Марса.

Марсианский проект еще требует ряда серьезных научно-технических решений, связанных как с его технической реализуемостью, так и с обеспечением безопасности полета космонавтов. В силу чрезвычайной сложности, дороговизны и опасности этот проект, скорее всего, будет международным.

Интересные данные по Луне получены в последние два года индийским КА «Чандраян» и американским «Lcros» (найдена вода в виде льда, различные не найденные ранее химические элементы). Особенный интерес представляют результаты полета японского аппарата «Кагуйя», обнаружившего отверстия на поверхности Луны диаметром 65 м и глубиной до 100 м. Если на Луне когда-то происходили вулканические процессы, а такие предположения не безосновательны, то отверстия на ее поверхности могут быть входами в лавовые туннели. В таком туннеле можно разместить жилые и рабочие отсеки, а, значит, надежно защититься от воздействия радиации и решить, таким образом, одну из важнейших проблем жизнеобеспечения на Луне. Температура внутри туннеля при толщине свода 1–2 м может быть стабильной и составлять (-30...-40°C), что тоже немаловажно для жизнеобеспечения.

Возможно несколько способов создания лунной базы в лавовом туннеле. На наш взгляд, наиболее эффективным и безопасным было бы использование надутых конструкций для формирования основных жилых и рабочих отсеков лунной базы (рис. 8). Оптимальным можно было бы считать такую схему освоения лавовых туннелей, когда размещение и наддув модулей могли бы быть выполнены роботами при минимальном участии космонавтов или вовсе без них. На долю космонавтов могли бы быть возложены такие функции, как расконсервация, монтаж, приведение в рабочее состояние служебного, научного и бытового оборудования.

Серьезным шагом для освоения дальнего космоса могут быть полеты к астероидам. Американские специалисты не раз заявляли о своем интересе к таким проектам. Более того, в НАСА уже ведутся работы по моделированию под водой деятельности космонавтов на поверхности астероидов.

В целях успешного осуществления будущих полетов человека в дальний космос необходимо решить следующие проблемы обеспечения безопасности полетов и подготовки космонавтов:

- разработка новых концепций отбора космонавтов для полетов в дальний космос (Луна, лунные базы, астероиды, точки Лагранжа, Марс ...);
- создание новых ТСПК и комплексов подготовки (натурные, виртуальные и летающие тренажеры, луно- и марсодромы);
- подготовка к безопасной производственной деятельности на Луне;
- создание надежных, легко обслуживаемых комплексов СЖО;
- разработка и реализация принципов и средств медицинского и психологического обеспечения полетов космонавтов в дальний космос;

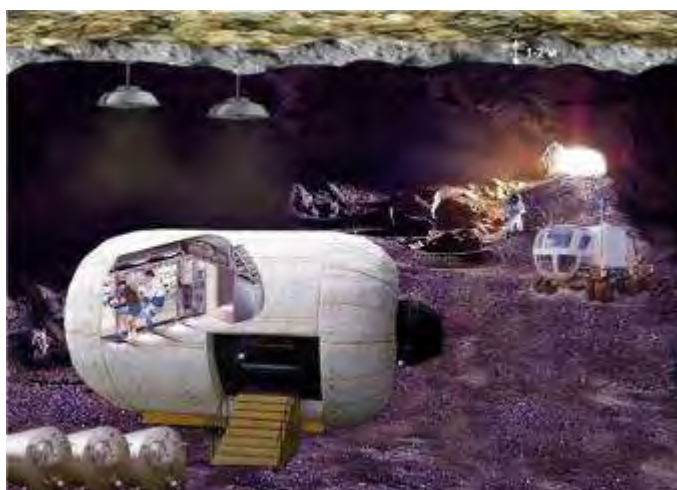
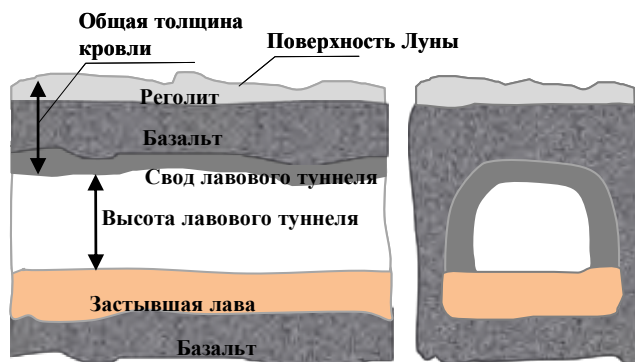


Рис. 8. Вариант размещения надувного модуля в лавовом туннеле под поверхностью Луны

– обеспечение безопасности полетов человека в дальний космос и его деятельности на посещаемых планетах (защита от опасных факторов космического и планетарного происхождения, поддержка экипажа при возникновении штатных ситуаций, спасение в аварийных ситуациях и др.);

– разработка и реализация концепций реабилитации космонавтов по завершении полетов в дальний космос, принципов обеспечения профессионального долголетия космонавтов;

– подготовка профессиональных космонавтов для обеспечения потребностей космической туристической индустрии.

Освоение дальнего космоса – деятельность людей по овладению его ресурсами и уникальными возможностями (свойствами, условиями) в целях решения научных, научно-технических, экологических и иных задач.

Основная миссия человека при освоении Луны и дальнего космоса – быть первопроходцем, исследователем, испытателем.

Невозможно осваивать Луну и дальний космос, не отправляя туда человека. Роль космонавта как ремонтника – второстепенна, но в ряде случаев только он может обеспечить надежное и длительное функционирование автоматических комплексов, систем и устройств (например, на Луне).

Человек (космонавт, экипаж) должен быть органической составной частью (элементом) инфраструктуры, создаваемой для освоения Луны или дальнего космоса. Его жизнедеятельность в условиях этой инфраструктуры должна быть максимально безопасной, эффективной и комфортной.

Необходимы новые методы отбора, подготовки, обеспечения безопасной полетной деятельности и послеполетной реабилитации космонавтов в свете задач освоения Луны и дальнего космоса.

Уровень развития науки и техники, существующие технологии, научно-технические заделы в части обеспечения профессиональной деятельности космонавтов позволяют уже в ближайшие годы приступить к решению практических задач освоения Луны и дальнего космоса.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ИНТЕРЕСАХ РАЗВЕРТЫВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

В.А. Меньшиков, А.В. Радков, Б.Н. Родионов

Докт. техн. наук, профессор В.А. Меньшиков; канд. техн. наук А.В. Радков; докт. техн. наук, профессор Б.Н. Родионов («НИИ КС имени А.А. Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева», г. Юбилейный, Московская область)

В статье излагаются перспективы, цели и задачи использования Международной космической станции в интересах формирования общепланетарного информационного пространства безопасности на основе Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга, анализируется состояние и даются рекомендации по применению отечественной и зарубежной измерительной аппаратуры.

Ключевые слова: Международная космическая станция, Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга, общепланетарное информационное пространство безопасности, природные и техногенные опасности и катастрофы, мониторинг.

Prospects of the International Space Station Utilization in Favor of Deployment of the International Aerospace System of Global Monitoring. V.A. Menshikov, A.V. Radkov, B.N. Rodionov

This article presents the perspectives, goals and tasks of the International Space Station utilization to the interests of global security information space on the basis of the International aerospace system of global monitoring, analyses the status and gives recommendations of applying national and foreign measurement equipment.

Key words: International Space Station, International aerospace system of global monitoring, global security information space, natural and technogenic dangers and catastrophes, monitoring.

Совокупность геофизических и техногенных, навигационных и телекоммуникационных полей может рассматриваться в качестве глобального информационного поля Земли и околоземного пространства. Использование этого поля в целях обеспечения безопасного и устойчивого развития человечества с применением соответствующих орбитальных, авиационных и наземных средств может обеспечить формирование общепланетарного информационного пространства безопасности.

В 2007 году НИИ КС имени А.А. Максимова – филиал ГКНПЦ имени М.В. Хруничева под руководством академика РАКЦ В.А. Меньшикова выдвинул идею и начал работу по продвижению на международном уровне Проекта создания Международной аэрокосмической системы мониторинга (МАКСМ), одной из основных целей создания которой и является формирование упомянутого общепланетарного информационного пространства безопасности.

Одним из наиболее эффективных и необходимых путей создания и развертывания МАКСМ является использование богатейшего опыта и широчайших возможностей пилотируемой космонавтики и Международной космической станции (МКС).

Использование МКС в интересах создания и развертывания МАКСМ представляется целесообразным прежде всего для натурной отработки методов и средств космического мониторинга, а также, учитывая богатейший опыт взаимо-

действия МКС с зарубежными космическими системами, для отработки технологий сопряжения зарубежных и отечественных элементов МАКСМ.

Космические средства МАКСМ предназначены для измерения фоновых распределений и выделения возмущений параметров тепловых, магнитных, гравитационных полей и плазмы в ионосфере, выявления изменений в озоновом слое и характеристик атмосферы, в геодинамике земной коры и гидродинамике грунтовых вод, являющихся возможными предвестниками стихийных бедствий, природных и техногенных катастроф.

Задачи экспериментов могут решаться путем прямых измерений или методами дистанционного зондирования Земли из космоса. Полученные данные должны передаваться в ситуационные центры глобальной системы обеспечения потребителей мониторинговой информацией. Исходя из этого, использование МКС представляется целесообразным для отработки усовершенствованных и новых методов и средств космического базирования, предназначенных для решения следующих основных задач [1]:

– наблюдение поверхности Земли, атмосферы и ионосферы с использованием аппаратуры видимого и теплового диапазонов, низко- и высокочастотных волновых комплексов, плазменных комплексов, комплексов мониторинга энергетических частиц, магнитометров, масс-анализаторов, спектрометров с целью:

- глобального геологического картирования различных горных пород, складчатых и разрывных структур, динамического контроля сейсмоопасных районов;

- динамического мониторинга гидрогенных экосистем;

- обнаружения признаков грядущих землетрясений (измерение перемещения тектонических плит, контроль различных признаков землетрясений, процессов вулканической деятельности);

- контроля зарождения, развития и распространения смерчей, тайфунов, цунами, циклонов и антициклонов;

- мониторинга состояния потенциально опасных объектов (гидротехнических сооружений, химических, радиационных, пожаро-, взрывоопасных и других объектов), функционирующих на Земном шаре;

– сбор получаемой информации на борту космического аппарата (КА) и ее регистрация;

– передача получаемых данных мониторинга на наземные станции приема космической информации в режиме получения данных и с задержкой при накоплении данных в бортовом запоминающем устройстве КА.

Следует отметить, что МКС уже использовалась для проведения космических экспериментов, результаты которых представляют несомненный интерес для разработки космических средств МАКСМ. Среди них следует упомянуть следующие эксперименты [2]:

– серия экспериментов с использованием аппаратуры «Релаксация» по регистрации воздействия на ионосферу Земли радионагревного стенда «Сура»;

– «Молния-гамма» – по исследованию атмосферных вспышек гамма- и оптического излучения в условиях грозовой активности;

– «Ураган» – по исследованию природных и техногенных катастроф;

– серия экспериментов по изучению ионосферы: эксперимент «Импульс» по изучению эффектов модификации ионосферы с помощью импульсного инжектора плазмы и др.

Для развития рассматриваемых направлений исследований в настоящее время на российском сегменте МКС готовятся следующие космические эксперименты, представляющие несомненный интерес для разработки МАКСМ [2]:

– «Сейсмопрогноз-СМ» – по исследованию физических явлений в околоземном космическом пространстве, обусловленных процессами подготовки землетрясений и техногенными воздействиями;

– «Гидроксил» – по изучению оптических излучений верхней атмосферы и ее отклика на аномальные природные и техногенные явления и др.

В целях углубленного изучения проблемы краткосрочного прогнозирования землетрясений и других природных бедствий и техногенных катастроф представляется целесообразным проведение на МКС космических экспериментов по исследованию ионосферы, атмосферы и литосферы различными методами, прежде всего представленными на рис. 1 [1].

В качестве специальной и научной аппаратуры на МКС могут быть установлены различные бортовые системы и приборы для мониторинга и регистрации предвестников природных и техногенных катастроф (рис. 2) [1].

В частности, для мониторинга и регистрации таких предвестников, как аномальные низкочастотные (УНЧ-КНЧ-ОНЧ) электромагнитные излучения, возмущения квазипостоянных электрических полей, локальные вариации температуры плазмы, аномальные геомагнитные пульсации на частотах около 1 Гц, высыпания высокоэнергичных частиц, на МКС целесообразно установить следующую бортовую научную аппаратуру [1]:

– УНЧ-ОНЧ волновой комплекс для измерения и анализа волновых излучений в диапазоне частот 0,1 Гц – 23 Гц;

– высокочастотный волновой комплекс для измерения спектра электромагнитных излучений в диапазоне 0,1–15 МГц и электронной плотности;

– измеритель электростатических полей для измерения трех компонент квазипостоянного электрического поля;

– спектрометр энергичных частиц для измерения энергетического распределения и вариаций интенсивности потоков электронов и ионов с энергиями 20 кэВ – 2 МэВ;

– оптический комплекс для измерения характеристик атмосферных эмиссий;

– плазменный комплекс для измерения ионного и нейтрального состава, плотности, вариаций плотности и компонент скорости дрейфа плазмы.

Необходимо отметить, что часть указанной бортовой аппаратуры уже создана и может быть использована в составе МКС и микроспутников космического сегмента МАКСМ.

К данной аппаратуре относятся:

– низкочастотный волновой приемник SAS2;

– высокочастотный измеритель высотного распределения электронной концентрации от основания атмосферы до высоты КА;

– радиочастотный анализатор;

– научная аппаратура «Татьяна», предназначенная для регистрации и изучения радиации;

– маломассогабаритные Фурье-спектрометры.



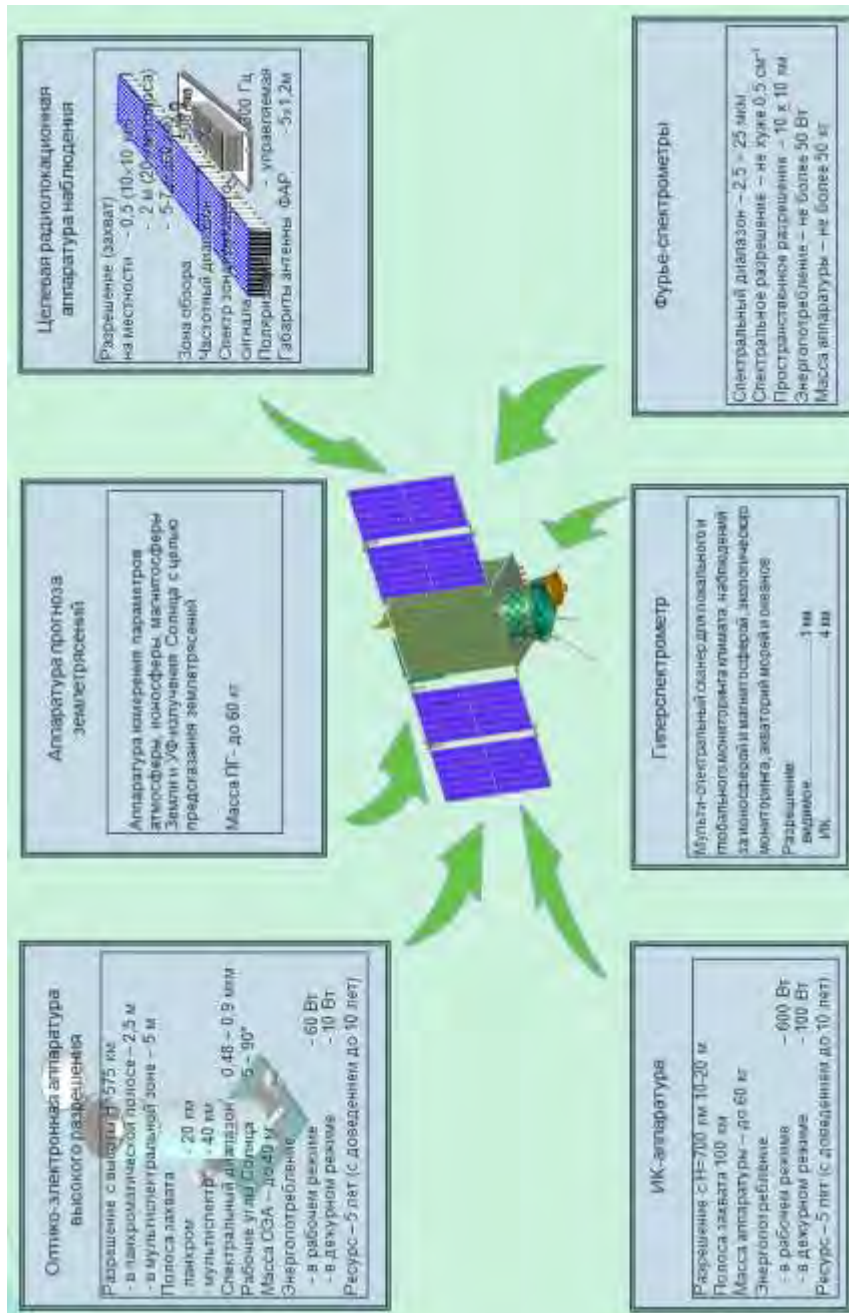


Рис. 2. Специальная и научная аппаратура для установки на МКС с целью решения задач мониторинга и регистрации предвестников природных и техногенных катастроф



Рис. 3. Низкочастотный волновой приемник SAS2

Низкочастотный волновой приемник SAS2, который можно установить на МКС (рис. 3), предназначен для измерения электромагнитных полей в диапазоне от единиц Гц до 20 кГц и может быть использован для установления связи между сейсмической активностью и ОНЧ-КНЧ явлениями с целью прогнозирования природных бедствий.

Основные характеристики прибора SAS2 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон измеряемых частот	1 Гц – 20 кГц
Чувствительность: – по электрической компоненте – по магнитной компоненте	$5 \cdot 10^{-7} \text{ В/м Гц}^{1/2}$ $10^{-2} \text{ нТл Гц}^{-1/2}$
Потребляемая мощность	$\leq 5 \text{ Вт}$
Масса прибора (без датчиков)	$\leq 900 \text{ г}$

Аппаратура ГИД-12Т способна обеспечить высокоточные измерения высотного распределения электронной концентрации (от основания ионосферы до высоты МКС) по данным трансionoсферного спутникового зондирования с использованием сигналов космических аппаратов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС/GPS с целью:

- изучения глобального распределения высотной структуры ионосферы;
- диагностики активных воздействий на ионосферную плазму;
- антропогенных эффектов в ионосфере и эффектов, связанных с естественными процессами в земной атмосфере, в том числе над сейсмоактивными регионами.

Радиочастотный анализатор, регистрирующий спектры электрической составляющей плазменных излучений в частотном диапазоне $100 \text{ кГц} - 15,1 \text{ МГц}$, может быть использован для выявления ионосферных предвестников землетрясений, а также ионосферных проявлений других природных и техногенных катастроф.

Для получения информации о процессах, происходящих в околоземном космическом пространстве и в верхних слоях атмосферы Земли (потоки электронов и протонов в различных областях магнитосферы, измерение тонкой структуры вариаций ультрафиолетового свечения атмосферы Земли, возникающего от сгорания в атмосфере микрометеоритов и космического мусора, вспышечных явлений природного (грозы) и техногенного характера и др.), может быть использована аппаратура «Татьяна».

Для измерения спектров уходящего излучения системы «атмосфера–поверхность», необходимых для определения профилей температуры в тропосфере и нижней стратосфере, профилей влажности в тропосфере, общего содержания озона, температуры подстилающей поверхности, на МКС могут использоваться маломассогабаритные Фурье-спектрометры разработки ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (инфракрасный Фурье-спектрометр ИКФС-2) и ФГУП «Главкосмос» (инфракрасный Фурье-спектрометр МЦФС).

ИКФС-2 обеспечивает измерение профилей температуры с погрешностью 1 К , влажности и содержания озона 10% , температуры водной поверхности $0,5 \text{ К}$, суши 1 К . Кроме того могут быть получены данные для определения общего содержания CH_4 , N_2O и других малых газовых составляющих атмосферы.

Сочетание ИК-спектрометрических и радиометрических измерений в СВЧ-диапазоне существенно увеличивает информацию о высотном распределении температуры атмосферы в условиях сплошной облачности, поскольку радиационная температура, измеренная ИК-спектрометром, позволяет определять макрофизические характеристики верхней границы облаков: температуру и высоту верхней границы, а СВЧ-данные – определять водозапас облаков и температуру поверхности.

Инфракрасный Фурье-спектрометр МЦФС обеспечивает, как видно из табл. 2, требуемые параметры при значительно меньшей массе и энергопотреблении, чем у отечественных (ИКФС-2) и зарубежных аналогов (ИК-интерферометр верхних слоев атмосферы IASI и инфракрасный зонд бокового обзора CrIS).

Кроме того, в интересах формирования общепланетарного информационного пространства безопасности на основе МАКСМ, представляется целесообразным использование МКС для отработки технологий сопряжения зарубежных и отечественных систем мониторинга, в том числе с использованием следующей отечественной и зарубежной геофизической аппаратуры:

- гиперспектрометр (Hyperspectral Imager, EO-1);
- радиовысотометр (Poseidon Type Radar Altimeter, Jason);
- картограф глобального содержания озона и двуокиси серы в атмосфере Земли (Total Ozon Mapping Spectrometr – TOMS, QuickTOMS);
- прибор для измерения потоков солнечной радиации в верхней атмосфере (XUV Photometer System – XPS, SORCE);
- УНЧ/ОНЧ волнового комплекса ($30 - 1000 \text{ Гц}$) для мониторинга напряженности квазипостоянного электрического поля;
- ВЧ волнового комплекса для слежения за спектром осцилляции электрического поля в диапазоне $0,05 - 15,1 \text{ МГц}$ или $0,05 - 6,35 \text{ МГц}$;

Таблица 2

Основные характеристики зарубежных и отечественных Фурье-спектрометров

Наименование	IASI	CrIS	ИКФС-2	МЦФС
Тип инструмента	Фурье-спектрометр	Фурье-спектрометр	Фурье-спектрометр	Фурье-спектрометр
Спектральный диапазон, мкм	3,6–15,5	4–15,4	5–15	2,5–25
Спектральное разрешение, см ⁻¹	0,3–0,5	0,5–0,6	0,5	0,2
Пространственное разрешение, км	12x12	14x14	40x40	10x10
Потребляемая мощность (Вт)	200	86	50	30
Вес (кг)	230	81	50	28

– плазменного комплекса для контроля поперечной и продольной компоненты скорости дрейфа ионов в диапазоне 0,02–5,0 км/с, плотности ионов в диапазоне 10²–06 см⁻³, ионной температуры в диапазоне 300–10 000 К; осцилляции ионной плотности в диапазоне 0,5–1000 Гц и возмущения ионного состава;

– видеофотометрического комплекса для контроля интенсивности и частоты появления грозных разрядов, ТВ-изображение областей атмосферного свечения в направлении лимба Земли, получаемое с помощью ТВ-камеры на базе ПЗС-матрицы и усилителя яркости; интенсивности атмосферных эмиссий в избранных спектральных диапазонах, измеряемой с помощью фотометров, ориентированных на лимб Земли и в надири;

– комплекса мониторинга энергичных частиц для наблюдения энергетических спектров электронов в диапазоне 15–350 кэВ и ионов в диапазоне 15–3200 кэВ, регистрируемые с двух направлений, временных вариаций потоков частиц в выбранных энергетических диапазонах;

– магнитометра постоянного поля для мониторинга трех компонент геомагнитного поля в диапазоне +/- 60 мкТл с погрешностью не более 0,015 мкТл.

– масс-анализатора для контроля распределения ионов и нейтральных частиц по массам в диапазоне 1–1000 а.е.м. с временным разрешением до 30 мс;

– спектрометра для мониторинга распределения интенсивности гидроксильных эмиссий по спектру в диапазоне 727–1103 нм и по высоте в диапазоне 90–95 км, а также интенсивности эмиссии атомарного кислорода по высоте в диапазоне 85–110 км.

Таким образом, в настоящее время имеется достаточно обширная номенклатура российской и зарубежной аппаратуры космического базирования, которая может быть использована для натурной отработки на МКС методов и средств регистрации предвестников природных и техногенных катастроф. Задачи экспериментов могут решаться путем прямых измерений или методами дистанционного зондирования Земли из космоса. Полученные данные должны передаваться в ситуационные центры глобальной системы обеспечения потребителей мониторинговой информацией.

Исходя из этого, использование МКС представляется целесообразным для отработки новых методов и средств космического базирования, предназначенных для наблюдения поверхности Земли, атмосферы и ионосферы с использованием аппаратуры видимого и теплового диапазонов, низко- и высокочастотных волновых комплексов, плазменных комплексов, комплексов мониторинга энергетических частиц, магнитометров, масс-анализаторов, спектрометров с целью: динамического контроля сейсмоопасных районов; обнаружения признаков грядущих землетрясений (измерение перемещения тектонических плит, контроль различных признаков землетрясений, процессов вулканической деятельности); контроля зарождения, развития и распространения смерчей, тайфунов, цунами, циклонов и антициклонов; мониторинга состояния потенциально опасных объектов (гидротехнических сооружений, химических, радиационных, пожаро-, взрывоопасных и других объектов), функционирующих на Земном шаре.

Кроме этого, представляется необходимым использование богатейшего опыта создания и функционирования МКС в рамках международной кооперации для развития технологий сопряжения и интеграции зарубежных и отечественных систем мониторинга в составе МАКСМ.

Учитывая положительный опыт проведения космических экспериментальных исследований на борту МКС с использованием создаваемой аппаратуры, представляется целесообразным применение МКС для обнаружения предвестников природных и техногенных катастроф на постоянной основе и введение МКС в состав орбитального сегмента МАКСМ.

В конечном итоге использование МКС в интересах развертывания МАКСМ и их дальнейшее взаимодействие несомненно повысят эффективность решения актуальнейшей проблемы человечества – формирование общепланетарного информационного пространства безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урличич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: Изд-во МАКД, 2010. – 570 с.
- [2] Кузнецов В.Д. Космические исследования Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН//УФН, т. 180, № 5, 2010. – С. 554–560.

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 В.А. Соловьёв; докт. техн. наук В.Е. Любинский; лауреат Государственной премии в области науки и техники, докт. полит. наук, канд. техн. наук, профессор Е.И. Жук (ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»)

В статье рассматриваются вопросы становления и развития системы управления полетами космических аппаратов. Основное внимание уделяется системе управления полетами пилотируемых космических аппаратов. Опыт международного сотрудничества по программе Международной космической станции позволил специалистам Главной оперативной группы управления развить накопленный опыт в области управления космическими полетами. С учетом современных информационных технологий предлагаются новые подходы и методы по управлению научно-исследовательских комплексов с участием международных партнеров.

Ключевые слова: управление космическим полетом, Главная оперативная группа управления, командно-программное управление, командно-программная информация, командно-программное обеспечение.

Spacecraft Mission Control Systems' Current State and Development Prospects (continued). V.A. Solovyov, V.E. Lyubinskiy, Ye.I. Zhuk

The article examines the issues of spacecraft mission control systems' establishing and development. The main attention is paid to the manned spacecraft mission control systems. The international cooperation in the International Space Station program allowed the Central Operational Control Crew specialists to develop accumulated experience in the space missions control. Taking into account present-day information technology new approaches and methods of controlling scientific and research complexes with international partners' participation.

Key words: space mission control, Central Operational Control Crew, command programmed control, command programmed data, command software support.

3. Формирование и передача командно-программной информации

Как указывалось выше, выполнение плана полета на борту КА осуществляется за счет работы его бортовых систем в заданных режимах, а также в результате деятельности экипажа (если КА пилотируемый). Управление бортовыми системами проводится путем подачи на них управляющих воздействий (УВ) от следующих источников:

- наземный комплекс управления (НКУ) – в виде команд, поступающих по командной радиолинии (КРЛ) в соответствии с детальным планом полета;
- экипажа (на пилотируемых КА) – в соответствии с планом полета (программой полета), бортовой документацией или по указанию с Земли;
- бортовой комплекс управления (БКУ) – в соответствии с заложенными в него программами управления и заданиями, получаемыми от НКУ или экипажа.

Эти звенья управления на отдельных участках полета КА могут выполнять свою задачу как автономно, так и в тесном взаимодействии. Например, алгоритмы управления бортовыми системами в БКУ могут быть откорректированы наземным

персоналом или экипажем, действия экипажа могут направляться и контролироваться из ЦУПа с помощью средств радиотелефонной, телевизионной связи или путем передачи файлов с инструкциями. Формирование в ЦУПе и передачу на борт КА команд и программ управления бортовыми системами принято называть **командно-программным управлением** (КПУ). Средства поддержки этого процесса называют **командно-программным обеспечением** (КПО) управления полетом. Процесс формирования и передачи командно-программной информации (КПИ) схематично представлен на рис. 9.

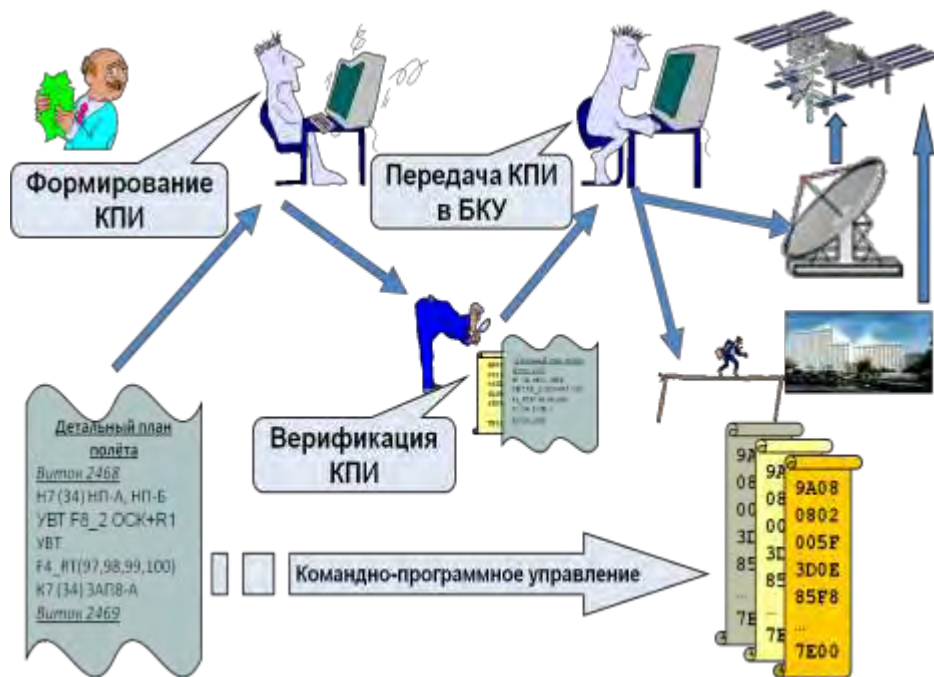


Рис. 9. Формирование и передача командно-программной информации

Командно-программное управление может осуществляться как непосредственно по командной радиолинии, когда команды выполняются на борту КА в момент их получения, так и в виде команд отложенного времени, когда они запоминаются в БКУ вместе со временем или условиями их выполнения. Отложенное, или *программно-временное, управление* (ПВУ) обеспечивает выдачу команд в бортовые системы КА вне зон радиовидимости без участия экипажа или НКУ. Основные задачи КПУ представлены на рис. 10.

Каждая указанная выше из задач характеризуется присущими ей ограничениями времени выполнения, наборами необходимых исходных данных, степенью формализации технологического процесса реализации, уровнем автоматизации. В общем случае командно-программная информация разрабатывается в Главной оперативной группе управления (ГОГУ) на основе детального плана полета (ДПП), проходит верификацию на различных моделях и передается в бортовой комплекс управления по радиолинии в составе единого цифрового потока (ЕЦП).



Рис. 10. Основные задачи КПУ

(ДПП – детальный план полета; БНИ – баллистико-навигационная информация; МИХ – массово-инерционные характеристики; НКО – наземный комплекс отладки)

Для орбитальных станций, начиная с ОС «Мир», формирование сложных и объемных программ управления бортовыми системами не могло оставаться ручным, так как приводило бы к большим временным затратам и имело бы низкую надежность. Поэтому командно-программное управление постоянно совершенствуется, и в настоящее время организация КПУ российского сегмента (РС) МКС имеет ряд особенностей, который опирается на опыт, полученный в период полета ОК «Мир» (в части решения задач формирования КПИ) и многоразового транспортно-космического корабля «Буран» (в части использования единого цифрового потока). Применение ЕЦП в радиопередачах позволяет в случае необходимости осуществлять оперативную выдачу непосредственно из ЦУПа на борт КА срочной внеплановой командно-программной информации. Однако особенности, присущие РС МКС и МКС в целом, потребовали как решения новых, так и изменения подхода к решению традиционных задач КПУ.



Рис. 11. Подготовка СМО формирования КПИ (КИВК – командно-информационный вычислительный комплекс)



Рис. 12. Подготовка СМО передачи КПИ в БКУ
(КИВК – командно-информационный вычислительный комплекс;
ПСС – план сеанса связи (СС); ИД – исходные данные)

Решение задач КПУ РС МКС потребовало, прежде всего, разработки обширной номенклатуры специального математического обеспечения (СМО). Подготовка СМО формирования КПИ и передачи КПИ в БКУ представлены на рис. 11 и 12 соответственно.

При разработке СМО формирования КПИ учитывается состав и технические характеристики БКУ и радиотехнических систем управления и связи РС МКС. Бортовой комплекс автоматического управления РС МКС построен на основе единой бортовой вычислительной сети (БВС), имеющей общий интерфейс с НКУ. Управление бортовыми системами осуществляется с помощью цифровых массивов управляющей информации. Указанные массивы могут содержать команды как прямого исполнения, так и отложенного управления. Последние могут быть отнесены к следующим бортовым программным комплексам:

- программно-временное управление (ПВУ);
- суточная программа полета (СПП);
- бортовая программа полета (БПП);
- расписание сеансов связи (РСС);
- расписание блока системной мультиплексной магистрали (БСММ);
- расписание блока сервера полезных нагрузок (БСПН).

Как следует из приведенного списка, управление бортовыми системами требует использования большого числа разнородных бортовых программных комплексов отложенного управления. Широкая номенклатура типов управляющей информации делает проблематичным обеспечение надежности управления полетом без специальных средств обеспечения надежности КПУ. К таким средствам относят специализированные проблемно-ориентированные языки описания КПИ и математическое моделирование работы БКУ на всех этапах формирования КПИ.

Основные программные комплексы управления РС МКС в общем случае могут быть разделены на следующие три основные группы:

1. Программные комплексы нижнего уровня, обеспечивающие управление бортовыми системами заданием признаков, физических и логических данных. К нижнему уровню управления относится комплекс ПВУ.

2. Программные комплексы верхнего уровня, выполняющие управление бортовыми системами на уровне режимов и функций систем, а также на уровне режимов станции. К верхнему уровню управления относят программные комплексы суточной программы полета (СПП), расписания сеансов связи (РСС) и бортового плана полета (БПП). СПП полета обеспечивает управление режимами и функциями бортовых систем, РСС – режимами и функциями радиотехнических систем, через которые осуществляется связь между НКУ и БКУ, а БПП необходим для управления режимами станции, например «Стыковка/Расстыковка», «Коррекция орбиты», «Дозаправка» и т.п., и организации деятельности экипажа на борту станции.

3. Программные комплексы управления полезными нагрузками в составе бортовой информационно-управляющей системы (ИУС). В ИУС входят, прежде всего, компьютер, управляющий полезными нагрузками, и блок сервера полезных грузов (БСПН).

В целом разработанная для управления полетом РС МКС система КПУ в настоящее время полностью обеспечивает выполнение программы полета, что подтверждает правильность решений, заложенных при ее создании. Процесс командно-программного управления в настоящее время автоматизирован таким образом, чтобы в максимально возможной степени снизить вероятность ошибок при формировании КПИ и облегчить работу персонала ГОГУ и экипажа. Технология разработки математического обеспечения для формирования командно-программной информации представлена на рис. 13.

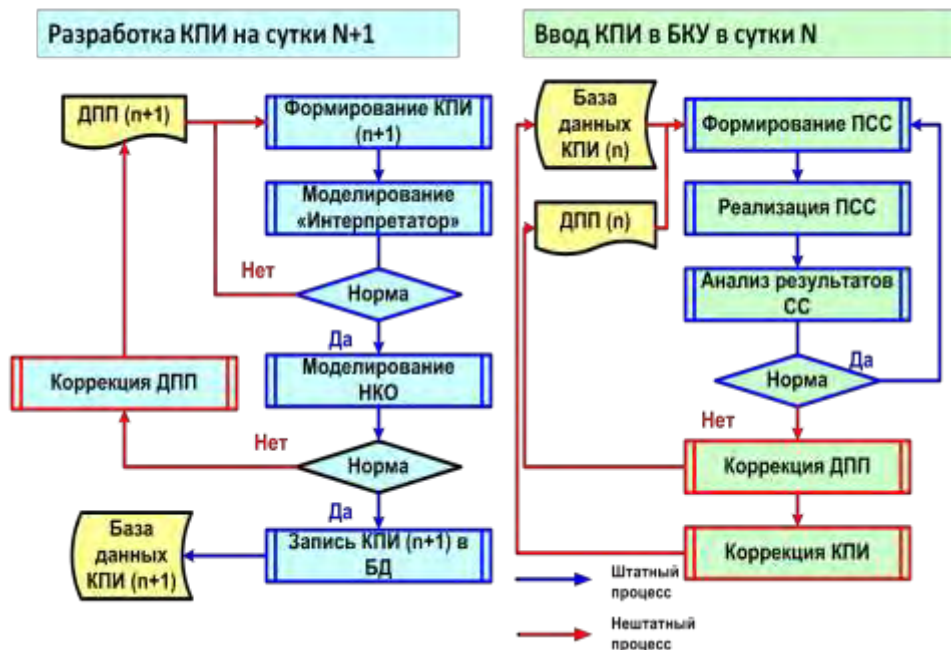


Рис. 13. Технологический процесс командно-программного управления

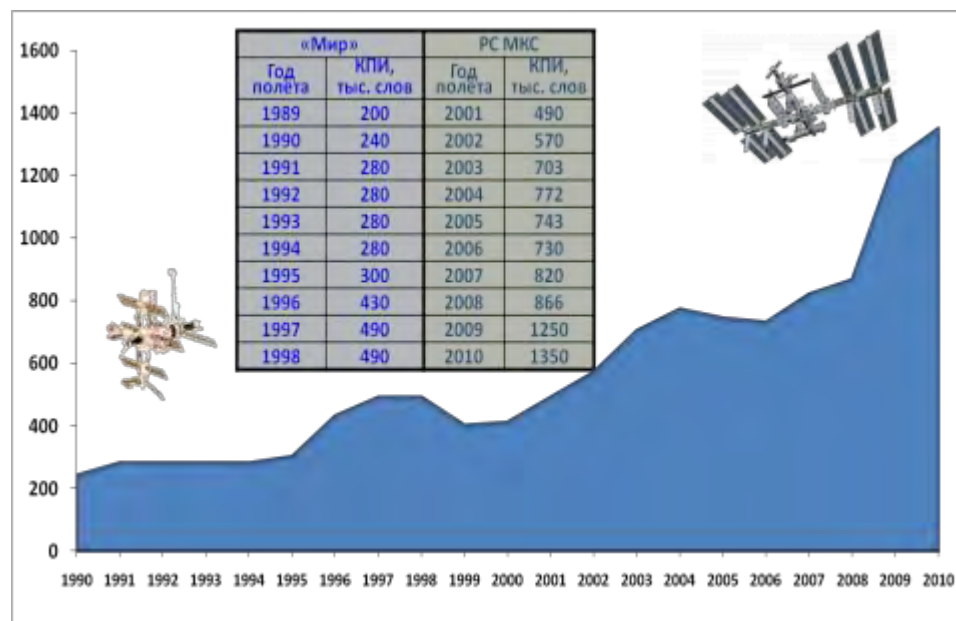


Рис. 14. Рост объема КПИ по годам, тыс. слов

Серьезной проблемой в командно-программном управлении станции, как показано на рис. 14, является значительное возрастание объема КПИ по мере усложнения космической техники, расширения структуры орбитальной станции с добавлением новых модулей, а также вследствие постоянного развития программного обеспечения БКУ.

Поэтому в настоящее время в ГОГУ разрабатывается концепция математического обеспечения КПУ следующего поколения, обеспечивающего ряд существенных преимуществ. Его использование должно привести к повышению оперативности и надежности формирования КПИ, к дальнейшему снижению трудозатрат на управление станцией.

При разработке концепции математического обеспечения КПУ нового поколения необходимо прежде всего:

- разработать унифицированное (высокоэффективное) СМО формирования КПИ;
- разработать СМО обмена КПИ между НКУ и БКУ с автоматизированным контролем процесса обмена;
- расширить использование математических моделей в процессе КПУ.

Разработка унифицированного СМО формирования КПИ предполагает создание баз данных с описанием бортовых переменных в качестве исходных данных для кодирования переменных параметров управляющих воздействий и разработку проблемно-ориентированных формальных языков описания метаданных высокого уровня (унифицированное описание полетных заданий и суточных программ полета и унифицированное описание типов и структур числовых данных).

Структура исходных данных для формирования КПИ при этом должна включать в себя:

1. Технические описания программного обеспечения БКУ, методики формирования управляющей информации:
 - а) структуры данных;
 - б) алгоритмы кодирования постоянной части УВ на языках управления БКУ.
 2. Базы данных описания бортовых переменных и структур данных:
 - а) исходные данные для кодирования адресной части УВ и переменных параметров;
 - б) исходные данные для допускового и количественного контроля значений переменных параметров.
 3. Методики формирования КПИ:
 - а) описание синтаксиса и семантики языков описания метаданных;
 - б) требования к средствам ввода, редактирования и первичного синтаксического и семантического контроля данных на языках описания метаданных высокого уровня;
 - в) требования к трансляторам с языков описания метаданных на языки управления БКУ.
 4. Специальное математическое обеспечение формирования КПИ:
 - а) проектирование баз данных;
 - б) разработка программ загрузки описаний бортовых переменных и структур в базу данных;
 - в) разработка программного обеспечения ввода, редактирования и первичного синтаксического и семантического контроля данных;
 - г) разработка трансляторов с языков описания метаданных на языки управления БКУ.
- Таким образом, разработка перспективных средств обмена КПИ предполагает:
- разработку объектно-ориентированных протоколов информационного обмена между НКУ и БКУ;
 - разработку моделей БКУ и командного процессора;
 - разработку стенда командной системы на базе моделей БКУ и командного процессора для отработки объектно-ориентированных протоколов информационного обмена между НКУ и БКУ.

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.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

Г.Д. Орешкин, Э.Н. Степанов

Канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; канд. техн. наук Э.Н. Степанов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются методологические аспекты профессиональной ориентации подготовки космонавтов к выполнению программ научно-прикладных исследований и экспериментов на период эксплуатации Международной космической станции и пилотируемые транспортные корабли нового поколения. Предлагаются принципиальные подходы и методы поэтапного формирования космонавта-исследователя как профессионала в интересах качественного выполнения научных программ на борту пилотируемых космических аппаратов.

Ключевые слова: методология, научно-методический аппарат, этапы подготовки космонавтов, космонавт-исследователь, научно-прикладные исследования и эксперименты, Международная космическая станция, пилотируемые транспортные корабли нового поколения, государственный стандарт на подготовку космонавтов.

Methodological Aspects of Occupational Cosmonaut Training Guidance.

G.D. Oreshkin, E.N. Stepanov

The article envisages the methodological aspects of occupational cosmonaut training guidance concerning scientific-applied research and experiment performance during the operation of International Space Station and manned transport vehicles of new generation. The authors offer principled approaches and methods of stepwise cosmonaut-researcher training to make him qualitatively perform scientific programs aboard manned spacecrafts.

Key words: methodology, scientific-methodological system, cosmonaut training stages, cosmonaut-researcher, scientific-applied research and experiments, International Space Station, manned transport vehicles of new generation, cosmonaut training state standard.

2011 год – год 50-летия полета в космос Юрия Алексеевича Гагарина. Со дня полета человека в космическое пространство не ослабевает внимание к подвигу и к личности первого космонавта Земли. Его прорыв в космос стал одним из крупнейших событий XX века. Для всего мира Гагарин стал живым символом новой, космической эры в истории человечества.

Оценивая научную значимость полета Ю.А. Гагарина, можно с полным основанием утверждать, что он был первым практическим исследователем космоса, открыл людям Земли дорогу в неизведанный мир, доказал, на что способен человек, дал людям веру в их собственные силы, в их возможности, дал стимул идти увереннее, смелее...

Чем дальше уходит в прошлое незабываемый день старта первого космонавта Юрия Алексеевича Гагарина, тем яснее и понятнее становится научная и практическая ценность его полета, фундаментальный характер экспериментальных результатов, полученных в этом полете.

Технические и часть биологических проблем, стоявших на пути к созданию пилотируемого космического корабля, решались на беспилотных спутниках и на аппаратах с животными на борту. Но требовалось преодолеть принципиальный

барьер: экспериментально проверить и выяснить, как влияют факторы космического полета на человека. Теоретические оценки, высказывавшиеся по этому поводу, отличались крайним разнообразием и противоречивостью (выдержит ли человеческая психика совместное воздействие этих факторов, будет ли человек способен осуществлять разумную деятельность в условиях, принципиально отличающихся от земных, и даже сможет ли он в космическом полете принимать пищу, воду и так далее). Своей работой в космосе Юрий Алексеевич Гагарин убедительно и положительно ответил на все поставленные в программе его полета вопросы.

Нужно представить себе сложную технику космического корабля, необычность условий первого в истории человечества космического полета, и тогда станет понятно, что сделанное Юрием Гагариным – это не только полет мужественного человека, решившегося на ответственное испытание, но и подвиг творческого работника, выполнившего всю программу работы, которую могли для него составить ученые, врачи, инженеры. Гагарин шел первым в еще не освоенную людьми стихию – в космос. Поэтому риск и ценность полученных им результатов были очень высокими.

Весной 1968 года Ю.А. Гагарин должен был выступить на конференции ООН по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях с докладом о профессиональной деятельности космонавта. Он не успел это сделать. Но сохранился текст доклада. Среди многих интересных и актуальных до сего дня положений доклада в нем указывается, что в первых космических полетах советских кораблей серии «Восток», в том числе и в первом полете, основное внимание уделялось вопросам изучения переносимости человеком условий космического полета. При этом с помощью телеметрической аппаратуры передавались параметры, характеризующие функции организма космонавта: пульс, дыхание, электрокардиограмма и другие физиологические параметры. Кроме того, космонавт субъективно оценивал свое состояние и проводил эксперименты по исследованию устойчивости вестибулярного аппарата, психофизических возможностей человека в космическом полете и др. В программах полетов кораблей «Восток» предусматривалось также получение данных для изучения физики земной атмосферы путем фотографирования и наблюдения горизонта Земли при различной освещенности, исследование вопросов метеоритной опасности, наблюдение и фотографирование облачного покрова Земли для исследования возможности определения различных метеорологических явлений и прогнозирования их развития.

Научные данные, получаемые при подготовке к космическим полетам и в процессе самих полетов, дали многое для понимания реакций человека на сильные, необычные, так называемые стрессовые воздействия, позволили уточнить границы переносимости воздействий и механизма адаптации к ним. Эти данные имеют большую ценность для общей и профессиональной медицины.

Продолжая традиции Ю.А. Гагарина и учитывая широкий спектр возможных направлений изучения и освоения космического пространства, сегодня на Международной космической станции (МКС), которая является многоцелевым космическим исследовательским модулем, трудятся экипажи 28-й и 29-й основных экспедиций. Одним из основных их видов деятельности является выполнение программы научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ) в интересах фундаментальной и прикладной науки, социальной сферы, экономики, развития космической техники, технологий, а также решение специальных задач в космосе.

Реализация полетных программ непосредственно зависит от уровня подготовленности членов экипажа. В настоящее время подготовка космонавтов осуществляется на научно-методической основе и представляет собой целенаправленный процесс формирования у космонавтов знаний, навыков, умений и иных качеств, необходимых для успешного выполнения ими задач космического полета. С организационно-практической точки зрения подготовка космонавтов – сложный комплексный процесс обучения, поскольку здесь переплетаются научные, инженерно-технические, организационно-методические, кадровые и другие проблемы, усложненные широким кругом побочных факторов и ограничений.

Методология и научно-методический аппарат по формированию программно-методического обеспечения подготовки космонавтов базируется на основе вытекающих из принципов и законов педагогики категорий диалектики и системного подхода.

Системный подход, как направление методологии научного познания и специальной практики, отражен в работах И.В. Блауберга, Б.Ф. Ломова, А.Н. Новикова, Э.Г. Юдина и других.

Основными принципами этого подхода являются:

1. Принцип целостности, требующий исследовать, а затем оптимизировать подготовку как единый управляемый процесс, укладываемый в временные этапы (общекосмическая подготовка, подготовка в составе групп совершенствования и специализации, подготовка в составе экипажа) с их задачами и связями. Такой единый сложный процесс, как подготовка космонавтов, складывается из отдельных логически взаимосвязанных «кирпичиков», поскольку между компонентами подготовки существуют внешние и внутренние связи, разрывать которые нельзя.

2. Принцип иерархичности, требующий подчинения частной цели иерархического уровня (этапа) общей конечной цели, ради которой создается управляемый процесс подготовки. Следовательно, должны быть разработаны и согласованы частные показатели и критерии, по которым можно контролировать и сравнивать достигнутые на этапах результаты.

3. Принцип структурности, в соответствии с которым устанавливается структура (морфология) процесса подготовки и определяются его составные части (элементы), а также формируются связи между этапами, т.е. необходимо увидеть место каждого этапа, оценить важность и значимость решаемых поэтапно задач подготовки.

4. Принцип историзма, в соответствии с которым при исследовании и обосновании методологии необходимо изучить ранее разработанные программно-методические документы, провести их анализ, дать их оценку, выявить главные недостающие для настоящего времени элементы, формирующие и корректирующие имеющуюся систему подготовки космонавтов. Методология определяется как единый комплекс (совокупность) общей идеи, принципов и положений, понятийного аппарата, методов, применяемых в процессе подготовки, а также показателей и критериев оценки результатов подготовки космонавтов.

Основываясь на накопленном опыте подготовки космонавтов, можно говорить о двух реально реализуемых направлениях (методах обучения), используемых в процессе подготовки.

М е т о д – это совокупность наиболее целесообразных способов и приемов, используемых для решения задачи подготовки.

Первый – это объяснительно-иллюстративный метод (информационно-рецептивный). Традиционно существующий в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина способ организации совместной деятельности специалиста по подготовке космонавтов и космонавта заключается в том, что информация космонавту сообщается в виде пересказа, лекции, объяснения, а также с использованием учебных пособий, наглядных схем и иллюстраций, презентаций и т.д.

Информационно-рецептивный метод – один из старейших способов передачи обобщенного и систематизированного опыта, знаний, накопленных человечеством, однако этот метод не обеспечивает необходимого уровня усвоения и, самое главное, не развивает творческого начала у космонавта.

Второй метод, используемый специалистами по подготовке космонавтов почти подсознательно, это репродуктивный метод обучения, когда в процессе подготовки ранее полученные космонавтами знания неоднократно воспроизводятся под руководством специалиста по подготовке на последующих этапах, и тогда репродуктивный метод также можно назвать инструктивно-репродуктивным методом. Репродуктивный метод обогащает космонавта умением и навыками, расширяя и закрепляя информационное поле знаний, но опять же, не гарантирует его творческого развития. Особенность этапа общекосмической подготовки состоит в аттестации обучаемых к профессиональной пригодности и дифференциации по полетным специальностям после базовой подготовки: космонавт-испытатель и космонавт-исследователь. Окончательное решение о специализации должно приниматься после самостоятельного освоения факультативных целенаправленных курсов в составе группы в рамках профессионально-ориентированной модели подготовки, построенной на основе многоступенчатой системы подготовки космонавтов.

Эта цель достигается другими методами подготовки, например, эвристическим или исследовательским методами.

Эвристический метод базируется на основе формирования новых знаний, получаемых в процессе рассмотрения проблемных вопросов, анализа интуиций, выдвижения гипотез, поиска путей и способов решения стоящих задач. Основным принципом и правилом достижения соответствующего уровня профессиональной подготовки является самостоятельная подготовка.

Соотношение часов занятий под руководством специалистов, проводящих подготовку космонавтов, к самостоятельной подготовке может быть равно как 1:2, тем самым на этапе в составе группы обеспечивается реализация принципов профессиональной направленности и индивидуализма. Космонавт в составе группы специализации и совершенствования кроме обязательных дисциплин должен, ориентируясь на перспективные функциональные обязанности (командир экипажа, бортинженер), освоить не менее 5–7 курсов (из расчета 100–120 часов на курс) по своему выбору в рамках полетной специализации. Оценка космонавту должна ставиться в основном за умение применять полученные знания, за умение формировать алгоритмы и способы решения задачи, анализировать и отстаивать (доказывать) полученные результаты.

Социальным заказом общества на современном этапе развития космонавтики и, тем более, на перспективу является новый тип космонавта-профессионала, способного решать многоплановые инженерно-технические и исследовательские задачи, обладающего готовностью к устойчивости в постоянно изменяющихся условиях как в мире технологий, так и мире информационных потоков, владеющего приобретенными

ми в процессе подготовки профессиональными знаниями, умениями и опытом во всех сферах космической деятельности, определенной характером функциональных обязанностей в полете.

В настоящее время подготовка космонавтов осуществляется по одной программе с уклоном на техническую подготовку, но с присвоением им квалификации «космонавт-испытатель» и «космонавт-исследователь».

Несмотря на то, что одним из основных видов деятельности космонавтов на борту МКС является выполнение программы НПИ, подготовка космонавтов к выполнению научной программы, а также планирование работ по проведению космических экспериментов (КЭ) осуществляются по остаточному принципу. Первоочередными являются работы, связанные с обеспечением безопасности экипажа и поддержанием МКС в работоспособном состоянии. С сентября 2009 года на борту МКС постоянно находятся три российских космонавта, одним из которых должен быть именно космонавт-исследователь «в чистом виде», на которого будет возложена ответственность за реализацию российской научной программы. При этом и другие российские космонавты также будут принимать участие в ее выполнении.

В связи с этим назрела необходимость проработать вопрос подготовки космонавта-исследователя как профессионала. Он должен быть не только исполнителем экспериментов, но и их постановщиком, обладать необходимой базой знаний, владеть методологией проведения научных исследований и экспериментов в космосе.

Задачи и функции, возлагаемые на космонавта-исследователя при организации его деятельности на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА), определяются, с одной стороны, полетным заданием на проведение программы НПИ в космосе, с другой – уровнем эргатичности процессов, протекающих при ее выполнении. Под уровнем эргатичности процесса экспериментально-исследовательских работ здесь понимается степень участия космонавта в реализации методики проведения космического эксперимента и в целом программы НПИ. Чем сложнее процессы взаимодействия исследователя с КЭ, проведение которого сопровождается использованием научной аппаратуры (НА), тем выше уровень эргатичности процесса экспериментально-исследовательских работ. Использование НА является одним из основных процессов в любой эргатической системе. Поэтому сложность функций космонавтов и характерные особенности их деятельности могут быть выявлены, прежде всего, на основе анализа аппаратурного обеспечения экспериментально-исследовательских работ, режимов работы НА, а также рассмотрения алгоритмов управления ею и анализа вопросов эксплуатации и ремонта.

Знания структуры деятельности космонавта позволяют:

– во-первых, по характеристикам операционных действий оценивать как качество деятельности оператора, отражающее уровень подготовки и профессиональную направленность, так и качество функционирования эргатической системы в целом (задача анализа);

– во-вторых, из элементов (операционных действий) создавать конструкции, обеспечивающие заданное качество деятельности космонавта путем выявления наиболее «слабых» элементов и рационального построения алгоритма (задача синтеза);

– в-третьих, знание структуры алгоритма деятельности космонавта открывает возможность методически грамотно построить систему подготовки космонавтов и сформировать программно-методические документы;

– проводить контроль за уровнем подготовленности космонавтов на основе численных характеристик.

Сложность и многообразие задач космических исследований (КИ) на борту ПКА требуют от космонавта-исследователя большого умственного и эмоционального напряжения, предварительной целенаправленной подготовки. Космонавт должен приобрести знания и закрепить необходимые навыки и умения по проведению исследований, и, в целом, задача проведения эксперимента должна решаться натренированным, высоко теоретически подготовленным космонавтом с меньшими затратами психо-эмоциональной энергии, поскольку данная задача решается в рамках программы длительного космического полета на фоне широкого спектра технических и физиологических процессов. Решение комплекса этих задач определяет необходимость поиска и правильного обоснования методов подготовки космонавта к профессиональной деятельности как исследователя и открывает возможность на этапах общекосмической подготовки и в составе группы специализации и совершенствования выбирать из состава кандидатов наиболее подготовленных исследователей, т.е. тех, кто в процессе подготовки хорошо усвоил методологические основы экспериментальных исследований и приобрел навыки в проведении экспериментальных работ. Отметим, что навык – один из критериев оценки подготовки. Это осознанная деятельность космонавта, доведенная до известной степени совершенства и автоматизма, выполняемая легко (без психо-эмоциональной напряженности), точно (т.е. при минимуме ошибок), экономно (например, при минимуме расхода рабочего тела, энергии и т.д.) и эффективно, т.е. позволяющая получить хороший количественно-качественный результат.

Для начинающих исследователей, какими являются кандидаты в космонавты, в первую очередь очень важно на этапе ОКП получить представление о методологии проведения исследований и экспериментов. Опыт отбора кандидатов в космонавты показывает, что им, прежде всего, недостает базового опыта, понятий и знаний в организации работ на борту ПКА. Как правило, кандидаты в космонавты не владеют методами научного познания и применения логических законов и правил, формирующих космонавта как исследователя. Здесь можно и нужно определить базовые методологические подходы к подготовке космонавта-исследователя, которые назовем «изучением КЭ в научном смысле». Современное научно-теоретическое мышление стремится проникнуть в сущность изучаемых явлений и процессов. Изучать в научном смысле – это значит изучить ранее накопленный опыт, проводить научное сопровождение и тем самым проводить подготовку, как бы заглядывая в будущее на основе продуманного прогноза. При проведении КЭ важно все. Концентрируя внимание при подготовке космонавтов на основных или ключевых вопросах темы, нельзя не учитывать так называемые косвенные факторы, поскольку КЭ является исследованием многофакторным.

Успешность выполнения КЭ в наибольшей степени зависит от умения космонавта применить наиболее рациональные методы исследования, поскольку именно они позволяют достичь поставленной в эксперименте цели. Большинство КЭ (и даже отдельные этапы их проведения) требуют применения специальных методов решения и, соответственно, подготовленности космонавтов. Поэтому они должны разрабатываться, изучаться и совершенствоваться применительно к конкретному этапу подготовки на основе специальных (частных) программ и методик, базирующихся на методах эмпирического исследования (т.е. наблюдения, сравнения, измерения) в эксперименте. Таким образом, на этапе ОКП и в составе

группы специализации и совершенствования космонавт должен усвоить и приобрести навыки по данному методологическому процессу проведения исследований.

Наблюдение представляет собой активный познавательный процесс, опирающийся, прежде всего, на работу органов чувств космонавта. Это наиболее элементарный метод, выступающий, как правило, в качестве одного из элементов в составе других эмпирических методов, базирующихся на планомерности, целенаправленности, активности и систематичности алгоритма деятельности космонавта-исследователя.

Сравнение – один из наиболее распространенных методов реализации КЭ в полете. Недаром говорится, что «все познается в сравнении». В результате подготовки космонавт-исследователь должен получить информацию по наиболее важным, существенным признакам проводимых исследований.

Измерение, в отличие от сравнения, является более точным методом реализации процесса исследований. Измерение – есть процедура определения численного значения некоторой величины, параметра, характеристики объекта исследований. Важнейшим показателем качества измерения, его научной ценности является точность, которая зависит от уровня подготовки космонавта, от применяемых им методов, освоенных в процессе поэтапной подготовки и овладения эксплуатационными навыками использования научной аппаратуры. Космический эксперимент является итогом труда широкого круга специалистов и должен быть выполнен в рамках определенного спектра ограничений (временных, финансовых, технических и т.д.) узким кругом исполнителей, т.е. космонавтами-исследователями.

Исходя из вышеизложенных методологических подходов в общей схеме научного проведения экспериментальных исследований в космическом полете, можно говорить об этапности подготовки космонавтов и процессе отбора кандидатов в космонавты.

Известно, что качество овладения необходимыми знаниями, навыками и умениями у разных людей различаются в зависимости от уровня их способностей.

Поэтому, исходя из изложенного выше характера особенностей деятельности космонавта-исследователя, определения требований к квалификации, можно говорить о целенаправленном отборе как кандидатов в космонавты, так и о формировании контингента космонавтов-исследователей (после прохождения подготовки на ОКП и в составе группы).

Подразделение отряда космонавтов (для экспериментальных исследований) должно формироваться специалистами, склонными к экспериментально-исследовательской работе, профессиональная деятельность которых к моменту набора связана с исследовательскими, испытательными учреждениями и организациями авиационной, ракетно-космической, научной и др. направленностями. При этом очень важно, чтобы кандидаты в космонавты имели одно из базовых высших образований по специальностям, близким к профессиональной деятельности космонавта-исследователя. Перечисленные выше требования позволяют закладывать, во-первых, принцип «стартовых» (фундаментальных) знаний, во-вторых, принцип индивидуальности – отбор по результатам «входного контроля». При удовлетворении требований такой концепции к отбору представляется возможным, во-первых, основное усилие по подготовке кандидатов в космонавты сконцентрировать на практическом изучении и освоении базового ПКА, его бортовых систем, основ решения задач космического полета, эксплуатации и использования бортового научного оборудования, методологии решения проблем науки и экономики,

технологии и т.д., и, во-вторых, интенсифицировать и существенно повысить эффективность подготовки в рамках отведенных временных ограничений подготовки на этапе ОКП.

В соответствии с таким подходом цель ОКП представляется целесообразным сформулировать следующим образом: формирование у кандидатов в космонавты системы базовых знаний для последующей научно-практической деятельности и приобретение на ее основе общих (типовых) операторских навыков, свойственных той или иной космической специализации.

Одно из основных отличий квалифицированного космонавта-исследователя от квалифицированного члена экипажа состоит в том, что первый не только обладает определенным уровнем знаний, умений и навыков, но и, в самом широком смысле, способен реализовать их при проведении космических исследований, т.е. космонавт-исследователь помимо перечисленных профессиональных качеств должен обладать развитым творческим потенциалом, информационным кругозором, быть «мобильным» в широком смысле этого слова.

Очевидно, что большинство из указанных особенностей не являются неизменными. Существует реальная возможность их формирования и развития в процессе профессиональной подготовки по мере приобретения знаний и умений, а также приобретения практического опыта проведения экспериментальных исследований.

Проходя поэтапную подготовку, космонавты-исследователи должны усвоить логическую схему организации и проведения исследований:

- понять актуальность проводимого КЭ;
- усвоить цели и конкретные задачи исследования;
- иметь полное представление о методике и алгоритме проведения процесса исследования;
- уметь оценить, с точки зрения эксперта, полученные результаты.

В ходе подготовки должны быть усвоены все понятия, относящиеся к КЭ. Их суждения должны носить однозначный характер, исключающий двусмысленность и неопределенность. Космонавт-исследователь должен в большей степени ориентироваться на освоение методик проведения исследований, изучение научной и специальной аппаратуры, должен обладать свойством адаптации к конкретному типу ПКА. В силу этого можно выделить три уровня подготовленности космонавта.

В ы с о к и й у р о в е н ь – глубокое знание программ научных исследований, научной аппаратуры, бортовой документации по эксплуатации научной аппаратуры в штатных и нештатных ситуациях, методов выполнения экспериментально-исследовательских работ и оценки полученных результатов. Данный уровень предполагает минимальное привлечение к выполнению КЭ других членов экипажа, а также автономность проведения исследований без или при минимуме связи с ЦУПом.

С р е д н и й у р о в е н ь – решение задач при взаимодействии с космонавтом-исследователем и ЦУПом. Этот уровень должен обеспечить знание научной аппаратуры в целом, принципы работы системы, правил эксплуатации, методов ее применения и обеспечение безопасности экипажа.

У р о в е н ь о п е р а т о р а – решение задач экспериментальных исследований под руководством других членов экипажа (командира экипажа и космонавта-исследователя). Данный уровень подготовки может оцениваться знаниями

научной аппаратуры, принципов работы, размещения пультов управления и оборудования, общей программы проводимых исследований.

Дифференцированный подход к профессиональному уровню подготовки позволяет более рационально подойти к распределению временного ресурса подготовки космонавта, сделать интегрально экипаж более компетентным в широкой области полетной деятельности и, тем самым, повысить эффективность и результативность проводимых экспериментов и исследований.

Такой подход особенно целесообразен и должен реализовываться для космических исследований в ходе выполнения перспективных программ НПИ и, особенно, на пилотируемом транспортном корабле нового поколения при реализации автономных полетов, в том числе и полетов к Луне.

Итак, программно-методическое и организационно-плановое обеспечение подготовки космонавтов-исследователей на всех этапах должно осуществляться с учетом:

- установленных особенностей деятельности космонавтов-исследователей и распределения функциональных обязанностей в составе экипажа;
- органической увязки подготовки по программе НПИ с ожидаемыми результатами проведения экспериментальных исследований на фоне реализации полетной программы в целом;
- конкретизации цели подготовки на каждом этапе, т.е. соблюдая основные принципы педагогической науки при жестком контроле выполнения и отчетности за программу подготовки;
- выполнения требования принципа единоначалия при реализации КЭ: космонавт-исследователь – ведущий по КЭ, члены экипажа – помощники;
- организации подготовки космонавтов-исследователей на фоне активного участия их в сопровождении разработок, создании и отработке научной аппаратуры, методик применения и реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, нацеленных на проведение перспективных программ НПИ.

Таким образом, будущий космонавт-исследователь должен получить методологические основы организации и проведения экспериментальных исследований в космическом полете.

Концептуальность методологического подхода в процессе подготовки космонавта обозначается достаточно отчетливо и заявляется (утверждается) как главная цель – усилить практическую ориентацию подготовки космонавтов, выйдя за пределы ее технической направленности, шагнув в область исследовательского пространства. Следовательно, профессионализм космонавта можно определять как сформированное в процессе подготовки космонавта интегральное свойство личности, характеризующее стремление и способность (готовность) космонавта реализовать свой потенциал для успешной профессиональной деятельности в процессе реализации программы полета.

Сегодня следует рассматривать космонавта не в системе «человек–космическая техника», а в расширенном варианте «космонавт–космическая техника–информация», что требует поиска и использования новых методологических принципов подготовки космонавтов в качестве исследователей.

Представленный подход к системе отбора и подготовки космонавтов позволил установить, что развитие и совершенствование методологии подготовки космонавтов нацелено на повышение ее интенсивности и эффективности с тем, чтобы в отведенные сроки, в условиях, максимально приближенных к реализации

полетной программы, готовить высококвалифицированных кандидатов на космический полет, способных успешно решать широкий круг задач.

В заключение отметим, что основными руководящими документами, обеспечивающими системный принцип управления качеством подготовки космонавтов, должны быть Государственный стандарт на подготовку космонавтов, Руководство и программно-методическое обеспечение по подготовке космонавтов.

Государственный стандарт на подготовку космонавтов предусматривает постоянный поиск новых эффективных форм и методов ведения подготовки космонавтов, а сам поиск должен быть динамичным и сочетать научное начало с потребностями практики подготовки к космическому полету.

ОРБИТАЛЬНОЕ МАНЕВРИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ

А.Т. Митин, А.А. Митина

Канд. техн. наук А.Т. Митин; канд. техн. наук А.А. Митина (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются вопросы маневрирования космических аппаратов, энергетические затраты, требуемые на выполнение маневров, обеспечивающих обслуживание и ремонт искусственных спутников Земли.

Ключевые слова: орбитальный маневр, управляющий импульс скорости достижения заданной орбиты, управляющий импульс скорости выравнивания скорости движения космических аппаратов, угол некомпланарности орбит.

Orbital Maneuvering of Space Objects During Technical Maintenance and Repair of an Earth Artificial Satellite. A.T. Mitin, A.A. Mitina

The article considers the issues of spacecraft maneuvering, energy consumption which is required for performance of maneuvers which support technical maintenance and repair of Earth artificial satellites.

Key words: orbital maneuver, control burn of intended orbit attainment speed, control burn of spacecraft motion speed equalization speed, orbit noncoplanarity angle.

Содержание и порядок выполнения орбитальных маневров

Орбитальные маневры космического аппарата (КА) при ремонте и обслуживании искусственного спутника Земли (ИСЗ) включают:

- маневры обеспечения компланарности орбит КА и обслуживаемого ИСЗ;
- маневры КА достижения орбиты обслуживаемого ИСЗ;
- маневры выравнивания скоростей движения КА и ИСЗ в точке их встречи;
- маневры причаливания, стыковки и перестыковки КА с обслуживаемым ИСЗ.

После выполнения ремонта или обслуживания ИСЗ маневры КА в свой состав включают:

- маневры расстыковки КА с ИСЗ;
- маневры схода КА с орбиты ИСЗ для возвращения на Землю или дежурную орбиту.

Опыт выполнения операций сближения космических аппаратов показывает, что основными затратами рабочего тела на выполнение орбитальных маневров КА являются маневры обеспечения компланарности их орбит. Управляющие импульсы скорости на выполнение маневров этого вида определяются размерами и формой орбит КА и ИСЗ, точкой приложения управляющего импульса скорости при маневрировании и углом некомпланарности орбит КА и ИСЗ и определяются выражением

$$\Delta V = 2 \cdot \sqrt{\frac{K}{P}} \cdot (1 + e \cdot \cos \nu) \cdot \sin \frac{\gamma}{2},$$

где K – гравитационный параметр Земли ($K = 3,98610^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$);

P – фокальный параметр орбиты КА;

e – эксцентриситет орбиты КА;

γ – угол некомпланарности орбит;

ν – истинная аномалия точки приложения управляющего импульса скорости.

В связи с тем, что обслуживаемые ИСЗ функционируют на орбитах, наклонения которых практически не изменяются с течением времени, а их прямые восхождения восходящих узлов вследствие прецессии плоскости орбиты изменяют свое значение, то в этом случае некомпланарность орбит с течением времени может достигать величины 180° . При этой некомпланарности орбит величина управляющего импульса скорости для совмещения плоскостей орбит КА и ИСЗ будет равна удвоенному произведению тангенциальной составляющей скорости движения КА в точке приложения управляющего импульса скорости. Для круговых орбит высотой 500 км эта величина управляющего импульса скорости составит $15,2 \text{ км/с}$. Для высокоэллиптических орбит (высотой в перигее 500 км и апогее $40\,000 \text{ км}$), если приложить управляющий импульс скорости в перигее орбиты, то для поворота плоскости орбиты на угол 180° потребуется управляющий импульс скорости, равный $19,6 \text{ км/с}$, а в апогее – $3,5 \text{ км/с}$. Из приведенного примера видно, что при приложении управляющего импульса скорости в апогее орбиты, величина импульса скорости, обеспечивающая поворот плоскости орбиты на заданный угол, меньше в $5,6$ раза, чем если бы он был выдан в перигее орбиты. При уменьшении эксцентриситета орбиты это отношение управляющих импульсов скоростей, приложенных в перигее и апогее орбиты, уменьшается. У пилотируемых космических аппаратов ($e < 0,06$) оно не превышает $1,13$. Для поворота плоскости круговой орбиты на угол 60° требуется боковой управляющий импульс скорости, равный первой космической скорости на соответствующей высоте полета КА.

Следует отметить, что максимальные затраты рабочего тела на совершение маневра поворота плоскости орбиты КА для обслуживания ИСЗ имеют место, когда восходящие узлы орбит КА и обслуживаемого ИСЗ разнесены на угол 180° . При этом угол некомпланарности равен сумме наклонений их орбит. Минимальные затраты рабочего тела для совершения маневра перехода КА на орбиту обслуживаемого ИСЗ имеют место при совпадении восходящих узлов их орбит. При этом угол некомпланарности орбит будет равен разности наклонения орбит ИСЗ и КА.

Из результатов исследования видно, что поворот плоскости орбиты КА для обслуживания ИСЗ требует больших затрат энергии. Поэтому в настоящее время обслуживание ИСЗ космическими аппаратами, функционирующими на дежурных орбитах, имеет ограниченное применение.

В целях сокращения затрат рабочего тела КА для выполнения обслуживания ИСЗ можно использовать способ дежурства КА на космодроме. Этот способ имеет две разновидности: прямой выход КА в точку встречи с ИСЗ на его орбите и выход КА на орбиту ИСЗ с промежуточной орбиты ожидания.

При прямом способе выхода КА на орбиту ИСЗ условия компланарности их орбит возможны через несколько суток. Кроме того, прямой выход КА на орбиту обслуживаемого ИСЗ должен удовлетворять целому ряду ограничений, таких как

кратность периодов их обращения по орбитам, запуск КА в определенный момент времени суток и другие. Чтобы снять накладываемые ограничения, в настоящее время применяют способ обслуживания ИСЗ с использованием орбиты ожидания. В этом случае КА из положения дежурства на космодроме выводится на орбиту ожидания, плоскость орбиты которой в общем случае не совпадает с плоскостью орбиты ИСЗ. Угол некомпланарности зависит от времени ожидания КА на орбите ожидания и разности угловых скоростей прецессии плоскостей орбит КА и ИСЗ. Но к моменту выдачи управляющего импульса скорости достижения орбиты ИСЗ плоскости орбит КА и ИСЗ должны быть компланарны. Время его вывода на орбиту определяется ориентацией плоскости орбиты ИСЗ в пространстве и географическими координатами космодрома запуска. Московское время вывода КА определяется выражением:

$$T_N = \frac{\Omega + \arccos(\operatorname{ctg} i \cdot \operatorname{tg} \varphi) - \lambda - S_o}{\omega_3} + N + D,$$

где Ω – прямое восхождение восходящего узла орбиты ИСЗ;

i – наклонение орбиты ИСЗ;

φ – широта точки старта КА;

λ – долгота точки старта КА;

S_o – гринвичское звездное время в полночь гражданского гринвичского времени;

ω_3 – угловая скорость вращения Земли;

N – номер часового пояса;

D – декретное время.

Такие запуски КА возможны каждые сутки. При наклонениях орбиты ИСЗ $i < 90$ градусов эта периодичность меньше суток на величину 20–25 минут, при наклонениях орбит 90 градусов – ровно через звездные сутки, а больше 90 градусов – на 20–25 минут больше звездных суток.

В качестве орбиты ожидания используется круговая орбита КА, расположенная внутри орбиты ИСЗ. Переход КА с орбиты ожидания на орбиту ИСЗ выполняется по переходной эллиптической орбите, которая своими апсидальными точками касается орбит КА и ИСЗ. В точке касания орбиты ожидания КА в определенный момент времени выдается тангенциальный управляющий импульс скорости достижения орбиты ИСЗ. Время выдачи управляющего импульса скорости зависит от взаимного положения КА и ИСЗ на своих орбитах, размеров орбит и для двухимпульсного маневра перехода определяется выражением:

$$t = t_i + \frac{1}{360^\circ} \cdot \left[\Phi_i - 180^\circ \cdot \left(1 - \frac{T_D}{T_C} \right) \right] \cdot \frac{T_C \cdot T_T}{T_C - T_T},$$

где t_i – время вывода КА на орбиту ожидания;

Φ_i – исходное взаимное положение КА и ИСЗ на орбитах в момент вывода КА на орбиту ожидания;

T_{II} – период обращения КА на переходной орбите;

T_C – период обращения ИСЗ на исходной орбите;

T_T – период обращения КА на орбите ожидания.

Величина управляющего импульса скорости достижения орбиты ИСЗ рассчитывается с помощью соотношения

$$\Delta V_1 = \sqrt{\frac{K}{r_1}} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot r_2}{r_1 + r_2}} - 1 \right),$$

а управляющего импульса скорости выравнивания скоростей движения КА и ИСЗ

$$\Delta V_2 = \sqrt{\frac{K}{r_2}} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot r_1}{r_1 + r_2}} \right),$$

где r_1 – радиус-вектор круговой орбиты КА;

r_2 – радиус-вектор круговой орбиты ИСЗ.

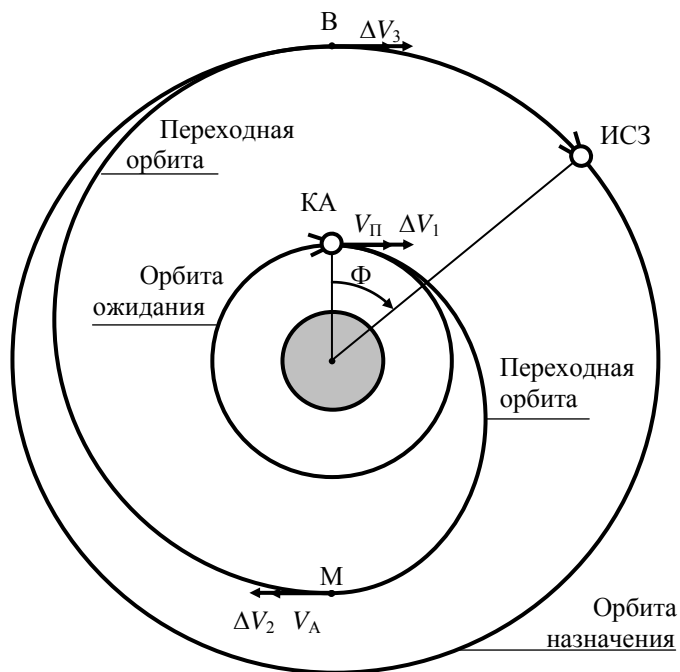


Рис. 1. Трехимпульсная схема перехода с орбиты космического аппарата на орбиту искусственного спутника Земли

Кроме двухимпульсной переходной схемы в некоторых случаях возможна и трехимпульсная схема перехода КА на орбиту ИСЗ. В последнем случае переходная орбита представляет собой две сопряженные между собой полуэллиптические орбиты (рис. 1). Их точками сопряжения являются для внутренней орбиты апогей, а для внешней – перигей. Здесь уместно отметить, что с энергетической точки зрения приложение управляющего импульса скорости в апогее орбиты является невыгодным.

В процессе полета по переходным орбитам КА выполняют маневры по коррекции своей траекторий движения. Необходимость таких маневров вызвана ошибками перехода с орбиты ожидания на переходные орбиты.

В точке ожидаемой встречи КА с ИСЗ начинается второй этап сближения, который состоит из грубого и точного наведения. При грубом наведении КА сообщается управляющий импульс скорости для выравнивания скоростей движения КА и ИСЗ, который зависит от размеров переходной орбиты и орбиты ИСЗ и форм этих орбит. Назначение точного наведения состоит в том, чтобы обеспечить сближение КА с ИСЗ с безопасной скоростью.

В общем случае переход КА с круговой орбиты ожидания высотой 300 км на круговые орбиты ИСЗ высотами 1000 км и 2000 км характеризуется затратами характеристической скорости 0,3 км/с и 0,8 км/с соответственно. Сравнивая эти управляющие импульсы скорости с управляющими импульсами скорости при дежурстве КА на орбите (15,2 км/с) можно сделать вывод, что дежурство КА на космодроме в экономическом отношении значительно выгоднее, чем дежурство в космосе.

Затраты управляющих импульсов скорости при решении задач технического обслуживания и ремонта ИСЗ космическими аппаратами находящимися в положении дежурства на космодроме характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Высота полета Н, км	500	1000	1500	2000
Управляющий импульс скорости ΔV , м/с	265	580	900	1300

Исследования показывают, что затраты управляющих импульсов скорости на обслуживание и ремонт ИСЗ космическими аппаратами из положения дежурства на космодроме в общем случае значительно меньше чем из положения нахождения их на орбите.

После выполнения обслуживания или ремонта ИСЗ КА возвращается на Землю. Возврат на поверхность Земли осуществляется тормозным импульсом скорости. Величина тормозного импульса скорости определяется высотой полета КА, формой его орбиты, углом входа КА в атмосферу, механическими и тепловыми перегрузками. Время выдачи тормозного импульса скорости определяется ориентацией орбиты в пространстве, местом посадки КА и высотой полета. Наиболее приемлемой траекторией снижения КА с высоты полета 300–500 км является эллиптическая траектория, перигей которой находится ниже поверхности Земли на 10 км. Такая траектория снижения обеспечивает угол траектории входа КА в атмосферу Земли минус 2 градуса к плоскости местного горизонта. При таком угле входа максимальные механические перегрузки не превышают 7–8 единиц. В табл. 2 приведены величины тормозных импульсов скорости схода КА с круговых орбит в зависимости от высоты этих орбит.

Таблица 2

Высота полета H , км	500	1000	1500	2000
Тормозной импульс скорости ΔV , м/с	148	275	388	488

Особенности обеспечения орбитальных маневров при использовании космических аппаратов в качестве орбитального центра обслуживания

Навигационные, метеорологические, поисково-спасательные и другие космические системы в свой состав включают космическую группировку, функционирующую на околополярных орбитах ($i = 80\text{--}120^\circ$), на орбитах со средним наклоном ($i = 50\text{--}60^\circ$) и экваториальных орбитах. Космическая группировка этих систем распределена по закону равной плотности. При этом можно считать, что восходящие узлы орбит космических группировок распределены в пространстве симметрично. Например, навигационные космические системы «ГЛОНАСС» и GPS в свой состав включают около 30 ИСЗ, размещенных на трех орбитах с наклоном $i = 60^\circ$ с разностью прямых восхождений восходящих узлов, равной $\Delta\Omega = 120^\circ$, и высотой полета – около 20 000 км. Для обслуживания такой системы ИСЗ целесообразно иметь три орбитальные группировки космических аппаратов, функционирующих на круговых орбитах высотой 500–700 км, с наклоном 60° и прямыми восхождениями восходящих узлов их орбит, равными восходящим узлам орбит, на которых размещены навигационные спутники. Такие КА будут выполнять обслуживание навигационных ИСЗ с минимальными затратами энергии. Управляющие импульсы скорости достижения орбиты ИСЗ и выравнивания скоростей движения навигационного ИСЗ и обслуживаемого КА приведены в табл. 3.

Таблица 3

Управляющие импульсы скорости ΔV , км/с	Высота орбиты ожидания КА H , км		
	300	500	1000
Достижения орбиты ИСЗ	2,04	1,98	1,84
Выравнивания скоростей движения	1,42	1,39	1,32

Как видно из таблицы, затраты управляющих импульсов скорости при обслуживании навигационных ИСЗ космическими аппаратами находятся в пределах 3,16–3,42 км/с, если плоскость орбиты КА совпадает с плоскостью орбиты навигационной группировки ИСЗ.

При использовании только одного космического аппарата для обслуживания всей навигационной группировки ИСЗ потребуется, кроме двух тангенциальных управляющих импульсов, еще боковой управляющий импульс скорости большой величины (4,75 км/с). Величина этого импульса определяется размерами переходной орбиты, ее формой, положением точки орбиты, в которой прикладывается управляющий импульс скорости для поворота плоскости орбиты и углом некомпланарности орбит КА и ИСЗ (рис. 2). Угол некомпланарности плоскостей орбит КА и ИСЗ определяется выражением

$$\gamma = \arccos[\cos i_1 \cdot \cos i_2 + \sin i_1 \cdot \sin i_2 \cdot \cos(\Omega_2 - \Omega_1)],$$

где i_1, i_2 – наклонения орбит ИСЗ и КА соответственно;

Ω_1, Ω_2 – прямые восхождения восходящих узлов орбит ИСЗ и КА соответственно.

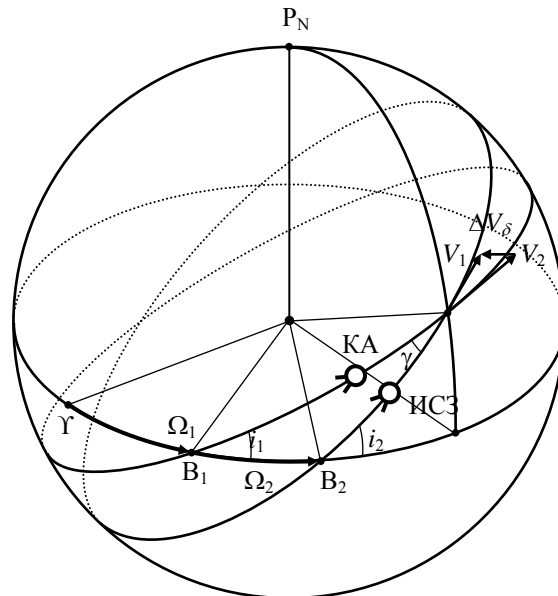


Рис. 2. Определение угла γ между плоскостями орбит космического аппарата и искусственного спутника Земли

В табл. 4 приведены величины боковых управляющих импульсов скорости для высоты полета КА, равной 300 км, эксцентриситета переходной орбиты $e = 0,611$ и истинной аномалии точки приложения бокового управляющего импульса скорости, равной $\nu = 180^\circ$.

Таблица 4

Угол между плоскостями орбит КА и ИСЗ γ , град	5	10	25	50	75	120	180
Управляющий импульс скорости ΔV , км/с	0,21	0,41	0,88	2,13	2,91	4,12	4,75

Как видно из таблицы, величина бокового управляющего импульса скорости может превышать в 1,5 раза тангенциальные импульсы скорости, необходимые для обслуживания ИСЗ. С учетом величины бокового управляющего импульса скорости потребная величина характеристической скорости для обслуживания ИСЗ может составить величину более 8 км/с вместо 3,3 км/с при использовании трех КА.

При наклонении орбиты КА, равной $i = 51^\circ$, величина бокового управляющего импульса скорости может изменяться в пределах $0,37\text{--}3,92 \text{ км/с}$, а при наклонении орбиты КА $i = 73^\circ$ – от $0,54$ до $4,36 \text{ км/с}$. С учетом импульсов скорости достижения орбиты ИСЗ и выравнивания скоростей движения КА и ИСЗ потребные затраты характеристической скорости для обслуживания ИСЗ составят $3,53\text{--}7,01 \text{ км/с}$ и $3,7\text{--}7,52 \text{ км/с}$ для наклонения орбиты КА 51° и 73° соответственно.

Из результатов анализа затрат управляющих импульсов скорости следует, что для обслуживания навигационных ИСЗ, функционирующих на орбитах с наклонением 60° , целесообразно использовать три КА, функционирующих на трех орбитах с наклонением 60° , и прямыми восхождениями восходящих узлов, разнесенными на угол, равный 120° . При этом восходящие узлы орбит КА должны совпадать с восходящими узлами плоскостей орбит, на которых расположены навигационные спутники.

На экваториальных орбитах функционирует большое число ИСЗ. Для обслуживания этих систем могут быть использованы КА, функционирующие на орбитах с различными наклонениями. При этом управляющие импульсы скорости для обслуживания ИСЗ делятся на боковые импульсы скорости ΔV_2 , (рис. 3), импульсы скорости достижения орбиты ИСЗ ΔV_1 , импульсы скорости выравнивания скоростей движения ИСЗ и КА и импульсы скорости причаливания и стыковки.

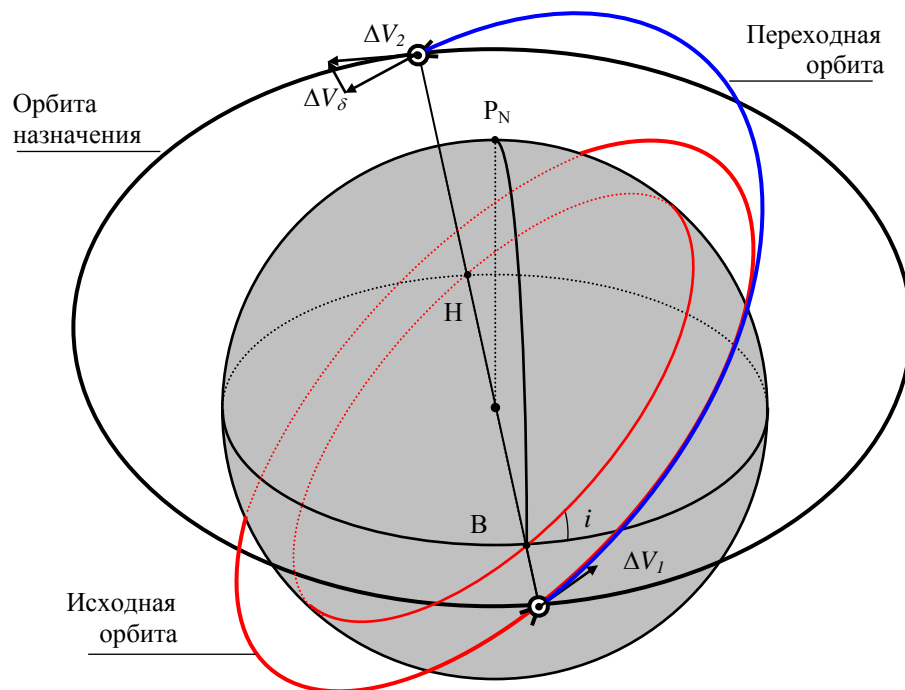


Рис. 3. Переход космического аппарата с произвольной орбиты на стационарную орбиту

Боковой импульс скорости определяется фокальным параметром переходной орбиты, эксцентриситетом переходной орбиты, истинной аномалией точки приложения импульса скорости и углом между плоскостями орбит КА и ИСЗ. Минимальное значение бокового импульса скорости будет в том случае, если он прикладывается в апогее переходной орбиты. При обслуживании ИСЗ, функционирующих на экваториальных орбитах, угол между плоскостями орбит ИСЗ и КА равен наклонению орбиты и не зависит от положения восходящего узла орбиты КА. В табл. 5 приведены значения бокового импульса скорости ($км/с$), необходимого для поворота плоскости орбиты КА до совпадения с плоскостью ИСЗ.

Таблица 5

Наклонение орбиты i , град	Высота орбиты ожидания КА H , км		
	300	500	1000
51	1,33	1,39	1,43
70	1,79	1,88	1,94

Как видно из таблицы, затраты управляющих импульсов скорости на поворот плоскости орбиты КА при наклонении 70° больше, чем при наклонении 50° .

Величина управляющих импульсов скорости достижения орбиты ИСЗ, функционирующих на экваториальных орбитах, и выравнивания скоростей движения ИСЗ и КА, определяется размерами переходной орбиты и не зависит от ее ориентации в пространстве. В табл. 6 приведены величины управляющих импульсов скорости достижения орбиты ИСЗ и выравнивания скоростей движения при переходе с орбиты ожидания КА на экваториальную орбиту ИСЗ.

Таблица 6

Управляющий импульс скорости ΔV , км/с	Высота орбиты ожидания КА H , км		
	300	500	1000
Достижения орбиты ИСЗ	2,41	2,37	2,24
Выравнивания скоростей движения КА и ИСЗ	1,46	1,44	1,34

Из табл. 5 и 6 следует, что КА, функционирующие на орбитах с наклонением 51° , в энергетическом отношении являются экономичнее КА, функционирующих на орбитах с наклонением 70° .

Для метеорологического, поисково-спасательного, геодезического и других видов обеспечения созданы космические системы с ИСЗ, функционирующими на околополярных орбитах высотой 1000–2000 км. Число ИСЗ, входящих в эти системы, как правило, не превышает 4–5 единиц. Можно считать, что ИСЗ этих систем в пространстве размещены по закону равной плотности. Поэтому дать какие-либо рекомендации по размещению КА в пространстве с целью обслуживания ИСЗ, входящих в эти системы, не представляется возможным. Будем считать, что положение плоскостей орбит этих ИСЗ по отношению к плоскости орбиты КА равновероятно прямым восхождениям восходящих узлов орбит в пределах $0-180^\circ$.

В этих системах, как и в системах с ИСЗ на стационарной орбите, для маневрирования используются три импульса скорости: боковой управляющий им-

пульс скорости, импульс достижения орбиты ИСЗ и импульс выравнивания скоростей движения. Наряду с этими импульсами используются импульсы причаливания и стыковки. Последние два импульса по своей величине не превышают 15 м/с. В этих системах угол между плоскостями орбит КА и ИСЗ может принимать значение, лежащее в пределах, равных разности и суммы наклонов этих орбит. Поэтому боковой управляющий импульс скорости может достигать значительных величин от 3,29 до 11,47 км/с. Управляющие импульсы скорости достижения орбиты ИСЗ и выравнивания скоростей движения ИСЗ и КА находятся в пределах 0,402–0,425 км/с. Анализ функционирования таких систем показывает, что использование КА из положения дежурства на орбите при обслуживании космических систем с ИСЗ, выполняющих полет на малых высотах, в экономическом отношении нецелесообразно.

Таким образом, можно отметить, что:

– для обслуживания ИСЗ космических систем (метеорологических, поисково-спасательных, геодезических, навигационных и других) на околополярных и полярных орбитах малой высоты с энергетической точки зрения целесообразно использовать КА из положения дежурства на космодроме. Этот способ обеспечения полетов ИСЗ требует наименьших затрат рабочего тела КА и имеет достаточно высокую оперативность;

– искусственные спутники Земли, размещенные в одной плоскости, целесообразно обслуживать КА, плоскость орбиты которого совпадает с плоскостью орбит ИСЗ. При этом космический аппарат должен выполнять полет на высоте, совпадающей с высотой полета обслуживаемого ИСЗ или ниже. Этот способ обслуживания ИСЗ из положения дежурства на орбите КА не требует боковых управляющих импульсов скорости, что в энергетическом отношении является выгодным;

– для обслуживания ИСЗ на стационарной орбите в энергетическом отношении целесообразно использовать космические аппараты, функционирующие на орбитах с малыми наклонами орбит (близких к экваториальным).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Климук П.И., Митина А.А., Митин А.Т. Навигация и баллистика пилотируемых космических аппаратов. – Звездный городок, 2002. – 406 с.
- [2] Крючков Б.И. Техническое обслуживание и ремонт в космосе. – Звездный городок, 2010. – 257 с.
- [3] Митин А.Т., Митина А.А. Основы навигации пилотируемых космических аппаратов. – Звездный городок, 2006. – 280 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

В.М. Баранов, М.В. Баранов

В.М. Баранов, М.В. Баранов (Учреждение Российской академии медицинских наук Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии РАМН)

На основе анализа результатов медико-биологических исследований в космосе за последние полвека и опыта медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов ставится вопрос о необходимости расширения экспериментальных работ по изучению особенностей патологических процессов в условиях микрогравитации. Выбор адекватных наземных моделей факторов космического полета, включая невесомость, и моделей возможных заболеваний является одной из главных задач будущих исследований. Результаты ранее выполненных работ по данному направлению свидетельствуют о его целесообразности и перспективности.

Ключевые слова: длительные космические полеты, экспериментально-клиническая медицина, особенности патологических процессов.

Perspectives of Development of Space Experimental-Clinical Medicine.

V.M. Baranov, M.V. Baranov

Basing on analysis of results of biomedical researches in space during the last fifty years and experience of medical support of manned spaceflights, we may raise the question: Is it necessary to extend experimental works on studying the peculiarities of pathological processes in microgravity conditions? Choosing the adequate models of space flight factors, including weightlessness, and choosing the models of possible deceases are the main tasks of future researches. Results of accomplished works in this field witness about its practicability and perspective.

Key words: long-duration space flights, experimental-clinical medicine, peculiarities of pathological processes.

Говоря о будущем космической клинической медицины, то есть медицины, главной задачей которой является предупреждение возникновения заболеваний на борту космического корабля и восстановление в кратчайший срок здоровья и работоспособности заболевшего, интересно обратиться к материалам исследований поведенческих, психологических, физиологических и медицинских факторов пилотируемого космического полета продолжительностью до двух лет, выполненных американскими учеными при содействии Комитета по научным вопросам, связанным с освоением космического пространства, еще в 1967–1968 годах [1]. Несмотря на то, что авторы использовали материал, накопленный до 1971 года, и на основе его анализа делали свои выводы и рекомендации, многие проблемы, связанные с медицинским обеспечением длительных космических миссий, не только не потеряли свою актуальность, но и приобретают еще большую роль с учетом планов по освоению космического пространства. Например, все исследователи указанного выше проекта отмечали, что «медицинские проблемы, которые могут возникнуть при длительном космическом полете, принципиально не отличаются от тех, которые приходится решать в земных условиях, и потому здесь вполне применимы традиционные принципы и методы». Вместе с тем отмечалось, что «космическая среда не только требует приспособления обычных диагностических и терапевтических приемов к условиям невесомости и ограниченного пространства, но также может повлиять на течение некоторых заболеваний и на эф-

фективность их лечения». Этот тезис убедительно подтвержден практикой медицинского обеспечения космических полетов (до 438 суток) на орбитальных станциях [2].

Несмотря на то, что информация о процессах лечения заболеваний в космическом полете по ряду причин достаточно скудна, имеются отдельные свидетельства о проявлении болезненных состояний в атипичном виде. Так, реакции пациента на лечение могут зависеть от изменения его реакции на лекарственные препараты в условиях невесомости. Отдельные препараты, использованные на орбите, не производят того же действия, которое наблюдалось на Земле [3]. Физиологическая реакция на микрогравитацию отражается и на фармакокинетики [4, 5]. Имеются сообщения о более медленном заживлении небольших травм (порезы, царапины) в невесомости по сравнению с Землей. Биологические исследования в космосе свидетельствуют о возможных проблемах с лечением перелома костей, особенно несущих весовую нагрузку, если процесс ремоделирования, который обеспечивает нормальное заживление перелома на Земле, пострадает в условиях уменьшения гравитационной нагрузки в космосе [6].

Можно сказать, что любая система организма, которая адаптировалась к микрогравитации, будет восстанавливаться в случае болезни или повреждения по кривой, отличающейся от таковой на Земле. Хотя саму адаптацию к невесомости следует рассматривать скорее как нормальную физиологическую реакцию, нежели как патологический процесс. За небольшими исключениями, изменения, происходящие в результате адаптации в полете, не обнаруживают себя и не опасны, а проявляются только после возвращения на Землю.

Тем не менее, отдельные проявления, симптомы или признаки различных болезненных состояний могут усугубляться изменениями водно-электролитного равновесия, функций сердца и легких, гематолого-иммунологических функций, обусловленных воздействием микрогравитации.

Методика диагностики и лечения болезни или повреждения, возникающих в полете у членов космического экипажа, должна учитывать наличие сопутствующей физиологической реакции на микрогравитацию.

Но если за полувековую историю пилотируемой космонавтики специалисты накопили большой объем знаний о происходящих в невесомости изменениях физиологических систем организма и механизмах реализации этих изменений, то успехи в области космической клинической медицины значительно скромнее.

Тому имеется несколько причин. Прежде всего, то, что космические полеты совершают практически здоровые люди, отобранные по строгим медицинским критериям. Вероятность возникновения у них заболеваний в течение космических полетов существующей в настоящее время продолжительности меньше, чем в среднем по соответствующей популяции на Земле.

Второе, продолжительность действия неблагоприятных факторов космического полета составляет в среднем 6 месяцев, тогда как, по данным специалистов NASA, вероятность возникновения у членов экипажа космического корабля травм и острых заболеваний, требующих оказания экстренной медицинской помощи (в том числе хирургической) составляет один случай в 2,4 года. Расчет медицинских событий применительно к орбитальной станции на основе данных, полученных на подводных лодках, в Антарктиде и в группе военных летчиков показал, что незначительные медицинские проблемы, которые потребуют помощи медицинского специалиста, будут возникать с частотой от одного до трех случаев на человека в год. Вероятность медицинских событий, которые потребуют госпитализации или

постельного режима, колеблется от 3 до 6% на человека в год, а случаев эвакуации по медицинским показаниям – 1,6% в год [7]. По мере увеличения продолжительности полета, возрастания численности экипажа, необходимости включения в состав экипажа высококвалифицированных специалистов с парциальной недостаточностью здоровья, усложнения характера выполняемых работ, вероятность возникновения травм и острых хирургических заболеваний будет возрастать.

Особую актуальность вопросы совершенствования системы медицинского обеспечения приобретают в свете предполагаемых планов экспедиций на Луну и Марс. Эти экспедиции возможны только при создании условий для автономной, независимой от поддержки с Земли, экстренной медицинской помощи больным и пострадавшим, когда спасение жизни и здоровья членов экипажа будет полностью зависеть от оказания квалифицированной помощи со стороны врача-космонавта.

При оказании медицинской помощи в условиях орбитального полета предусматривается возможность использования телемедицины, под которой понимают дистанционную экспертную консультативную поддержку с Земли. При межпланетных полетах возможности телемедицины ограничиваются временем задержки радиосигнала. В этих случаях невозможно рассчитывать и на экстренную медицинскую эвакуацию на Землю. Таким образом, здоровье и жизнь пострадавшего или заболевшего космонавта будут в полной мере зависеть от оказания ему экстренной медицинской помощи в максимально возможном объеме непосредственно на борту космического корабля.

Программа подготовки к оказанию экстренной медицинской помощи в условиях космического полета обязательно должна включать в себя такой этап как получение знаний об особенностях развития и течения патологических процессов в условиях микрогравитации. Знания этих особенностей и их механизмов обеспечат правильную постановку диагноза, адекватное лечение и эффективную реабилитацию заболевших или пострадавших. Накопление подобного рода системных знаний в условиях космического полета займет очень много времени. Поэтому реальным путем остается проведение экспериментальных модельных исследований на Земле. При этом трудность исследований будет заключаться в объединении способов моделирования факторов космического полета, включая невесомость, с моделями различных патологических состояний, разработанными для борьбы с болезнями на Земле. Вместе с тем, ранее выполненные, хотя и немногочисленные работы по данной проблеме позволяют с оптимизмом смотреть на перспективность данного пути.

Так В.В. Богомоловым с соавторами показано, что клинические проявления вероятных острых состояний и характер ответных реакций организма на лечебные мероприятия у космонавтов в период полета или после его завершения могут иметь существенные отличия от наблюдаемых в клинической практике, что обуславливается изменениями в организме под влиянием комплекса факторов космического полета, среди которых наиболее значимы нервно-психическая астенизация, перераспределение крови в сосудистой системе с уменьшением объема циркуляции и относительной дегидратацией, изменения в системе крови, снижение иммунорезистентности на фоне комплекса обменных сдвигов. Были также выявлены особенности клинического течения различных видов общего обезболивания при моделировании некоторых эффектов невесомости, которые сводятся к большей выраженности специфического влияния анестетиков, меньшему их расходу для достижения и поддержания анестезии и более длительной элиминации. В ходе

экспериментальных работ были определены ограничения для использования различных анестетиков в практике космической медицины, специфика использования клинических методов и средств реанимационной помощи, обусловленная фактором невесомости и особенностями отклонений в функциональном состоянии организма под влиянием факторов полета. Получено теоретическое и клинико-экспериментальное подтверждение положения о том, что при возникновении травматических повреждений в условиях космического полета или на его завершающем этапе следует ожидать более ранние и выраженные гемодинамические, гемические и метаболические расстройства, а также большую вероятность неврологических и респираторных нарушений с развитием жизнеопасных состояний [8].

В экспериментах с животными было установлено, что антиортостатическая гипокинезия вызывает функциональные изменения в организме, требующие коррекции схем анестезии, вследствие сужения широты терапевтического действия ингаляционного анестетика изофлюрана [9].

Д.Н. Панченков с соавторами в экспериментальных работах по моделированию острого панкреатита у крыс установили, что после воздействия модели микрогравитации на животных острый панкреатит протекает в более компенсированной форме, с меньшими повреждениями ткани железы, чем в стандартных условиях. Вместе с тем, сопутствующее панкреатиту повреждение печени выражено более значительно у животных, подвергавшихся антиортостатическому воздействию [10].

Конечно, процесс развития клинической медицины в космосе будет включать и другие направления, такие как:

- отработка техники медицинских манипуляций интенсивной терапии с элементами малых хирургических вмешательств в условиях невесомости (при полетах по параболе Кеплера и космическом полете);
- разработка инструментов и других технических средств обеспечения медицинских манипуляций и хирургических операций;
- разработка компьютерной консультативной, обучающей и экспертной системы.

Однако основанием успешности развития этих и других направлений будут знания клиницистов об особенностях механизмов развития и течения заболеваний в условиях длительных космических миссий.

При этом современная медицина немыслима без знаний о молекулярно-генетических механизмах заболеваний, функционирования нормальных и патологических клеток. В связи с этим, исследования морфофункциональных характеристик клеток как в норме, так и при патологии, их метаболической и пролиферативной активности, межклеточного трансмембранного взаимодействия в условиях микрогравитации являются составной частью космической экспериментально-клинической медицины. Необходимо отметить, что невесомость создает уникальные условия для экспериментальных исследований, отсутствующие на Земле, и, с большой долей вероятности, можно ожидать получение уникальных данных о молекулярно-генетических механизмах функционирования клеток, полезных не только для лечения заболеваний в космическом полете, но и для использования в практической земной медицине.

Таким образом, экспериментально-клиническая медицина является важной составной частью систематического, интегративного, логического подхода к решению задач, встающих перед клинической медициной в процессе дальнейшего освоения космоса, и требуется расширение экспериментальных работ в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Человек в длительном космическом полете. Под ред. О.Г. Газенко. / М., 1974, «Мир» – С. 360.
- [2] Гончаров И.Б., Ковачевич И.В. Система оказания медицинской помощи космонавтам. / Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. – 2001. – Т. 1. – С. 432–454.
- [3] Putchа L., Pool S.L., Cintron N.M. Pharmacology // Space Physiology and Medicine. 3rd ed. Philadelphia: Lae and Febiger. – 1994., – P. 435–446.
- [4] Ковачевич И.В., Репенкова Л.Г. Влияние бета-блокатора анаприлина на состояние центральной гемодинамики в условиях АНОГ. // Тезисы докладов XI Конференции по космической биологии и авиакосмической медицине. – М., 1998. – Т. 1. – С. 90–91.
- [5] Синтрон Н.М., Пугча Л. Фармакокинетика в полете. / Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание. Человек в космическом полете. – М., Наука, 1997. – Т. 3. – Кн. 2. – С. 469–486.
- [6] Сюза К.А., Ильин Е.А., Сычев В.Н., Дженс Г.И. Биологические исследования в космических полетах. / Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание. Российско-американское сотрудничество в области космической биологии и медицины. – М., Наука, 2009. – Т. 5. – С. 22–36.
- [7] Boyce J.B. Medical Consens for a Crew Emergency Return Vehicle. // Crew Emergency Return Vehicle Report. Houston (TX), 1987. (JSC-32025).
- [8] Богомолов В.В., Гончаров И.Б., Стажадзе Л.Л. Средства и методы медицинской помощи. Организация медицинской помощи на этапах космических полетов. Боль и обезболивание в полете. / Руководство по физиологии. Космическая биология и медицина. – М., Наука, 1987. – С. 255–270.
- [9] Баранов М.В. Особенности микроциркуляции и тактика анестезиологической помощи при воздействии моделированных факторов космического полета. Дисс. канд. мед. наук., М., 2001. – 110 с.
- [10] Панченко Д.Н., Баранов М.В., Логинов В.А. и др. Особенности течения острого панкреатита в условиях моделирования эффектов микрогравитации (экспериментальное исследование). // Анналы хирургической гепатологии. – 2009. – Т. 14, № 2. – С. 89–93.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Д.А. Лялин, А.Е. Баранов, М.В. Нечаев

Д.А. Лялин, А.Е. Баранов, М.В. Нечаев (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)

В статье на основании проведенных исследований обосновывается перспективность применения электролизеров с твердополимерным электролитом и средств подготовки и очистки воды в ракетно-космической технике. Представлены сравнительные тактико-технические характеристики применяемых и вновь разработанных элементов системы кислородоснабжения на основе электролиза, а также результаты их наземной отработки.

Ключевые слова: Твердополимерные электролизеры, электролизные блоки, фильтр, кислородообеспечение.

New Generation of Electrolyzers for Space Engineering. D.A. Lyalin, A.E. Baranov, M.V. Nechaev

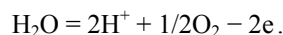
In this article on the basis of conducted researches the perspective of application of electrolyzers with solid polymeric battery fuel and means of preparation and purification of water in rocket-space technology is being justified. Comparative performance characteristics of old and newly developed elements of oxygen supply system based on electrolysis and also results of their ground operations are represented.

Key words: solid polymeric battery fuel, electrolysis units, filter, oxygen supply.

Обеспечение жизнедеятельности экипажа – одна из важнейших задач при создании оборудования пилотируемых космических аппаратов, поэтому требования к тактико-техническим характеристикам и надежности систем жизнеобеспечения неуклонно повышаются. Краеугольным вопросом безопасности экипажа является надежное кислородоснабжение, в связи с чем ведется постоянное совершенствование комплексов по выработке кислорода на основе электролиза воды. Существенное улучшение тактико-технических характеристик указанных систем возможно обеспечить за счет применения электролизеров воды с твердополимерной протонпроводящей мембраной.

Твердополимерные электролизеры воды нашли широкое применение в различных областях медицины и техники, однако их использование для космического назначения требует выполнения существенного объема научно-исследовательских и конструкторских работ с обязательным подтверждением соответствия показателей изделия жестким нормативам.

Принцип действия электролизера схематично представлен на рис. 1. Вода подается в полость, образованную катодом и твердополимерной мембраной с протонной проводимостью. За счет разности концентраций между катодной и анодной полостями вода диффундирует сквозь мембрану непроницаемую для других примесей и разлагается на электроде (аноде) положительно заряженном от внешнего источника по реакции:



Катодная подача обеспечивает фильтрацию на молекулярном уровне примесей, содержащихся в подаваемой на электролиз воде и позволяет добиться очень высокой чистоты вырабатываемого кислорода, являющегося целевым продуктом.

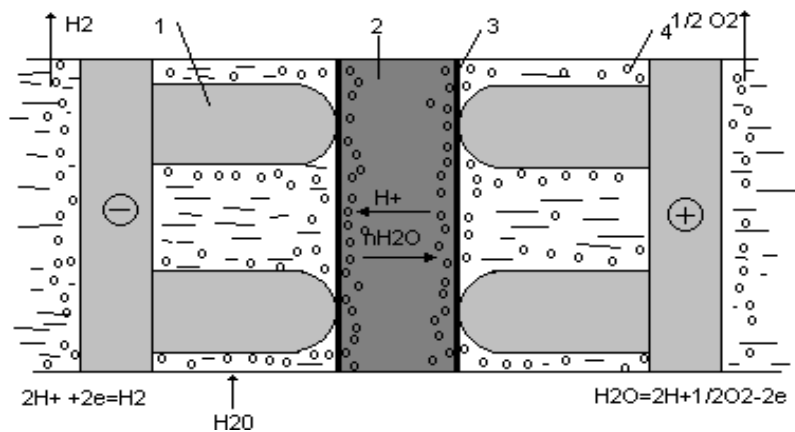
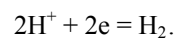


Рис. 1. Схема электрохимической реакции в электролизере воды с катодной подачей (1 – коллектор тока; 2 – ППЭ; 3 – электрокатализатор; 4 – пузырек газа)

Положительно заряженные ионы под воздействием разности потенциалов передаются сквозь мембрану к отрицательно заряженному электроду (катоде), где протекает реакция:



Для проведения конструкторско-доводочных испытаний, экспериментального подтверждения ресурса работы и подготовке к проведению летных испытаний в составе комплекса кислородообеспечения была отработана отвечающая отраслевым требованиям технология изготовления ключевых компонентов электролизеров и произведена партия электролизных блоков (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид электролизных блоков

С целью проверки соответствия изготовленных электролизеров требованиям по тактико-техническим характеристикам и надежности, в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» была создана экспериментальная база для функциональных и ресурсных испытаний (рис. 3).

В ходе продолжающихся испытаний подтвержденный ресурс электролизного блока к настоящему моменту составил более 350 000 $A^*ч$, что соответствует номинальному режиму работы в течение более 1,5 лет (рис. 4). Суммарная наработка испытанных изделий – 820 000 $A^*ч$. Темп деградации электрических характеристик (падение напряжения на ячейках электролизера) не превысил 1,5 мВ/1000 ч.



Рис. 3. Стенд для функциональных и ресурсных испытаний электролизных блоков

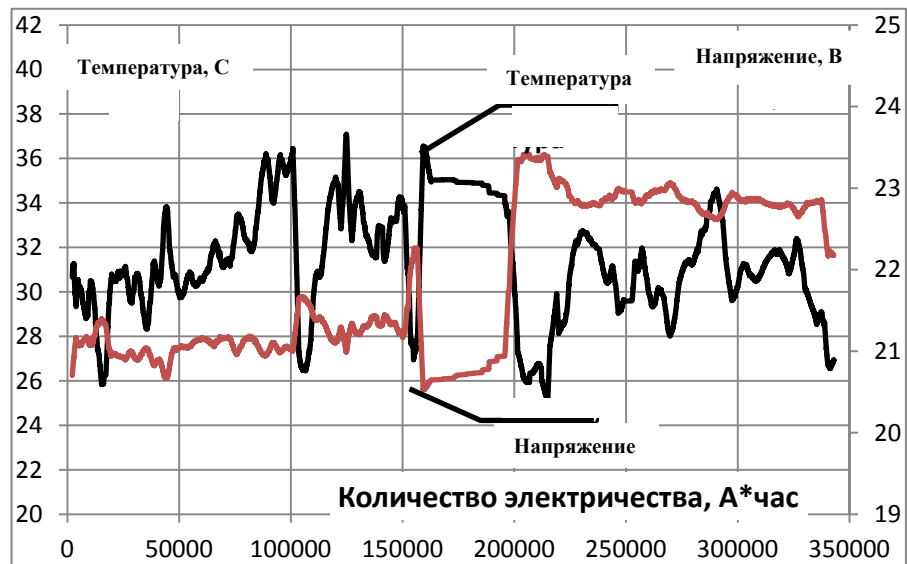


Рис. 4. Зависимость падения напряжения на ячейках электролизного блока от температуры подаваемой воды и наработанного времени в ходе проведения ресурсных испытаний

В табл. 1 представлено сравнение тактико-технических характеристик щелочных и твердополимерных электролизных блоков нового поколения. Очевидно, что полученные в ходе конструкторско-доводочных испытаний показатели твердополимерного электролизера воды подтверждают перспективность его применения.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики электролизных блоков

Наименование параметров	Единицы измерения	Твердо-полимерный	Щелочной
1. Производительность по кислороду в диапазоне токовой нагрузки от 10 А до 70 А (щелочного – 64 А)	дм ³ /ч	от 25 до 175	от 25 до 160
2. Параметры кислорода:			
– объемная доля кислорода (без учета паров воды)	%	не менее 99,6	не менее 99
– объемная доля водорода в сухом кислороде (без учета паров воды)	%	не более 0,4	не более 0,5
– аммиак и аминосоединения	мг/м ³	нет	не более 3,0
– ацетон	мг/м ³	нет	не более 0,3
– альдегиды	мг/м ³	нет	не более 0,3
– аэрозоль щелочи	мг/м ³	нет	не более 0,1
– жирные кислоты	мг/м ³	нет	не более 0,5
– окислы азота	мг/м ³	нет	не более 0,1
– окись углерода	мг/м ³	нет	не более 1,0
3. Наличие системы охлаждения электролизера	–	нет	да
4. Ресурс	год	3	1
5. Число возможных включений (отключений)	ед.	не менее 450	не менее 200
6. Масса	кг	не более 30	не более 155

Существенное увеличение чистоты вырабатываемого кислорода и срока эксплуатации электролизного блока накладывает жесткие требования на качество подаваемой в электролизер воды, поэтому особое внимание при разработке было уделено системам подготовки воды. Комплекс кислородообеспечения включает в себя помимо электролизного блока также двухконтурную двухступенчатую водоочистку. На первой стадии применяются устройства для удаления примесей, на второй – для уничтожения биологических образований.

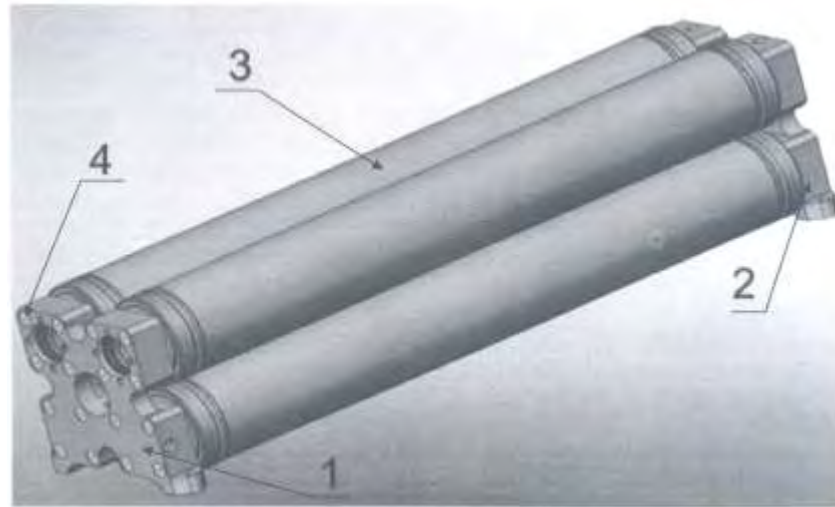


Рис. 5. Конструктивная схема блока подготовки воды
(1 – крышка 1; 2 – крышка 2; 3 – фильтры; 4 – винт)

Блок подготовки воды должен обеспечивать очистку потока рабочей среды (воды) от органических соединений и коллоидных образований сорбционным методом и от растворенных металлов и солей методом ионного обмена.

Блок подготовки воды (рис. 5) состоит из четырех последовательно соединенных фильтров:

- фильтр сорбционный, загруженный активированным углем;
- фильтр, загруженный катионитом;
- два фильтра, загруженных монофункциональным анионитом.

Каждый фильтр является вертикальным однокамерным цилиндрическим аппаратом, состоящим из следующих основных элементов: корпуса с распределительными устройствами и фильтрующим материалом.

Корпус фильтра представляет собой цилиндрическую обечайку, в которой с обеих сторон завальцованы крышки. Наружная поверхность крышки – цилиндрический стакан с патрубком с уплотнительными кольцами, а проточная часть (внутренняя поверхность) выполнена в виде полого цилиндра, переходящего в усеченный конус, расширяющийся в направлении распределительного устройства. На крышках имеются резьбовые гнезда (по 4 на каждой крышке), предназначенные для крепления фильтра в блок.

Исходная вода через быстроразъемное соединение подается в сорбционный фильтр, загруженный активированным углем, затем поступает на обработку в фильтр, загруженный сильнокислотным катионитом, после чего производится последовательная обработка в двух фильтрах, загруженных сильноосновным анионитом.

Основные функциональные параметры блока подготовки воды приведены в табл. 2, зависимость перепада давлений от расхода воды – в табл. 3.

Таблица 2

Основные функциональные параметры БПВ

Наименование показателя	Норматив
Удельная электрическая проводимость исходной воды при температуре (20 ± 2) °С, $мкСм/см$	не более 2000
Содержание серебра в исходной воде, $мг/дм^3$	не более 2,0
Химическое потребление кислорода исходной воды, $мг/дм^3$	не более 150
Температура рабочей среды, $К$	277 ± 313
Расход: – объемный, $дм^3/ч$ – пульсирующий (в течение 60 ± 10 с, пауза от 20 до 160 минут), $дм^3/ч$	$80,0^{+10}$ $12,0^{+2}$
Рабочее давление, $МПа$	не более 1,0
Удельная электрическая проводимость очищенной воды при температуре (20 ± 2) °С, $мкСм/см$	не более 1,0
Химическое потребление кислорода очищенной воды, $мг/дм^3$	не более 10
Содержание серебра в очищенной воде, $мг/дм^3$	не более 0,5
Масса, $кг$	не более 20

Таблица 3

Зависимость перепада давлений от объемного расхода воды

Объемный расход рабочей среды, $дм^3/ч$	Гидравлическое сопротивление блока, $МПа$
12	0,03
40	0,17
90	0,2
108	0,25

Устройство стерилизации предназначено для уничтожения бактерий, вирусов, грибков и других микроорганизмов в воде, протекающей через данное устройство.

Принцип работы устройства основан на бактерицидных свойствах ультрафиолетового (УФ) излучения. Коренным отличием данного устройства от множества прототипов является использование в нем светодиодов в качестве источника УФ-излучения, что дает возможность обойтись без использования в устройстве высоких напряжений, делает его экономичным и надежным.

Конструктивно устройство стерилизации выполнено в виде единого блока, внешний вид которого представлен на рис. 6.

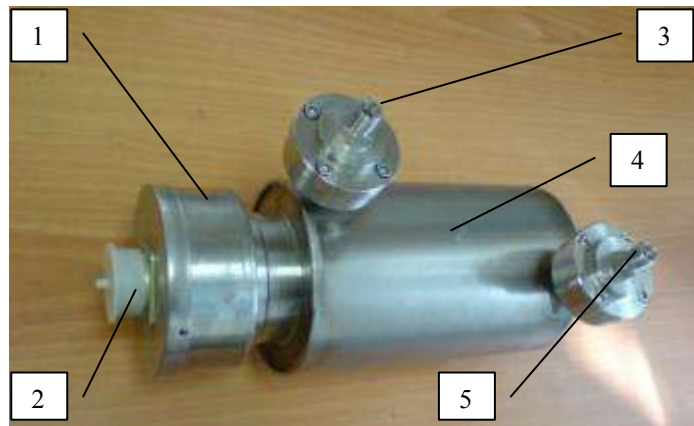


Рис. 6. Внешний вид устройства стерилизации
(1 – блок питания; 2 – соединитель; 3 – входной штуцер; 4 – корпус реактора;
5 – выходной штуцер)



Рис. 7. Составные части УС: 1 – излучатель; 2 – блок питания;
3 – корпус реактора

Через соединитель (2) напряжение питания бортсети подается на блок питания устройства стерилизации. Поток воды, предназначенной для обеззараживания, подводится к входному штуцеру (3), через который поступает в корпус реактора (4). Вода, подвергаясь бактерицидному воздействию, отводится через выходной штуцер (5).

Состав устройства стерилизации представлен на рис. 7. Излучатель (1) представляет собой цилиндрическую колбу из кварцевого стекла, внутри которой расположен шестигранный параллелепипед, образованный печатными платами, на каждой из которых в ряд установлены УФ-светодиоды. Блок питания снижает напряжение питания бортсети до напряжения питания светодиодов (+7 В). Корпус

реактора оснащен тангенциальным вводом, реализующим спиральную траекторию движения воды вокруг излучателя в диапазоне высоких расходов, что способствует повышению равномерности ее обработки.

Основные технические данные устройства стерилизации приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные технические данные устройства стерилизации

1. Температура подаваемой воды	<i>К</i>	283...313
2. Допустимое давление внутри фотохимического реактора	<i>МПа</i>	не более 1,0
3. Номинальный расход	$\text{дм}^3/\text{ч}$	12–90,0
4. Гидравлическое сопротивление при объемном расходе $80 \text{ дм}^3/\text{ч}$	<i>кПа</i>	не более 10
5. Потребляемая электрическая мощность	<i>Вт</i>	не более 12
6. Напряжение питания	<i>В</i>	27^{+7}_{-4}

Как уже отмечалось, особенностью данного устройства стерилизации является использование в качестве источника ультрафиолетового излучения светодиодов, спектр излучения которых представлен на рис. 8. В отличие от спектра УФ-лампы (для сравнения он представлен на рис. 9), светодиод имеет узкий спектр излучения с характерным максимумом около 255 нм . Известно, что наиболее эффективное бактерицидное действие оказывает УФ-излучение в диапазоне волн от 250 до 265 нм . Из рис. 8 видно, что излучение УФ-светодиодов находится внутри этого диапазона, что и определяет экономичность работы данного устройства.

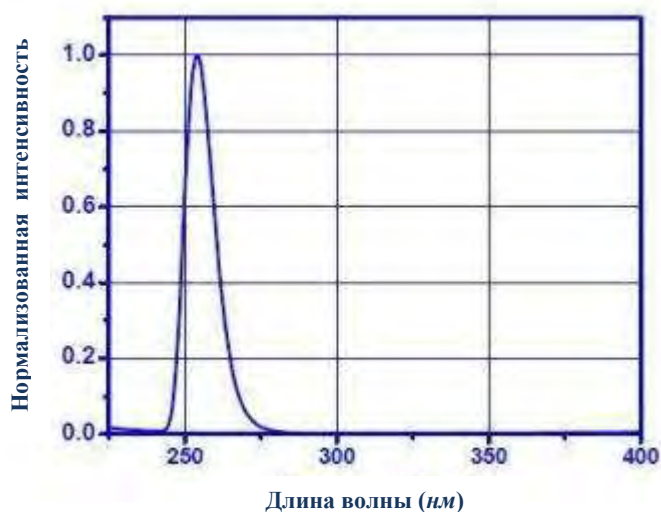


Рис. 8. Спектр излучения УФ-светодиодов

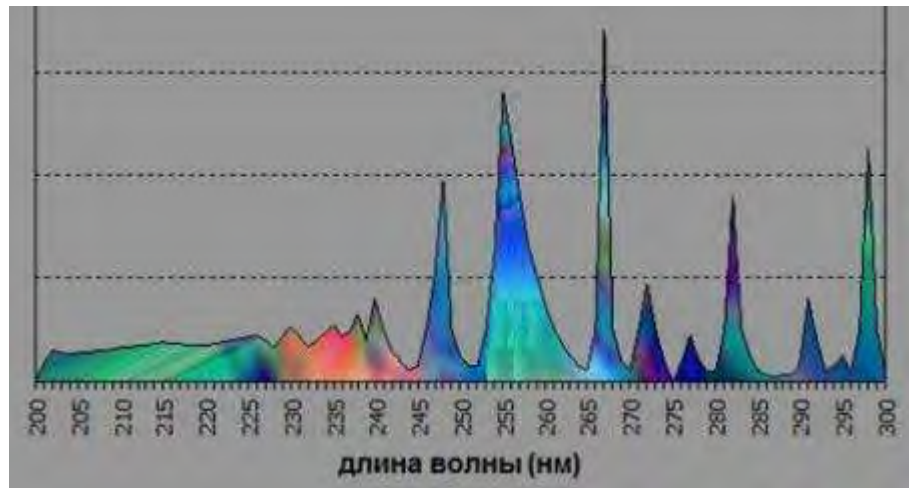


Рис. 9. Спектр излучения типовой УФ-лампы

Большое значение для эффективной работы устройства имеет отсутствие «мертвых зон» в реакторе устройства, т.е. областей, не охваченных УФ-излучением. В устройстве равномерное облучение пространства реактора в диапазоне от 0° до 360° достигается шестигранной структурой облучателя, реализующего равномерную круговую диаграмму направленности, которая представляет собой геометрическую сумму шести одиночных диаграмм (рис. 10) с угловыми расстояниями между максимумами в 60° .

Для непрерывного контроля качества воды в контурах очистки и подачи применен датчик электропроводности, который обеспечивает измерение удельного электрического сопротивления рабочей среды (воды, газожидкостной смеси) в диапазоне температур от 4 до 50°C и давлении не более $1,0\text{ МПа}$ и осуществляет передачу результатов измерения внешним регистрирующим приборам.

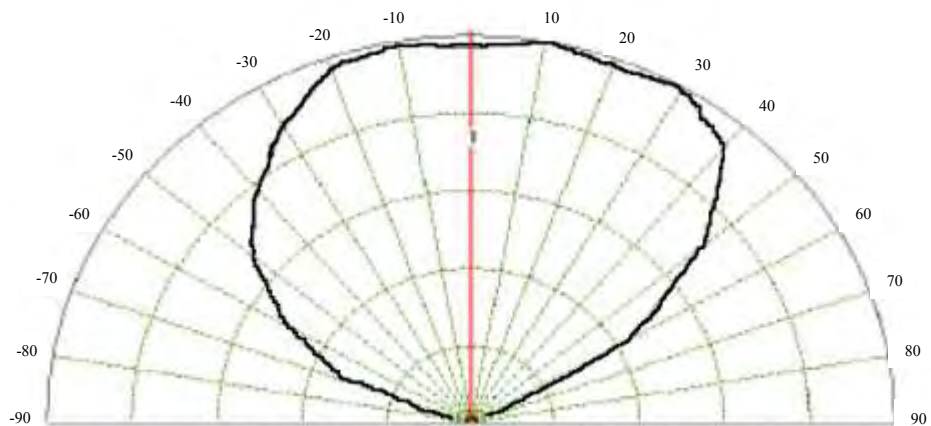


Рис. 10. Диаграмма направленности УФ-светодиода

Принцип действия ДЭП основан на измерении электрической проводимости жидкости, которая вызвана переменным электрическим полем, приложенным к электродам контактного датчика электропроводности.

Внешний вид ДЭП представлен на рис. 11. Конструктивно датчик электропроводности состоит из двух частей: электронного блока и контактного кондуктометрического датчика.

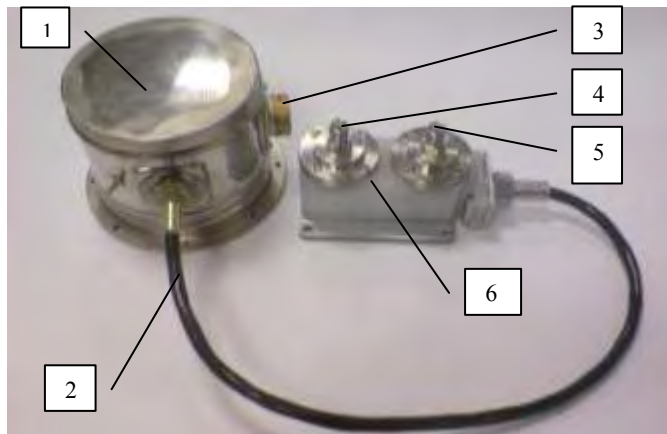


Рис. 11. Внешний вид ДЭП
(1 – электронный блок; 2 – сигнальный кабель; 3 – соединитель; 4 – входной разъем; 5 – выходной разъем; 6 – датчик)

Через соединитель (3) на электронный блок подается напряжение питания бортсети и выводятся выходные сигналы. Поток воды, предназначенной для измерения солености, подводится к входному штуцеру (4), через который поступает в корпус датчика (6) и отводится через выходной штуцер (5).

Диапазон измерения ДЭП варьируется в зависимости от его модификации: ДЭП01 обеспечивает измерение удельной электрической проводимости рабочей среды в диапазонах измерений от 0 до 2 мкСм/см , а ДЭП02 в диапазоне от 0 до 2000 мкСм/см . Выбор рабочего диапазона измерения осуществляется программно, в процессе калибровки устройства. Погрешность измерения обеих модификаций при объемном расходе рабочей среды через датчик до $80,0^{+10} \text{ дм}^3/\text{ч}$ составляет не более 2,5 % от диапазона измерений.

Датчик электропроводности имеет троированный аналоговый выход с диапазоном напряжения от 0,0 до 5,0 В, что соответствует изменению удельной электрической проводимости рабочей среды от 0 до 2 мкСм/см в для ДЭП01 и от 0 до 2000 мкСм/см для ДЭП02. Кроме того, датчик электропроводности имеет троированный релейный выход типа «сухой контакт», переходящий из состояния «1» (разомкнуто) в состояние «0» (замкнуто) при превышении измеренного значения проводимости заданного порога.

Комплексная наземная отработка элементов системы кислородообеспечения проводилась в составе совместного стенда испытаний электролизного блока и системы водоподготовки, вид которого представлен на рис. 12. Работа стенда автоматизирована и управляется с помощью компьютерного блока.



Рис. 12. Стенд для наземной отработки системы кислородообеспечения

Принцип работы установки устроен следующим образом. Рабочая среда (вода) из емкости подается насосом в устройство стерилизации с объемным расходом потока $80 \text{ дм}^3/\text{ч}$, где осуществляется обеззараживание УФ-излучением. Затем поток рабочей среды поступает в блок подготовки воды для удаления из воды органических соединений, коллоидных образований и растворенных металлов и солей. После блока подготовки воды установлен датчик электропроводности для контроля процесса фильтрации. Очищенная вода поступает во второй контур, в составе которого присутствует то же оборудование, что и в первом контуре. Пройдя доочистку, поток очищенной воды попадает в блок электролизный, где происходит электролиз воды с получением кислорода, который отводится через отдельный канал. Водород с потоком воды попадает в сепаратор, где происходит его отделение от воды. Вода возвращается в начало второго контура и продолжает циркулировать до тех пор, пока уровень в сепараторе станет минимальным. В этот момент включается в работу первый контур и подпитывает замкнутый цикл.

Достигнутые высокие показатели электролизного блока и средств подготовки воды позволяют рассматривать их как перспективную основу системы кислородоснабжения пилотируемых космических аппаратов, в том числе российского сегмента Международной космической станции.

Использование электролизеров воды в системах жизнеобеспечения не единственное их возможное применение в ракетно-космической технике. В настоящее время активно ведутся разработки комбинированной энергодвигательной установки, состоящей из газогенератора и электролизного блока, электроэнергия на который подается с солнечных батарей, а выработанный водород используется для движения космического аппарата.

Выполненный объем работ позволяет с уверенностью прогнозировать успешное применение в среднесрочной перспективе электролизных установок в космических аппаратах различного назначения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТО- И ВИДЕОМАТЕРИАЛА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ НА УРОКАХ ЭКОЛОГИИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

С.Н. Ревин

Космонавт-испытатель, аспирант кафедры педагогики и психологии высшей школы Московского гуманитарного университета С.Н. Ревин (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена использованию фото- и видеоматериалов, полученных космонавтами во время выполнения пилотируемых космических полетов. Дано определение аналогии как метода, с помощью которого возможно введение данного материала в содержание тем предмета экологии. Приведены примеры использования данного метода и соответствующих материалов на уроках экологии в средней школе.

Ключевые слова: аналогия, экосистема, пилотируемая космическая станция, проблемная ситуация, нештатная работа.

Usage of Photo and Video Materials of Manned Flights During Ecology Lessons at Secondary School. S.N. Revin

This article is dedicated to usage of photo and video gained by cosmonauts during manned spaceflights. Analogy is determined as a method which makes possible the introduction of this material into topics of ecology. Examples of this method and correspondent materials usage during the lessons at secondary school are given.

Key words: analogy, ecosystem, manned space station, problem situation, off-nominal operation.

В настоящее время руководством страны поставлена задача диверсификации отечественной экономики, придания ей инновационного характера, при этом подчеркивается, что без решения проблемы развития космической отрасли данную задачу невозможно решить.

На заседании президиума Госсовета по развитию ракетно-космической промышленности России, которое состоялось в Калуге 29 марта 2007 года, В.В. Путин заявил: «Мы не сможем эффективно развивать отрасль, если каждый участник экономической деятельности в стране и каждый гражданин России не поймет, как он может для своих целей использовать результаты космической деятельности и какие космические услуги в каждом конкретном случае могут быть использованы. В сфере применения результатов космической деятельности мы все еще значительно отстаем от потребностей экономики и запросов людей. И должны сделать все возможное, чтобы радикально повысить эффективность космических услуг. У нас для этого есть все возможности».

В настоящее время определяются следующие тенденции в развитии космической деятельности: обживание космоса, потребление его энергосырьевых ресурсов для развертывания производства, изучение Земли из космоса. Из этого видно, что космическая деятельность призвана способствовать решению проблем, связанных с дальнейшим улучшением условий жизнедеятельности людей на планете Земля.

Рассматривая космическую деятельность на МКС, можно выделить следующие направления: изучение жизнедеятельности человека в космосе, исследования в области космической биологии, биотехнологические эксперименты, техниче-

ские эксперименты, исследования в области космической технологии и материаловедения, геофизические исследования и дистанционное зондирование Земли. Всего выполнено более 450 экспериментов.

Следует отметить, что на РС МКС работ по образовательным программам выполняется мало. Прежде всего, это связано со слабой теоретической проработкой возможностей пилотируемой станции для получения результатов, которые могли бы быть востребованы системой образования.

К настоящему времени выполнены три диссертационные работы, посвященные использованию знаний о космонавтике в предметах средней школы. Наиболее разработанными в методическом плане стали предметы физика и астрономия.

Первым исследованием, посвященным изучению элементов космонавтики в средней школе, стала работа И.В. Кожеурова «Методика ознакомления с элементами космонавтики в средней школе при изучении курсов физики и астрономии». В данном исследовании автор выяснил, что «ознакомление с элементами космонавтики повышает у учащихся интерес к учебным предметам, к технике и расширяет их научно-технический кругозор; в целях достижения большей эффективности необходимо систематическое проведение такой работы при изучении физики, астрономии и других дисциплин» (Кожеуров, 1964).

Данной методикой предусматривается использование на уроках в основном рисунков в учебниках, демонстрация фотографий при изложении материала урока редко. Демонстрацию кинофильмов автор использует на внеклассных занятиях. Приведем перечень кинофильмов.

«Снова к звездам». Киностудия «Моснаучфильм», 1961, 5 ч. (О космическом полете Г.С. Титова).

«Первый рейс к звездам». Центральная студия документальных фильмов, 1961 г., 6 ч. (О космическом полете Ю.А. Гагарина).

«Штурм космоса продолжается». Центральная студия документальных фильмов, 1962 г., 1 ч. (О космическом полете А.Г. Николаева и П.Р. Поповича).

«Звездные братья». Московская студия научно-популярных фильмов, 1963 г., 7 ч. (о космическом полете А.Г. Николаева и П.Р. Поповича, подготовка к полету, полет, посадка, встреча на Земле).

Диафильм «Герои – космонавты».

Также автор рекомендует использовать статьи и фотографии в периодической литературе о полетах первых советских космонавтов.

«Логическим продолжением исследований И.В. Кожеурова применительно к новым условиям – новой программе курса физики и современному уровню космических исследований» (Абдуразагов, 1987) рассматривает свою диссертационную работу Р.Р. Абдуразагов, так как практическое использование предложенных И.В. Кожеуровым рекомендаций осложняется значительными изменениями, произошедшими и в содержании курса физики и, особенно, в развитии космонавтики. В диссертации впервые определен подход к отбору прикладного материала, раскрывающего научные основы космических экспериментов, разработана методика изучения этого материала в курсе физики, предусматривающая и развитие у учащихся интереса к физике, и расширение их политехнического кругозора. Предлагаемая методика изучения научных основ космических экспериментов является важным резервом для повышения образовательного и воспитательного значения курса физики. Изучение научных основ космических экспериментов создает возможность для развития у учащихся умения самостоятельно пополнять свои знания с помощью различных источников массовой информации о достижении кос-

монавтики. Изучение предлагаемого материала на уроках, факультативных и внеклассных занятиях по физике создает благоприятные условия для использования в учебно-воспитательном процессе, для изучения межпредметных связей с математикой, астрономией, географией и биологией.

При изложении материала автор использует фотографии экспериментальных установок и результатов проведенных экспериментов. На заключительном уроке демонстрируется кинофильм «Успехи СССР в освоении космоса».

Н.Б. Гривачева в диссертационной работе «Формирование представлений учащихся средней школы о физических основах космонавтики» выделяет три формы изучения космонавтики.

1. Включение элементов космонавтики в курсы физики и астрономии. Автор предлагает приводить примеры, иллюстрирующие те или иные физические законы и явления; заменять содержание задач, где это представляется возможным на космонавтические. При этом автор делает вывод о том, что «космонавтический материал пока представляет собой искусственные вкрапления в физический материал или просто материал для дополнительного чтения» (Гривачева, 2005).

2. Изучение в курсах по выбору: факультативных и элективных. Автор создала программу элективного курса «Основы космонавтики».

3. Изучение на внеклассных занятиях.

С точки зрения использования фото- и видеoinформации, полученной с борта космических пилотируемых кораблей и станций, наиболее разработанным является исследование Н.Б. Гривачевой. Приведем список материалов, которые использовались автором на внеклассных занятиях.

Компакт-диск «Мультимедийное приложение к энциклопедии по космонавтике».

Web-ресурсы:

1. «История российской советской космонавтики» <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/>, содержащий большое количество фотографий, архив новостей, форум.

2. «Космический мир», энциклопедия «Космонавтика» <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/>, содержащий информацию о космонавтах, конструкторах, космических аппаратах, Международной космической станции.

3. «Пилотируемая космонавтика в цифрах и фактах» <http://space.kursknet.ru/>, содержащий информацию о пилотируемых полетах, космических кораблях, долговременных орбитальных станциях, статистика космических полетов.

Особое значение при проведении занятий автор придает образовательной программе «Уроки из космоса». Впервые с борта орбитальной станции «Мир» экипажи проводили уроки, которые транслировались в режиме прямой связи в Центр управления полетом. Используя уникальные возможности невесомости для иллюстрации действия законов природы, космонавты демонстрировали опыты и эксперименты, показывали различные природные явления, происходящие на Земле. Было проведено 18 уроков, темы которых касались вопросов физики, географии, экологии, биологии, физкультуры. На основе проведенных «Уроков» были выпущены учебные видеофильмы.

Автор также рекомендует использовать электронный учебник «Открытая астрономия 2.0», содержащий в разделе «На пороге космической эры» описание истории космонавтики с иллюстрацией фотографий орбитальных станций «Салют», «Skylab», «Мир», Международной космической станции, Центра управления полетом в г. Королёве; игру-симулятор «Космическая станция», содержащую подробную информацию о космодромах, ракетносителях, отдельных модулях, устройствах и

приборах космического корабля, подробный справочник по космической технике.

Анализ содержания рекомендуемых в настоящее время учебников и пособий для начальной и средней школы выявил значительное сокращение материала по космонавтике.

В связи с этим нами была предложена следующая методика использования фотографий и видеорепортажей, выполненных на борту космической станции «Мир» и Международной космической станции.

Основываясь на том факте, что аналогом земной экосистемы (антропоэкосистемы) является искусственная экосистема (антропоэкосистема) космической станции, созданная специалистами по космической технике, медицине, биологии по аналогии с земной, мы предположили, что основные экологические понятия, раскрывающие характер взаимоотношений человека и природы, возможно изучать по аналогии с получаемыми знаниями о взаимоотношениях космонавтов и средой обитания на космической станции.

Мы рассматриваем аналогию «как методическое средство организации познавательной деятельности учащихся, позволяющее актуализировать материал по пилотируемой космонавтике в школьном курсе экологии, а также как средство создания проблемной ситуации, выполняющее информационную функцию, функцию актуализации знаний учащихся, функцию поиска и систематизации знаний при изучении материала» (Ревин, 2009).

Данный подход нами применялся в процессе изучения ряда тем уроков в курсе «Экология» для учащихся 5 (6) классов.

Учитывая трудность изложения материалов, связанных с работой систем космической станции, для школьных учителей нами были подготовлены в качестве демонстрационного материала специально отобранные видеофрагменты и фотографии, выполненные на борту космической станции. В таблице 1 приведены фрагменты проведения уроков для учащихся 5 класса.

Таблица 1

Изучаемые явления	Действия учителя	Действия ученика
1. Последствия уменьшения кислорода в атмосфере Земли	<p>Рассказывает о значении кислорода для обитателей космической станции. Показывает фотографии космонавтов на борту станции, видеофрагмент эксперимента по выращиванию перепелов, выращиванию гороха. Создает проблемную ситуацию, нацеленную на получение вывода о невозможности жизни на Земле без кислорода.</p> <p>Показывает видеофрагмент с репортажем космонавта о средствах кислородообеспечения на космической станции. Создает проблемную ситуацию, связанную с поиском источников кислорода на Земле.</p>	<p>Рассуждая по аналогии, приходит к выводу о необходимости наличия кислорода на Земле</p> <p>Высказывает различные предположения об источниках кислорода на Земле (растения, деревья, лес), актуализируя изученный материал других предметов</p>

Продолжение таблицы 1

Изучаемые явления	Действия учителя	Действия ученика
	<p>Рассматривает работу данных средств при увеличении потребителей кислорода.</p> <p>Рассматривает нештатную работу аппаратуры средств кислородообеспечения, приводящую к уменьшению выработки кислорода или прекращению подачи кислорода, пути выхода из нештатной ситуации.</p> <p>Создает проблемную ситуацию и побуждает учащихся осуществлять поиск причин сокращения содержания кислорода на Земле и поиск выхода из сложившейся ситуации.</p>	<p>Высказывает различные предположения о причинах уменьшения содержания кислорода на Земле (потребление кислорода промышленными предприятиями, вырубка лесов, пожары) и путях улучшения такой ситуации (сокращение вредных производств, совершенствование технологии, посадка деревьев, предотвращение пожаров)</p>
<p>2. Последствия увеличения количества углекислого газа в атмосфере Земли</p>	<p>Рассказывает об отрицательном воздействии на космонавтов углекислого газа при повышении его содержания выше нормы. Делает вывод о необходимости иметь на борту космической станции средства поглощения углекислого газа.</p> <p>Показывает видеофрагмент с репортажем космонавта о средствах поглощения углекислого газа.</p> <p>Создает проблемную ситуацию, направленную на поиск «средств» поглощения углекислого газа на Земле.</p> <p>Рассматривает работу средств поглощения углекислого газа при увеличении его выделения.</p> <p>Рассматривает нештатную работу средств поглощения углекислого газа, пути выхода из нештатной ситуации, приводящую в случае невозможности устранить аварию, к покиданию космической станции.</p> <p>Создает проблемную ситуацию и побуждает учащихся искать выход из аналогичной ситуации, когда в результате деятельности людей увеличивается содержание углекислого газа на Земле.</p>	<p>Рассуждая по аналогии, высказывает предположения о «средствах» поглощения углекислого газа на Земле (растения, леса), актуализируя изученный материал</p> <p>Высказывает различные предположения о причинах увеличения содержания углекислого газа на Земле (плохая очистка выбросов производств, вырубка лесов) и путях предотвращения увеличения содержания углекислого газа в атмосфере Земли (использование лучшей очистки выбросов, закрытие производств с устаревшей технологией, посадка деревьев)</p>

Окончание таблицы 1

Изучаемые явления	Действия учителя	Действия ученика
3. Последствия загрязнения воздуха на Земле	<p>Рассказывает об отрицательном воздействии на космонавтов загрязнителей на станции. Показывает видеофрагмент работы космонавтов и утилизации мусора. Делает вывод о необходимости иметь на борту средства очистки атмосферы. Создает проблемную ситуацию, нацеленную на получение вывода о вреде загрязнения атмосферы Земли.</p> <p>Показывает видеофрагмент с репортажем космонавта о средствах поглощения и удаления вредных примесей. Создает проблемную ситуацию, направленную на поиск путей уменьшения и предотвращения загрязнения атмосферы Земли</p>	<p>Рассуждая по аналогии, приходит к выводу о вреде загрязнения атмосферы Земли</p> <p>Высказывает предположения о путях предотвращения загрязнения атмосферы Земли (совершенствование технологии очистки выбросов, закрытие производств с устаревшей технологией, сохранение лесов и увеличение парков в городах)</p>

Предпринятая нами попытка использовать метод аналогии при изучении экологии показала, во-первых, изменение типа доминирующей установки у учеников по отношению к природе; во-вторых, у учащихся наметился значительный рост познавательной активности, связанной с объектами природы; в-третьих, изменился в лучшую сторону показатель непрагматического практического взаимодействия с природными объектами, а также показатель активности личности по изменению окружения в соответствии с отношением к природе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абдуразагов Р.Р. (1987) Изучение научных основ космических экспериментов в курсе физики средней школы. Дисс... канд. пед. наук.
- [2] Гривачева И.В. (2005) Формирование представлений учащихся средней школы о физических основах космонавтики. Дисс... канд. пед. наук.
- [3] Кожеуров И.В. (1964) Методика ознакомления с элементами космонавтики в средней школе при изучении курсов физики и астрономии. Дисс... канд. пед. наук.
- [4] Ревин С.Н. (2009) Метод аналогии в экологическом образовании школьников (на примере пилотируемой космической станции). Знание. Понимание. Умение. № 3.

ВНЕЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЕ ИСЗ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

М.Н. Бурдаев

Докт. техн. наук, профессор М.Н. Бурдаев (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматривается принципиально новый вид ИСЗ – спутники, зависающие на ограниченное время над любой точкой поверхности Земли на любой высоте. Выполнен анализ их технических характеристик. Указаны возможные области применения таких ИСЗ.

Ключевые слова: внеэкваториальный, геостационарный, ИСЗ.

Extraneous Geostationary Earth Satellites – Promising Means of Quick Response Operation. M.N. Burdayev

The article describes a brand new type of Earth satellites – the satellites which continuously hover above any point of the Earth surface at any altitude. The article presents analysis of their technical parameters. Describes potential application areas of such Earth satellites

Key words: extraequatorial, geostationary, Earth satellites.

Многолетняя практика эксплуатации геостационарных ИСЗ убедительно подтвердила целесообразность их применения для решения широкого круга задач: связи, наблюдения, управления и других.

Однако, условия эксплуатации этого вида ИСЗ с течением времени все более усложняются. На единственной геостационарной орбите, лежащей в плоскости экватора Земли, уже размещены десятки активно функционирующих ИСЗ. Их общее число постоянно увеличивается, что приводит к возникновению различных проблем, например, взаимных помех в работе бортовых средств и проблем обеспечения безопасности групповых полетов.

Количество ИСЗ, которые могут быть безопасно размещены и эффективно работать на геостационарной орбите, не беспредельно. Следовательно, в будущем, возможно недалеко, неизбежно возникнет проблема размещения геостационарных ИСЗ вне ныне используемой и все более загружаемой геостационарной орбиты.

Существует принципиальная возможность рассредоточения геостационарных ИСЗ в окрестности экваториальной геостационарной орбиты. Более того, в принципе уже сегодня технически реальна возможность «подвешивать» ИСЗ над любой точкой земного шара на любой высоте на ограниченное время за счет расхода его массы или, возможно, подвода энергии извне.

Для подобных аппаратов уже в настоящее время имеется ряд актуальных практических задач. В большинстве регионов и стран мира с каждым годом возрастает количество динамических ситуаций, требующих наблюдения, контроля, а часто и управления конкретными видами действий.

В мирное время это экстремальные и чрезвычайные ситуации природного и техногенного происхождения, в основном, в области экологии, в частности – чрезвычайных ситуаций. В таких ситуациях весьма актуальны задачи оперативной организации и осуществления непрерывного наблюдения, связи и управления

на ограниченное время в различных районах поверхности суши и водных бассейнов. Особо ценно применение подобных ИСЗ в труднодоступных местностях и в районах, где выведены из строя обычные средства связи, где наземными и авиационными средствами оперативно организовать сбор информации, связь и управление практически не удастся. В предвоенное и военное время, на различных этапах подготовки и ведения боевых действий – это перемещение и концентрация войск, военной техники и материальных резервов.

Все эти ситуации различаются по многим признакам: по их важности, опасности, темпам развития и, как следствие этого, по требуемой периодичности обновления информации, ее требуемому содержанию и детализации. Но, ввиду их динамичности, в большинстве случаев требуется непрерывное наблюдение за заданными районами в течение ограниченного времени.

Для сбора, обработки и передачи информации в перечисленных и в других ситуациях используются различные наземные стационарные и подвижные пункты наблюдения, связи и управления, а также летательные аппараты: вертолеты, самолеты, искусственные спутники Земли, различающиеся по своим возможностям, ограничениям условий применения, техническим и экономическим характеристикам. Возможно также использование некоторых других видов летательных аппаратов, например, баллистических ракет, дирижаблей и других средств. Известно, что во время первой мировой войны для военных целей – для фронтовой разведки и для корректировки артиллерийской стрельбы – применялись привязные аэростаты. Однако их несовершенство и трудности оперативного подъема и спуска были основными причинами прекращения их использования. В настоящее время появляются известия о применении для сбора информации малогабаритных беспилотных летательных аппаратов и мотодельтапланов.

Среди возможных способов применения аппаратов для решения перечисленных задач недостаточно изучен вариант их размещения над заданной точкой (или над заданным районом) поверхности Земли на заданной высоте (или в заданном диапазоне высот). Этот вариант актуален при оперативной организации непрерывного наблюдения, связи и управления в ограниченных районах сухопутных территорий и Мирового океана на ограниченное время, например, при необходимости контроля быстро развивающихся экстремальных и чрезвычайных ситуаций и при ведении локальных боевых действий в вооруженных конфликтах различного масштаба. В настоящее время отработаны и используются два вида летательных аппаратов, решающих перечисленные задачи. Это самолеты – летающие пункты наблюдения, управления и связи (например, «Авакс», «Гольфстрим»), беспилотные крылатые аппараты и другие) и ИСЗ.

Самолеты – летающие пункты наблюдения, управления и связи – подвержены воздействию многочисленных средств подавления и поражения. В сложных, быстро меняющихся региональных и локальных ситуациях более реально можно рассчитывать на успешное применение одиночных управляемых ИСЗ с периодом обращения, равным периоду обращения Земли вокруг своей оси, оперативно запускаемых в заданный район на ограниченный период времени, соизмеримый с длительностью контролируемой ситуации или управляемой операции. Заслуживают особого внимания и исследования средств, функционирующих в диапазоне высот полета порядка 50÷200 км. В различных участках этого диапазона высот могут применяться несколько типов летательных аппаратов, в том числе не разработанных до настоящего времени.

Поддержание летательного аппарата на заданной высоте над заданной точкой земной поверхности вне экваториальной геостационарной орбиты потребует расхода топлива из его бортовых резервов или подвода энергии извне. Однако возможность длительного пребывания аппарата над определенным районом поверхности земного шара существенно повышает эффективность его применения по сравнению с обычными ИСЗ, в частности, позволяет использовать его в режиме непрерывного сбора и передачи информации в этом районе.

В современных чрезвычайных и экстремальных ситуациях, отличающихся динамичностью и кратковременностью, исследование возможностей применения и технико-экономических характеристик такого типа ИСЗ представляется актуальным и вполне своевременным.

Математическая модель орбитальных движений одиночных внеэкваториальных геостационарных ИСЗ на круговых орбитах

Если к спутнику, движущемуся по инерции (без приложения внутренних и внешних сил) в центральном поле тяготения на расстоянии r от центра притяжения, приложить некоторую силу, равновесие движения нарушится, и спутник перейдет на другую траекторию. Рассмотрим эту ситуацию при условии, что спутник движется в плоскости, параллельной плоскости экватора, с угловой скоростью ω_z относительно полярной оси земного шара, равной угловой скорости вращения Земли (рис. 1).

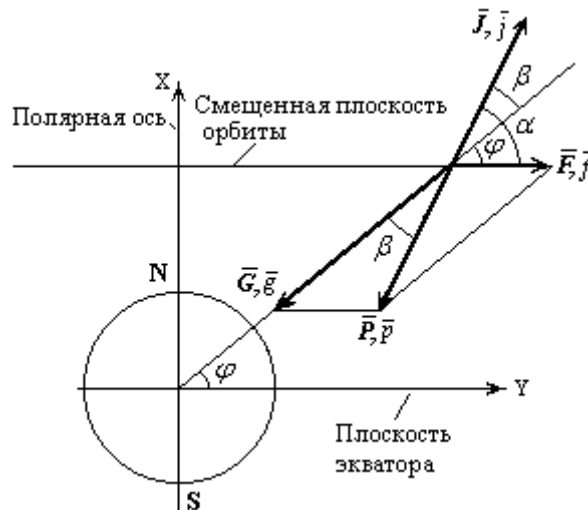


Рис. 1. Схема сил и ускорений, действующих на внеэкваториальный геостационарный ИСЗ

На рис. 1: G – сила притяжения спутника Землей; F – центробежная сила; P – их равнодействующая; J – поддерживающая сила, равная по величине и противоположная по направлению равнодействующей P ; φ – географическая широта точки зависания ИСЗ; α – угол между плоскостью экватора и вектором поддерживающей силы J ; β – угол между местной вертикалью ИСЗ и вектором поддерживающей силы.

Чтобы удержать спутник в равномерном круговом движении в новой, смещенной, плоскости орбиты, к нему следует приложить силу J , равную P по величине и противоположную ей по направлению.

Все силы, действующие на ИСЗ, лежат в меридиональной плоскости. Условие равновесия этих сил записывается в виде уравнений:

$$J \cos \alpha = G \cos \varphi - F, \quad (1)$$

$$J \sin \alpha = G \sin \varphi. \quad (2)$$

Возведя уравнения (1) и (2) в квадрат и сложив результаты, получаем величину поддерживающей силы J :

$$J = \sqrt{F^2 + G^2 - 2FG \cos \varphi}.$$

Разделив уравнение (2) на (1), находим величину угла α :

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi - \frac{F}{G}} \right). \quad (3)$$

Исключим из расчетов массу ИСЗ. Для этого заменим силы соответствующими им ускорениями: g – ускорение земного притяжения, f – центробежное ускорение, j – поддерживающее ускорение (рис. 1):

$$g = \frac{G}{m} = \frac{\mu}{r^2},$$

$$f = \omega_3^2 r \cos \varphi,$$

$$j = \frac{\mu}{r^2} \sqrt{1 + \frac{\omega_3^2 r^3}{\mu} \left(\frac{\omega_3^2 r^3}{\mu} - 2 \right) \cos^2 \varphi} \quad (4)$$

где r – геоцентрический радиус точки зависания внеэкваториального геостационарного ИСЗ,

ω_3 – угловая скорость вращения Земли,

μ – ее гравитационная постоянная.

Заменим также уравнение (4):

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi - \frac{\omega^2 r^3}{\mu} \cos \varphi} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{1 - \frac{\omega^2 r^3}{\mu}} \right). \quad (5)$$

С помощью этих уравнений можно рассчитать зависимость параметров движения внеэкваториального геостационарного ИСЗ по смещенной круговой орбите в плоскости, параллельной плоскости экватора, от величины приложенного к спутнику поддерживающего ускорения j . Уравнение изолиний этого ускорения j получаем из формулы (4):

$$\varphi = \arccos \sqrt{\frac{j^2 - \left(\frac{\mu}{r^2}\right)^2}{\left(\omega_3^2 r - 2\frac{\mu}{r^2}\right)\omega_3^2 r}}. \quad (6)$$

График семейства изолиний поддерживающего ускорения j для малой окрестности экваториальной геостационарной орбиты, рассчитанных по уравнению (6), показан на рис. 2.

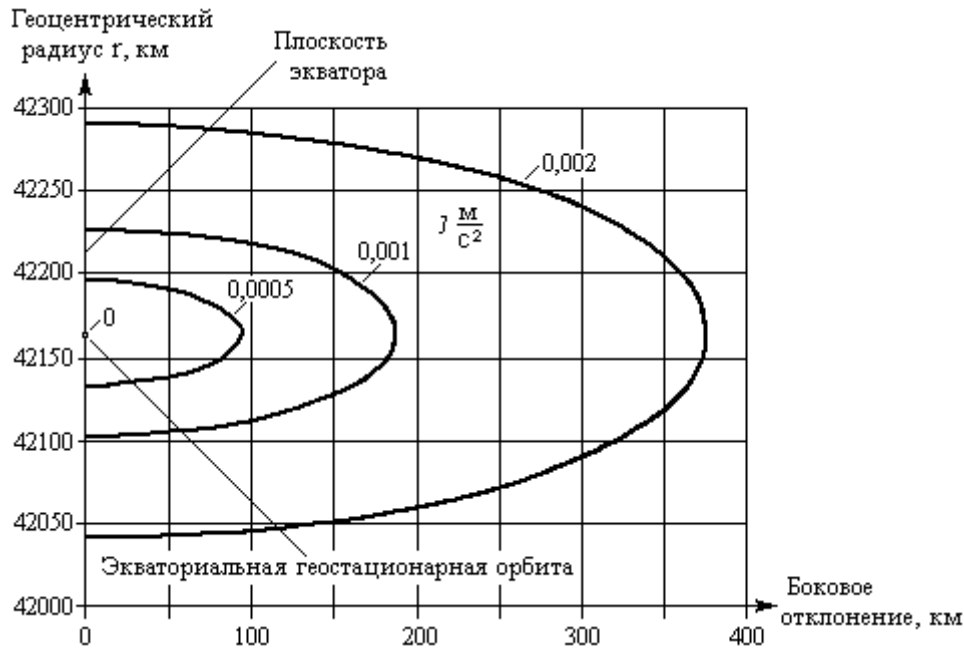


Рис. 2. Изолинии поддерживающего ускорения j в координатах: геоцентрический радиус – боковое отклонение от плоскости экватора

Из рис. 2 видно, что для смещения плоскости орбиты внеэкваториального геостационарного спутника на 100 км от плоскости экватора требуется приложить к спутнику ускорение j порядка $0,05 \text{ см/сек}^2$. Для круговых внеэкваториальных геостационарных орбит на других высотах и географических широтах график семейства изолиний поддерживающего ускорения показан на рис. 3.

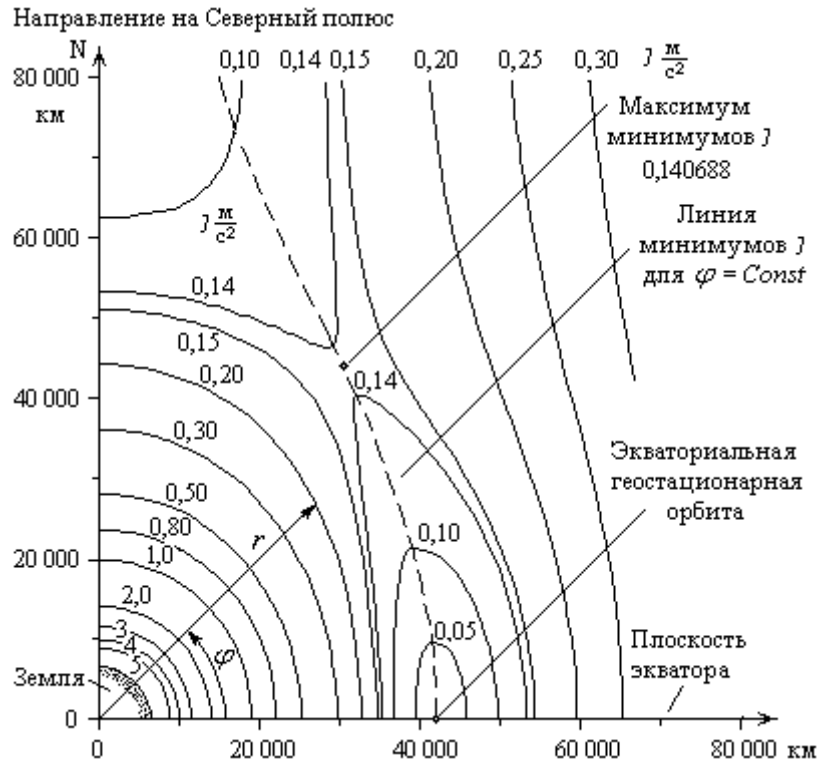


Рис. 3. Линии равных значений ускорений j , поддерживающих геостационарный спутник над точками поверхности Земли на различных географических широтах φ и геоцентрических радиусах r

К числу основных параметров, характеризующих режим движения внеэкваториального геостационарного ИСЗ, относится также угол β между вектором поддерживающего ускорения j и местной вертикалью в точке зависания, равный разности углов α и φ .

Уравнение изолиний параметра β выводится из соотношения $tg \beta = tg (\alpha - \varphi)$:

$$r = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\omega_3^2 \cos \varphi \left(\frac{\sin \varphi}{tg \beta} - \cos \varphi \right)}}$$

График этого уравнения приведен на рис. 4.

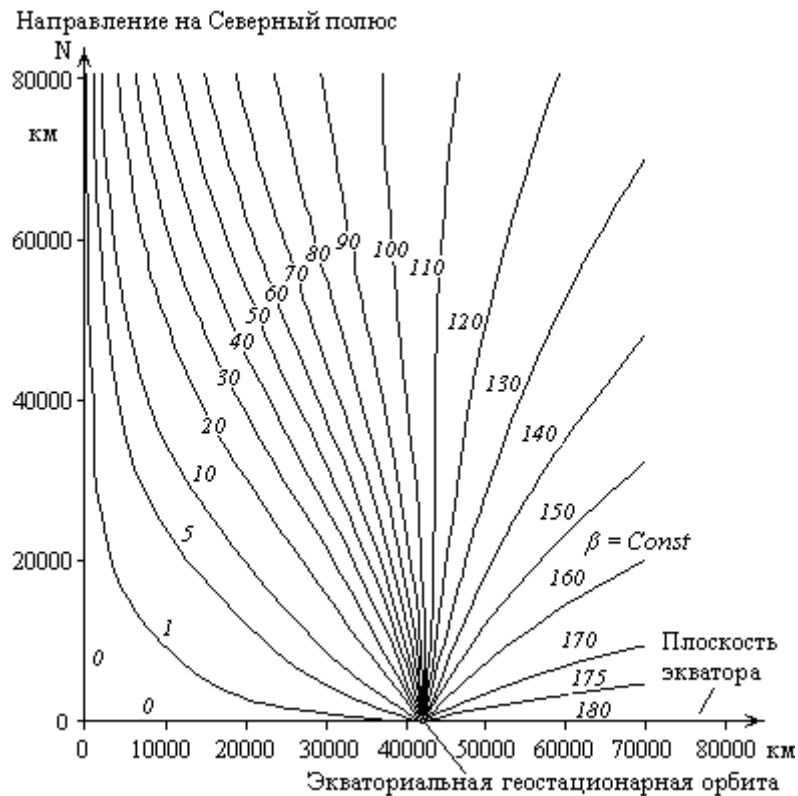


Рис. 4. Линии равных значений угла β между местной вертикалью и вектором поддерживающего ускорения j

Необходимо отметить, что после прекращения действия силы, удерживающей внеэкваториальный геостационарный ИСЗ над заданной точкой поверхности Земли, этот ИСЗ, при выполнении некоторых условий, может оставаться на орбите обычного ИСЗ, продолжать полет без дополнительных затрат энергии и в дальнейшем снова переводиться в режим зависания над поверхностью Земли. Необходимые для этого запасы топлива на борту ИСЗ, виды маневров и их характеристики, ограничения условий решения ими конкретных задач до настоящего времени не исследовались.

Оценка расхода массы и общих энергетических затрат на запуск и поддержание орбитального движения внеэкваториальных геостационарных ИСЗ при зависании на различных высотах и географических широтах

Энергетические затраты на выведение внеэкваториального геостационарного ИСЗ в точку зависания могут быть оценены по величине энергии, необходимой для вывода одного килограмма массы ИСЗ в эту точку [1]. Сумма потенциальной E_n и кинетической E_k энергий, которую имеет каждый килограмм массы внеэкватори-

ального геостационарного ИСЗ в точке зависания, пересчитывается в единый параметр – характеристическую скорость $V_{хар}$ по формуле

$$V_{хар} = \sqrt{2(E_n + E_k)} .$$

Первое слагаемое в правой части этой формулы представляет потенциальную энергию одного килограмма массы внеэкваториального геостационарного ИСЗ. Эти затраты энергии зависят только от расстояния от спутника до центра масс Земли. Второе слагаемое – кинетическая энергия одного килограмма массы внеэкваториального геостационарного ИСЗ. Она определяется суммой составляющей его переносной скорости V_{nep} в точке старта, являющейся следствием вращения Земли:

$$V_{nep} = \omega_3 R \cos \varphi ,$$

и приращения скорости ΔV , получаемого спутником в процессе его выведения в точку зависания:

$$\Delta V = V_{\text{вэз}} - V_{nep} , \quad (7)$$

где $V_{\text{вэз}}$ – орбитальная скорость внеэкваториального геостационарного ИСЗ в точке зависания.

У внеэкваториального геостационарного ИСЗ орбитальная скорость $V_{\text{вэз}}$ с увеличением высоты полета возрастает по закону

$$V_{\text{вэз}} = \omega_3 r \cos \varphi .$$

Подставляя это выражение в (7), получаем

$$\Delta V = \omega_3 (r - R) \cos \varphi .$$

В итоге характеристическая скорость внеэкваториального геостационарного ИСЗ как мера полученной им при запуске энергии рассчитывается по формуле

$$V_{хар \text{ вэз}} = \sqrt{2\mu \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) + [\omega_3 (r - R) \cos \varphi]^2} . \quad (8)$$

В этой формуле учтена переносная скорость в подспутниковой точке поверхности вращающейся Земли. Если разница широт точки старта внеэкваториального геостационарного ИСЗ невелика, то разницей переносных скоростей в этих точках при выполнении оценочных расчетов можно пренебрегать. Расчеты показали, что широта точки старта при запуске внеэкваториального геостационарного ИСЗ с применением ракеты-носителя практически совпадает с широтой точки его зависания.

У обычного ИСЗ широты точки старта и точки конца активного участка его выведения могут различаться значительно больше. Однако разница переносных скоростей в этих точках у него значительно меньше орбитальной скорости. Поэтому при выполнении оценочных расчетов ею также можно пренебрегать. На этом основании для обычного ИСЗ на круговой орбите характеристическая ско-

рость (с учетом переносной скорости в точке старта ракеты-носителя с географической широтой $\varphi_{старта}$) будем оценивать по формуле

$$V_{хар ИСЗ} = \sqrt{\mu \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) + \left(\sqrt{\frac{\mu}{r}} - \omega_3 R \cos \varphi_{старта} \right)^2} \quad (9)$$

Сравним характеристические скорости внеэкваториального геостационарного ИСЗ, зависящего на геоцентрическом радиусе r на географической широте φ , и обычного ИСЗ на круговой орбите с таким же геоцентрическим радиусом и наклонением орбиты $i = \varphi$. Решив совместно уравнения (8) и (9) относительно переменной φ , можно рассчитать и построить график линий равных значений их характеристических скоростей в полярных координатах: геоцентрический радиус – географическая широта точки зависания внеэкваториального геостационарного ИСЗ. Этот график показан на рис. 5. Из него видно, что на геоцентрических радиусах, меньших радиуса экваториальной геостационарной орбиты, энергетика выведения у внеэкваториального геостационарного ИСЗ существенно меньше, чем у обычного ИСЗ, и она уменьшается с уменьшением геоцентрического радиуса r .

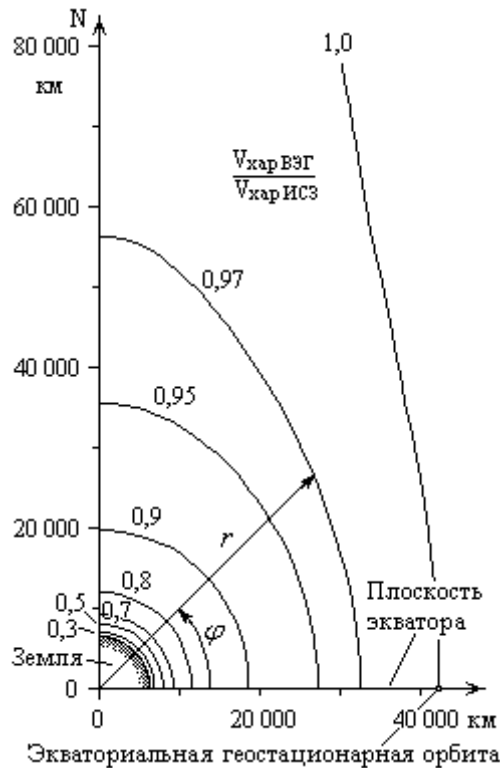


Рис. 5. Линии равных значений соотношений $V_{хар ВЭГ} / V_{хар ИСЗ}$ характеристических скоростей внеэкваториального и обычного ИСЗ в полярных координатах: геоцентрический радиус r – географическая широта φ

Для решения многих практических задач может быть полезным создание неподвижных относительно Земли носителей различной аппаратуры на высотах порядка 50–200 км. Рассмотрим особенности динамики внеэкваториальных геостационарных ИСЗ на этих высотах.

В космической баллистике [2], [3] при расчетах сопротивления воздуха летящему телу предполагается, что атмосфера вращается вместе с Землей.

Внеэкваториальный геостационарный ИСЗ стоит над определенной точкой поверхности Земли. Следовательно, он не имеет скорости относительно атмосферы и не испытывает ее сопротивления на любых высотах. Этот фактор важен, поскольку внеэкваториальный геостационарный ИСЗ в полете не теряет свою энергию, как теряют ее при движении относительно атмосферы обычные ИСЗ. Отсутствие сопротивления воздуха полету внеэкваториального геостационарного ИСЗ делает возможным его запуск на любые высоты над Землей в пределах ее атмосферы.

У внеэкваториального геостационарного ИСЗ приращение скорости при выведении его в точку зависания на высоты 50–200 км по сравнению с переносной скоростью в подспутниковой точке в сотни раз меньше, чем у обычного ИСЗ (рис. 6). Его характеристическая скорость на этих высотах невелика и практически не зависит от широты точки зависания (рис. 7).

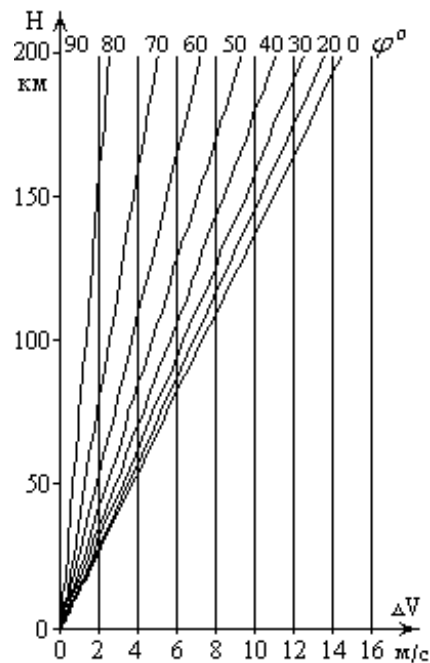


Рис. 6. Приращение ΔV скорости полета внеэкваториального геостационарного ИСЗ относительно переносной скорости в его подспутниковой точке на различных высотах H и географических широтах φ

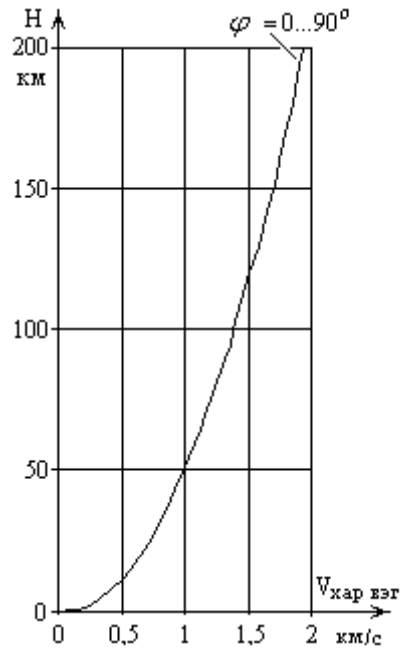


Рис. 7. Зависимость характеристической скорости $V_{\text{хар вэг}}$ внеэкваториального геостационарного ИСЗ от высоты точки зависания

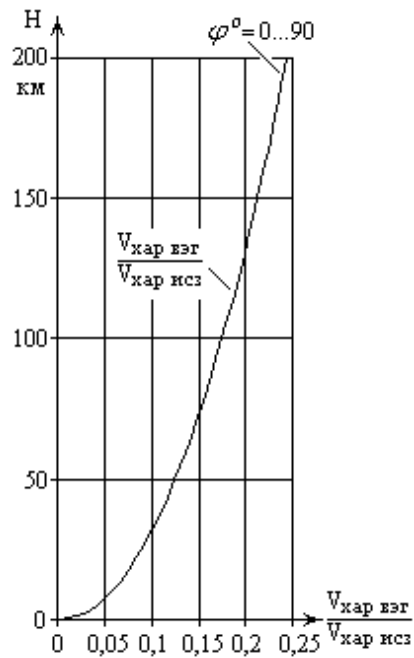


Рис. 8. Соотношения характеристических скоростей внеэкваториального геостационарного и обычного ИСЗ для одинаковых высот полета H

Для сравнения на рис. 8 показано соотношение характеристических скоростей внеэкваториального геостационарного ИСЗ, зависшего на высоте $H = 0 \div 200$ км, и гипотетического ИСЗ на круговой орбите с такой же высотой (если бы он мог поддерживать круговую скорость на этих высотах без затрат топлива).

Из этого графика наглядно видно, что энергетические затраты, необходимые для запуска внеэкваториального геостационарного ИСЗ вблизи Земли в несколько раз меньше, чем для запуска обычного ИСЗ.

Можно также сравнить энергетические затраты на выведение внеэкваториального геостационарного ИСЗ с энергетическими затратами на запуск баллистических ракет. Расчеты показали, что запуск внеэкваториального геостационарного ИСЗ на высоту 200 км по энергетике эквивалентен запуску баллистической ракеты с дальностью полета 500 км. На высоту 1000 км внеэкваториальный геостационарный ИСЗ может быть доставлен ракетой, дальность полета которой по баллистической траектории составляет 2000 км.

Отсюда следует вывод, что для запуска внеэкваториальных геостационарных ИСЗ могут использоваться баллистические ракеты малой и средней дальности, значительно более дешевые, чем ракеты-носители обычных ИСЗ.

Вторая составляющая энергетических затрат для внеэкваториального геостационарного ИСЗ – это затраты на его поддержание в точке зависания. Длительность поддержания внеэкваториального геостационарного ИСЗ на различных географических широтах и на различных высотах над Землей зависит от того, какой процент его массы составляет запас топлива для работы ракетных двигателей, создающих поддерживающую ИСЗ тягу, и от удельного импульса тяги его двигательной установки.

Суммарный импульс скорости $\Delta V_{\text{подд}} = j \Delta t$, затрачиваемый на поддержание такого спутника в течение интервала времени Δt , определяется по формуле:

$$\Delta V_{\text{подд}} = j \cdot t = I_y \ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta m}{m}}, \quad (10)$$

где $\Delta V_{\text{подд}}$ – суммарный импульс скорости,
 j – поддерживающее ускорение,
 Δt – длительность создания импульса скорости,
 I_y – удельный импульс тяги,
 m – начальная масса спутника,
 Δm – расход массы топлива на борту спутника.

Из формулы (10) можно получить зависимость для определения длительности поддержания режима зависания от относительного расхода массы ИСЗ и удельного импульса тяги

$$t = \frac{I_y}{j} \ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta m}{m}}, \quad (11)$$

где j берется из уравнения (4).

Результаты расчетов по формуле (11) зависимости длительности поддержания внеэкваториального геостационарного ИСЗ на удалении 1 км от плоскости экватора на орбите с таким же радиусом от относительного расхода его массы и удельного импульса тяги показаны на рис. 9, для геостационарного ИСЗ на удалении 10 км от плоскости экватора – на рис. 10.

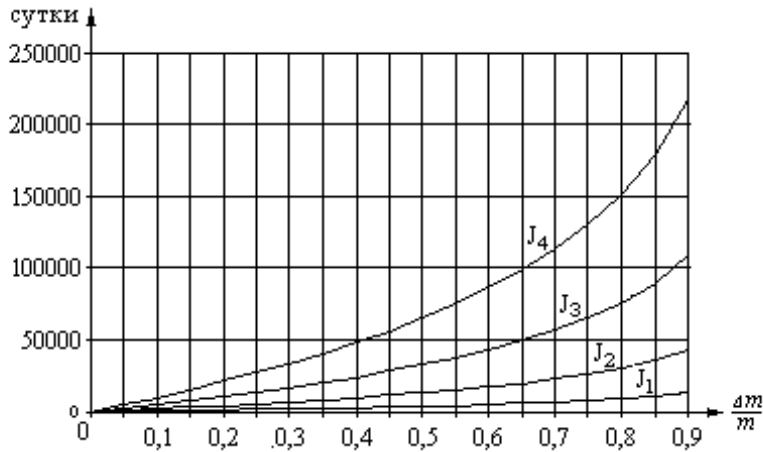


Рис. 9. Длительность поддержания режима зависания в зависимости от относительного расхода массы ИСЗ $\frac{\Delta m}{m}$ при смещении спутника от экватора в меридиональном направлении на 1 км. Удельные импульсы: $J_1 = 3$ км/сек (химическое топливо); $J_2 = 10$ км/сек (ЭРД); $J_3 = 25$ км/сек; $J_4 = 50$ км/сек (ЭРД, ЯРД)

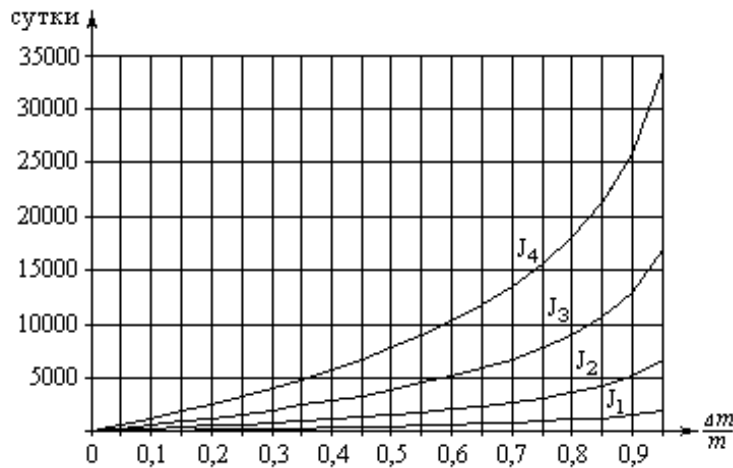


Рис. 10. Длительность поддержания режима зависания в зависимости от относительного расхода массы ИСЗ $\frac{\Delta m}{m}$ при смещении спутника от экватора в меридиональном направлении на 10 км. Удельные импульсы: $J_1 = 3$ км/с (химическое топливо), $J_2 = 10$ км/с (ЭРД), $J_3 = 25$ км/с, $J_4 = 50$ км/с (ЭРД, ЯРД)

Расчеты показывают, что вблизи экваториальной геостационарной орбиты поддержание внеэкваториальных геостационарных ИСЗ возможно даже при использовании современных химических топлив в течение нескольких месяцев при расходовании 10 ÷ 20 % их начальной массы.

В настоящее время уже существуют и используются на экваториальных геостационарных ИСЗ электрореактивные двигатели (ЭРД). Их применение может существенно улучшить технические характеристики внеэкваториальных геостационарных ИСЗ. В перспективе возможно применение на внеэкваториальных геостационарных ИСЗ более экономичных лазерных, ядерных (ЯРД), радиоизотопных, солнечных, импульсных и фотонных ракетных двигателей [4].

Общие энергетические затраты E_{Σ} на запуск и поддержание орбитального движения внеэкваториального геостационарного ИСЗ при зависании над заданными точками поверхности Земли на различных высотах и географических широтах на определенное время складываются из двух рассмотренных выше составляющих:

$$E_{\Sigma} = V_{хар} + \Delta V_{подд}.$$

На рис. 5 показано, что характеристическая скорость внеэкваториального геостационарного ИСЗ, зависящего на геоцентрическом радиусе r на географической широте φ , в определенных диапазонах радиусов орбит и географических широт может быть меньше, чем у обычного ИСЗ на круговой орбите с таким же геоцентрическим радиусом и наклоном орбиты $i = \varphi$.

При равных энергетических затратах на запуск обоих видов ИСЗ разность их характеристических скоростей определяет длительность существования внеэкваториального геостационарного ИСЗ. Из условия

$$\Delta V_{подд} = V_{хар ИСЗ} - V_{хар ВЭГ},$$

используя соотношение $\Delta V_{подд} = j\Delta t$ и уравнения (4), (8) и (9), получаем формулу для расчета этой длительности:

$$t = \frac{V_{хар ИСЗ} - V_{хар ВЭГ}}{j} = \frac{\sqrt{\mu \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) + \left(\sqrt{\frac{\mu}{r}} - \omega_3 R \cos \varphi_{старта} \right)^2} - \sqrt{2\mu \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) + [\omega_3 (r - R) \cos \varphi]^2}}{\frac{\mu}{r^2} \sqrt{1 + \frac{\omega_3^2 r^3}{\mu} \left(\frac{\omega_3^2 r^3}{\mu} - 2 \right) \cos^2 \varphi}}$$

Результаты расчетов по этой формуле представлены на рис. 11.

Дальнейшие исследования свойств внеэкваториальных геостационарных ИСЗ могут обнаружить новые возможности их применения.

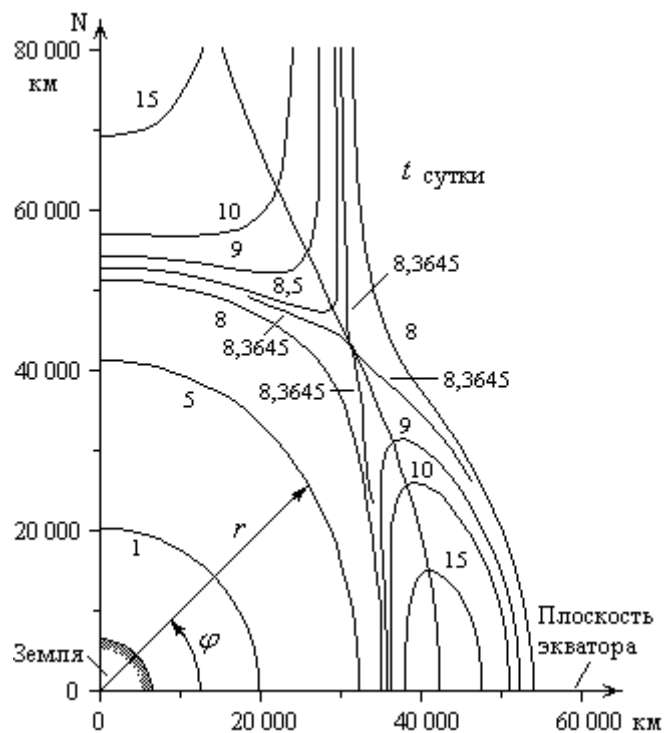


Рис. 11. Длительность t существования внеэкваториального геостационарного ИСЗ при его общих энергетических затратах, равных затратам на запуск обычного ИСЗ

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Полет космических аппаратов. Примеры и задачи. Под ред. Г.С. Титова. – М.: «Машиностроение», 1980. – С. 254.
- [2] Основы теории полета космических аппаратов. Под ред. Г.С. Нариманова и М.К. Тихонравова. – М.: «Машиностроение», 1972. – 607 с.
- [3] Беляков А.И. Графо-аналитический метод исследования движения космических аппаратов. – М.: «Машиностроение», 1973. – 148 с.
- [4] Космонавтика. Энциклопедия. / Гл. ред. В.П. Глушко; Ред коллегия: В.П. Бармин, К.Д. Бушуев, В.С. Верешетин и др. – М.: «Сов. Энциклопедия», 1985. – 528 с.

ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ПО ЛУННОЙ И МАРСИАНСКОЙ ПРОГРАММАМ

С.В. Игнатьев, В.П. Хрипунов

Канд. техн. наук, доцент, заслуженный испытатель космической техники С.В. Игнатьев; канд. техн. наук, доцент, заслуженный испытатель космической техники В.П. Хрипунов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

На основе анализа как традиционных, так и новых элементов полетной деятельности космонавтов при реализации лунной и марсианской программ предлагается номенклатура и принципы создания соответствующей тренажерной базы.

Ключевые слова: тренажер, унификация, модульность, повторное использование, масштабируемость, пропускная способность.

Simulator System for Cosmonauts Training on the Lunar and Martian Programs Objectives and Concepts. S.V. Ignatjev, V.P. Hripunov

The nomenclature and appropriate training equipment concepts based on the analysis of both traditional and new elements of the cosmonauts' flight activities in implementing the lunar and Martian programs are suggested.

Key words: simulator, standardization, modularity, reusability, scalability and throughput efficiency.

Важнейшей составной частью технических средств подготовки космонавтов являются тренажеры – сложные интерактивные обучающие эргатические системы, предназначенные для проведения комплексной и специализированной профессиональной подготовки космонавтов к управлению ПКА, эксплуатации их бортовых систем и научной аппаратуры, в том числе – в условиях воздействия факторов космического полета.

Будем считать, что основное предназначение тренажеров – обеспечивать завершающий этап наземной подготовки космонавтов к полету (3-й этап подготовки), а также подготовку в процессе его выполнения (4-й этап). При этом на Земле экипаж преимущественно отрабатывает типовые задачи программы, на борту – преимущественно поддерживает и совершенствует свою квалификацию в конкретных условиях полетной деятельности (условия освещенности и связи с Землей, начальный вектор состояния, вновь возникшие ограничения и т. п.).

Полетная деятельность космонавтов при реализации лунной и марсианской программ содержит как известные и традиционные операции, так и такие элементы деятельности, которые связаны с решением совершенно новых задач и использованием новых космических средств. К числу таких новых задач относятся:

- управление и телеуправление сборкой элементов космических комплексов;
- автономная навигация в межпланетном перелете;
- спуск, посадка и взлет с поверхности планеты;
- управление манипуляторами;
- управление и телеуправление планетоходами;
- автономная астроориентация при подлете к Земле;

- выживание в аварийных ситуациях при невозможности срочного возвращения на Землю;
- инспекция, ремонт или эвакуация неисправных беспилотных элементов системы транспортно-технического обеспечения нового поколения.

Анализ задач полетной деятельности космонавтов при реализации задач транспортно-технического обеспечения нового поколения (ТТОНП), объемов и интенсивности грузопотоков, а также длительностей пребывания экипажей на борту пилотируемых элементов ТТОНП позволяет формировать номенклатуру необходимых тренажеров с учетом следующих основных признаков:

- функциональность: тренажеры для перспективного транспортного корабля (ПТК), орбитального пилотируемого сборочно-экспериментального комплекса (ОПСЭК), манипуляторов, межпланетных экспедиционных комплексов, планетоходов;
- размещение: тренажеры наземные, бортовые, мобильные;
- автономность: тренажеры изолированные, тренажеры в составе тренажерного комплекса, тренажеры встроенные (в бортовое оборудование);
- по способу исполнения: тренажеры полунатурные, компьютерные.

Базовая номенклатура тренажеров, необходимых для подготовки экипажей по перспективной программе ТТОНП, может быть определена на основе имеющегося опыта подготовки экипажей по уже выполненным и текущим программам («Салют», «Буран», «Мир», МКС) [1], а также с учетом вновь возникающих задач подготовки и выглядит следующим образом.

Наземный комплекс тренажеров, содержащий:

- тренажеры автономного полета ПТК: тренажеры навигации, астроориентации, маневрирования, сближения, стыковки и перестыковки, в том числе с третьей ступенью ракеты-носителя (РН), ОПСЭК, ракетным буксиром (РБ), взлетно-посадочным комплексом (ВПК);
- тренажер сближения и стыковки взлетной ступени ВПК с ПТК;
- тренажер спуска и посадки возвращаемого аппарата (ВА) ПТК (динамический);
- тренажеры телеуправления (беспилотным грузовым кораблем, межорбитальным буксиром);
- тренажеры управления и эксплуатации ОПСЭК;
- тренажер манипуляторов (универсальный);
- тренажер управления (телеуправления) планетоходами;
- тренажеры для предстартовой подготовки.

Комплекс бортовых тренажеров, содержащий:

- компьютерные аналоги наземных тренажеров;
- встроенный тренажер навигации, маневрирования, сближения и стыковки;
- встроенный тренажер манипуляторов ОПСЭК;
- многоцелевой тренажерный модуль, включаемый в состав ОПСЭК, межпланетного экспедиционного комплекса, а также лунной и марсианской орбитальных станций и планетных баз.

В основу подхода к созданию тренажеров по перспективным пилотируемым программам должно быть положено несколько ключевых системотехнических принципов, опробованных в практике ЦПК имени Ю.А. Гагарина и обеспечивающих эффективное создание и использование тренажеров, а также их опережающее развитие:

- принцип унификации и модульности построения;
- принцип повторного использования технических решений;
- принцип масштабируемости тренажеров;
- принцип гарантированной пропускной способности тренажеров.

Принцип построения открытых модульных систем – **унификация и модульность** – особенно актуален для наземного комплекса тренажеров. При их проектировании необходимо учитывать, что околоземный и межпланетный пилотируемые комплексы будут развертываться поэтапно в течение длительного времени. При этом и состав, и цели функционирования их элементов будут подвержены постоянным изменениям. Как следствие – и тренажеры придется многократно модернизировать на фоне интенсивного их использования. Поэтому очевидно, что перспективные тренажеры должны быть спроектированы как открытые модульные системы.

Но способность обеспечивать непрерывную модифицируемость – не единственное преимущество тренажеров, построенных по принципам открытых модульных систем. Такое построение позволяет выделить в отдельную разработку и сопровождение несколько важных обеспечивающих тренажерных подсистем, имеющих инвариантные для тренажеров любой функциональности состав, структуру и функции. К числу таких подсистем относятся подсистемы связи, телевидения, электропитания, сетевые и вычислительные средства. Создание и сопровождение этих подсистем слабо связано с моделированием космического полета, а значит – они могут создаваться и тиражироваться параллельно с разработкой имитационных моделей. Такие тренажерные подсистемы приобретают черты систем коллективного использования, что потенциально обеспечивает значительные выигрыши. Многолетний опыт показывает, что разработка и ввод в эксплуатацию автономного специализированного тренажера осуществляется в течение не менее трех, а автономного комплексного – четырех лет. В то же время создание тренажеров на принципах открытых модульных систем (примером является тренажерный комплекс российского сегмента МКС) позволило сократить сроки ввода новых тренажеров в эксплуатацию как минимум на год, при этом стоимость их создания удалось снизить в среднем на 30% [2].

Многочисленные преимущества модульных систем, проявляющиеся при их изготовлении, эксплуатации и модернизации, приходится оплачивать существенными затратами времени и ресурсов на этапе проектирования, что далеко не всегда оказывается возможным. Наиболее эффективным является такое решение проблемы, при котором результаты выполненных разработок можно было бы использовать многократно. Поэтому важным принципом создания новых тренажеров для системы ТТОНП является принцип **повторного использования** («reuse») ранее обоснованных и опробованных проектных решений и технических продуктов. По разным оценкам, повторное использование алгоритмов и программ функционального моделирования в тренажерах позволяют на 20–40% снизить стоимость и время на новые разработки [3].

Задачи подготовки космонавтов требуют создания комплекса, включающего в себя как полнофункциональные комплексные тренажеры, так и специализированные тренажеры для тренировок по отдельным наиболее сложным и ответственным операциям. Кроме того, некоторые тренажеры одного и того же функционального назначения применяются не только для основной наземной подготовки, но и в периоды предстартового поддержания готовности, а также для полетной подготовки на борту ПКА. При этом космонавт (так же, как и инструктор) не

должен затрачивать лишнее время на адаптацию к тренажеру, связанную с его иным исполнением. Все перечисленное легко обеспечивается, если при создании комплекса тренажеров используется **принцип масштабируемости**. Масштабируемость тренажерного парка предполагает использование унифицированного набора программных (а по возможности – и аппаратных) компонентов тренажерных подсистем в тренажерах различного исполнения. Например, на комплексных тренажерах ТПК «Союз» и на компьютерных тренажерах для предстартовой подготовки космонавт работает с моделями бортовых систем одинаковой глубины моделирования и сложности, а управление тренировкой ведется с использованием одинаково привычных форматов. Это стало возможным благодаря тому, что и в полномасштабных, и в компьютерных тренажерах используются одни и те же компоненты специального математического обеспечения.

По некоторым оценкам [4], нынешнее количество космонавтов в мире (около 500 чел.) к 2020 году вырастет вдвое, а к 2030 – втрое (!). Эти цифры заставляют ожидать существенного роста интенсивности и суммарных объемов подготовки космонавтов в России. В связи с этим актуальна задача эффективного наращивания тренировочных мощностей Центра подготовки космонавтов, имеющее целью обеспечение требуемой пропускной способности каждого тренажера и всего тренажерного парка в целом. При определении оптимального состава и структуры средств тренажерной подготовки космонавтов должен использоваться принцип **гарантированной пропускной способности** этих средств. Многолетний (в течение предшествующих 20 лет) анализ загрузки комплексных тренажеров транспортного пилотируемого корабля типа «Союз» показал [5], что минимальному уровню резерва пропускной способности одного комплексного тренажера соответствует среднегодовая его загруженность порядка 80% годового рабочего времени, тогда как нормальным оказался уровень в 50%. В этих расчетах учтены обязательные затраты времени на профилактику, испытания и доработки тренажеров. Наличие резерва обеспечивает непрерывность подготовки требуемого количества экипажей с нормативным качеством и в нормативные сроки в следующих экстремальных условиях:

- параллельное проведение как подготовки космонавтов, так и модернизации части тренажерного парка;
- подготовка экипажей сразу по нескольким программам (например, при перемежающихся запусках транспортных кораблей различных модификаций).

Таким образом, анализ задач подготовки космонавтов к выполнению полетной деятельности космонавтов при реализации задач транспортно-технического обеспечения нового поколения позволяет определять номенклатуру (типологию) тренажеров для такой подготовки. С другой стороны, необходимое и достаточное количество тренажеров каждого типа и назначения определяется исходя из объемов и сроков подготовки при безусловном обеспечении резерва пропускной способности тренажеров.

Последовательное использование при создании тренажеров базовых системотехнических принципов (унификация и модульность подсистем, масштабируемость, повторное использование проектных и технических решений) способно обеспечить значительную (до 30%) экономию ресурсов, что позволит решить задачу опережающего создания необходимых средств подготовки экипажей в условиях постоянно растущего объема орбитальных транспортно-сборочных операций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Наумов Б.А., Шевченко Л.Е. Космические тренажеры. Этапы развития. / Учебно-справочное пособие. Звездный городок Московской области, Россия, 2008.
- [2] Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И., Безруков Г.В., Душенко А.Г., Жук Е.И., Зубов Н.Е., Макаров А.М., Наумов Б.А., Фоменко В.В. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. Под ред. В.Е. Шукшунова. – М.: Машиностроение, 2005.
- [3] D.M. Balda and D.A. Gustafson “Cost-Estimation Models for the Reuse and Prototype Software Development” ACM SIGSOFT, pp. 42-50, July 1990.
- [4] Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года. / Под ред. Б.Е. Чертока. Москва, изд-во «РТСофт», 2010.
- [5] Игнатъев С.В., Жохов А.И., Хрипунов В.П. Обоснование необходимости создания третьего комплексного тренажера корабля «Союз» в условиях увеличения численности экипажа МКС / Доклад. Третья Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос». Тезисы докладов, 2009.

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА

А.Н. Бабкин

Канд. техн. наук А.Н. Бабкин (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Значимость рассматриваемой темы определяется принципиальной важностью поиска системообразующих решений по организации перспективных работ и исследований, которые будут проводиться при внекорабельной деятельности (ВКД) экипажа на поверхности Луны, Марса, астероидов и орбитальных станций, в целях исключения принятия неэффективных решений на стадии проектной проработки. Средства обеспечения ВКД находятся в единстве и взаимодействии в границах объединенной системы, формируемой из планетной и орбитальной систем ВКД, что требует установления необходимого и достаточного минимума факторов и связей.

Ключевые слова: внекорабельная деятельность (ВКД), оптимизация, формирование системы, орбитальная или планетная ВКД.

Crew Extravehicular Activity Advanced System Analysis and Synthesis.

A.N. Babkin

The significance of the topic is determined by the fundamental importance of searching for systemic solutions in organization of perspective activities and researches that will be conducted during crew extravehicular activity (EVA) on the Moon, Mars, asteroids, and space stations surfaces, in order to avoid inefficient decisions at the design study stage. EVA support means are in unity and cooperation within the boundaries of the combined system, formed from the EVA planetary and orbital systems, and this requires the establishment of the necessary and sufficient minimum of factors and relationships.

Key words: extravehicular activity (EVA), optimization, system generation, orbital or planetary EVA.

Перспективу оптимизации внекорабельной деятельности (ВКД) можно рассматривать как наиболее полную реализацию функциональных возможностей человека в скафандре (защитном снаряжении) на поверхности Луны, Марса, астероидов и орбитальных станций.

Таким образом, требуется создание объединенной системы ВКД, которая, в отличие от существующих, функционирует в расширенном диапазоне экстремальных условий и состоит из исследовательских и биотехнических устройств. Процесс формирования этой системы, по аналогии с подходом, принятым при синтезе систем орбитальной [1] и планетной ВКД [2], можно представить как воздействие субъекта: космонавта в скафандре под избыточным давлением, находящегося на поверхности небесного тела (К), на объект исследования (ОИ) или целевого воздействия посредством научной аппаратуры (НА), методик (Мт) и исследовательских приспособлений (ИП), специально созданных для этой цели. Взаимодействие космонавта с эргономическими элементами системы, обеспечивающими его подвижность, жизнедеятельность и работоспособность, осуществляется через средства и способы рабочего позиционирования (РП), следующие интерфейсы: (И) научной аппаратуры, другого оборудования поддержки выхода (О), а также исследовательских приспособлений (П).

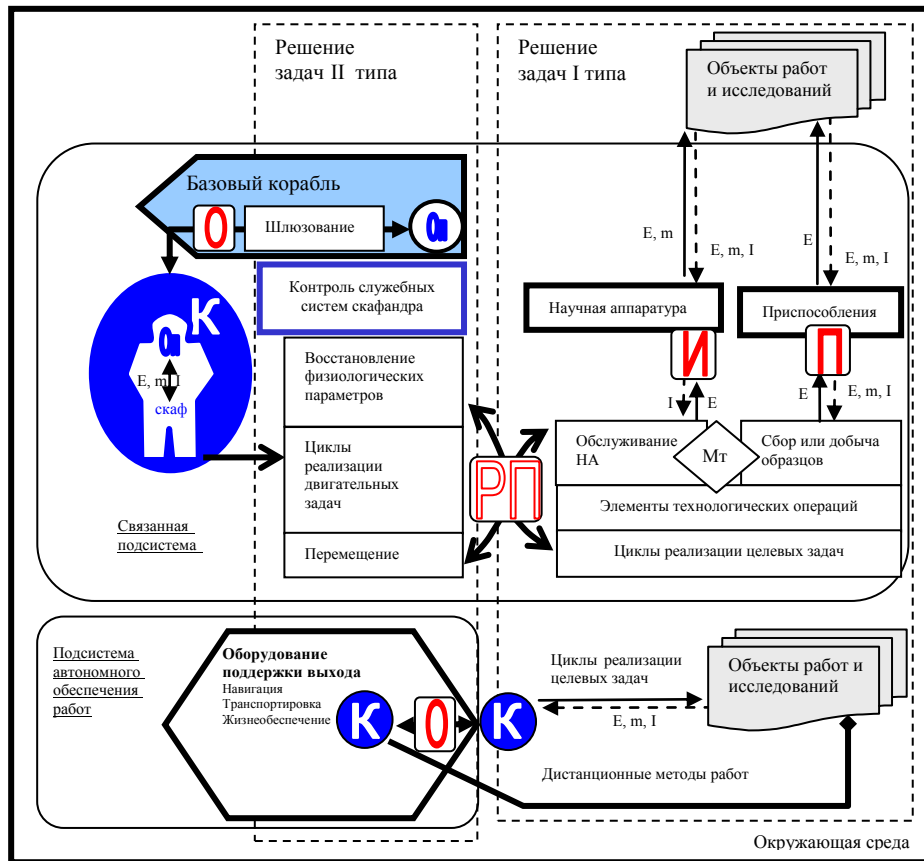


Рис. 1. Перспективная система внекорабельной деятельности экипажа

Обозначения: **Оп** оператор внутри гермокабины, **К** космонавт,
 – гермокабина, – негерметичный объем.
 Факторы эффективности ВКД: **РП** рабочее позиционирование (фиксация);
 Мг методики; эргономичность: **И** интерфейсов научной аппаратуры,
П исследовательских приспособлений, **О** оборудования поддержки выхода

В обозримой перспективе развития пилотируемой космонавтики станет востребована система ВКД (рис. 1), которая состоит из двух подсистем, обеспечивающих решение экипажем деятельностных задач двух типов: 1) исследовательских (сборочных, ремонтно-восстановительных или других целевых видов работ) и 2) вспомогательных, на различном расстоянии от базы.

Связанная подсистема (на удалении, ограниченном конструкцией связывающих элементов) функционирует без дополнительных устройств технической поддержки, как отграниченный объект в окружающей внешней среде небесного тела. Он взаимодействует с ней и обладает интегративными свойствами, не сводимыми к сумме свойств его компонентов. Компоненты, функционируя, реализуют

физические операции, для чего создают потоки преобразуемых веществ (m), энергии (E), информации (I) и других факторов. Такие потоки определенным образом объединяют и связывают компоненты и объекты их физических операций.

Для расширения границ рабочего пространства на поверхности исследуемых небесных тел применяется подсистема автономного обеспечения работ с использованием оборудования поддержки выхода.

Из используемой графической модели видно, что на конструкцию приспособления оказывают влияние: космонавт, методы и средства рабочего позиционирования (фиксации), конструкция оборудования базового корабля, приспособлений и научной аппаратуры и особенности реализуемой методики исследовательского или технологического процесса.

Выделенные компоненты дополняют друг друга и одновременно исчерпывают возможности данной системы. Выявленные связи элементов образуют замкнутую цепь и позволяют определить факторы, определяющие эффективность выполнения исследовательских операций экипажем и комплекс свойств, которыми должны обладать структурные элементы.

В настоящее время вопросы формирования структуры и содержания подсистемы технического обслуживания и ремонта КА при ВКД, которая входит в единую систему ВКД и обеспечивает решение экипажем ряда деятельностных задач, достаточно исследованы [3] и поэтому в данной работе не рассматриваются.

Следовательно, эффективность выполнения исследовательских операций находится в зависимости от следующих факторов:

- квалификация космонавта;
- позиционирование (фиксация) и поддержание его функционально-продуктивной позы;
- функциональные возможности космонавта, обеспечиваемые скафандром;
- уровень адаптации исследовательских методик к возможностям космонавта;
- уровень эргономичности и производительности оборудования и НА;
- уровень эргономичности и производительности приспособлений;
- уровень прилагаемых нагрузок;
- физические условия среды.

При анализе структуры перспективной системы ВКД устанавливается необходимый и достаточный минимум факторов и связей, определяющих характер создаваемых конструкций, с которыми взаимодействует космонавт:

К-П – воздействие космонавта на эргономичность конструкции приспособления (соответствие функциональным возможностям человека применительно к особенностям работы в скафандре);

К-И, К-О – воздействие космонавта на эргономичность конструкции интерфейсов научной аппаратуры и объектов оборудования поддержки выхода: их соответствие конструктивным и эксплуатационным особенностям работы в скафандре;

РП-П, РП-И, РП-О – воздействие методов и средств обеспечения рабочего позиционирования космонавта на эргономичность конструкции приспособлений, интерфейсов НА и оборудования поддержки выхода: характер и величина прилагаемых усилий; уровень практической подготовленности экипажа;

РП-К – влияние выбранной рабочей позы на приспособленность исследовательского процесса к возможностям космонавта; простота техники выполнения операции; отсутствие необходимости применения сложных мер безопасности;

ОИ-ИП, ОИ-НА – влияние физических условий на поверхности небесных тел на конструкцию приспособлений и научной аппаратуры: работоспособность и надежность конструкции; появляется необходимость минимизации веса, приспособлений и объектов НА;

Мт-ИП, Мт-НА – влияние выбранной исследовательской методики на величину прикладываемых нагрузок: сохранение работоспособности и исправности приспособлений и НА после воздействия транспортных (при посадке базового корабля, учет возможности утери при перемещении с использованием оборудования поддержки выхода) и эксплуатационных нагрузок, прикладываемых космонавтом.

Оценка эффективности исследовательских и вспомогательных работ может проводиться с использованием наиболее обобщенного критерия оптимальности человеческой деятельности – коэффициента загрузки оператора. Для оценки системы внекорабельной деятельности на поверхности Луны, Марса, астероидов и орбитальных станций представим его как Кпд – коэффициент полезной деятельности. Этот коэффициент будет учитывать «чистое» время результативной деятельности по отношению к общему времени «выхода», отведенному на деятельность вне герметичного объема:

$$Кпд = Трд / Твых,$$

где Трд – сумма времен (различных видов исследовательской или ремонтной деятельности), затрачиваемых на отдельные операции,

Твых – время пребывания космонавта на поверхности планет (ограничено возможностями системы жизнеобеспечения скафандра).

Поскольку предлагаемая автором система внекорабельной деятельности на поверхности небесных тел в целом предназначена для решения ряда задач двух типов, следовательно, время, затраченное для решения целевых задач, состоит из затрат на деятельность различных видов, а именно:

$$Твых = t_1 + t_{II} = (t_{сбо} + t_{добО} + t_{оНА}) + (t_{шлюз} + t_{служ} + t_{пр} + t_{вст}),$$

где t_1 – время, затраченное на решение исследовательских задач;

t_{II} – время, затраченное на решение вспомогательных задач, обеспечивающих работоспособное существование космонавта;

$t_{сбо}$ – время на сбор образцов;

$t_{добО}$ – добыча образцов с применением значительных физических усилий (кern, скол);

$t_{оНА}$ – время, затраченное на обслуживание научной аппаратуры;

$t_{шлюз}$ – время шлюзования из герметичного отсека при выходе и входе;

$t_{служ}$ – служебное время для контроля систем скафандра;

$t_{пр}$ – время перемещения космонавтов от базы к месту выполнения работ;

$t_{вст}$ – время восстановления нормальных физиологических параметров космонавта.

Тогда под эффективностью работы космонавта $K_Э$ будем понимать:

$$M[K_Э] = \frac{M[t_1]}{T_{вых}} = \frac{T_{вых} - M[t_{II}]}{T_{вых}},$$

где $M[K_Э]$ – математическое ожидание случайной величины эффективности;

$M[t_i]$ – математическое ожидание случайной величины результативного времени;

$M[t_{II}]$ – математическое ожидание случайной величины вспомогательного времени.

Отсюда видно, что максимум эффективности исследовательской работы космонавта достигается при минимуме величины вспомогательного времени.

Рассмотрим каждую из составляющих этого выражения при условии, что за время «выхода» космонавт переходил из работоспособного (р) в неработоспособное состояние (н), и после восстановления обратно (рнр) некоторое число раз – m , при решении задач II типа, тогда:

$$M[t_{II}] = m(t_{II}) = P_i(\text{рнр}) \sum_{i=1}^m [t_{\text{шлюз}}] + [t_{\text{ислуж}} + t_{\text{ипр}} + t_{\text{ивст}}] ;$$

где (t_{II}) – средние затраты времени на один элементарный переход (рнр);
 $i = 1 \dots m$ – номер перехода;

$P(\text{рнр})$ – вероятность перехода космонавта в неработоспособное состояние и обратно определяется как коэффициент готовности системы внекорабельной деятельности на поверхности небесных тел;

– при наличии отказов систем скафандра, за пределами досягаемости (или помощь при падениях и прочих затруднительных для самостоятельного выхода ситуациях), когда активный ремонт сможет проводить только один космонавт,

$$P(\text{рнр})_W = (K_{Г2})_W = \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2} ;$$

– либо при наличии отказов систем скафандра, в пределах зоны уверенной досягаемости, когда космонавт сможет проводить самостоятельно активный ремонт,

$$P(\text{рнр})_T = (K_{Г2})_T = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2} ;$$

– или при отдыхе, как средстве восстановления работоспособности,

$$P(\text{рнр})_Ф = (K_{Г2})_Ф = \frac{\mu_C^2}{(\lambda_Y + \mu_C)^2} .$$

Анализ временных составляющих показал следующее:

1. Время, которое затрачивают на выполнение операции шлюзования, характеризует инерцию связей подсистемы «космонавт», то есть, насколько быстро можно надеть скафандр, выйти на поверхность и вернуться.

$$t_{\text{шлюз}} = t_{\text{пш}} + t_{\text{ош}} + t_{\text{об}} ,$$

где $t_{\text{шлюз}}$ – время, которое затрачивают на выполнение операции шлюзования;

$t_{\text{пш}}$ – время прямого шлюзования (при выходе космонавтов на поверхность небесного тела),

$t_{\text{ош}}$ – время обратного шлюзования (при входе в герметичные отсеки),

$t_{об}$ – время, необходимое на обработку скафандра (деактивации перед выходом и после).

Сокращение этого времени возможно за счет модернизации шлюза (упрощение алгоритма управления шлюзованием) или применения скафандра, не требующего десатурационной процедуры, длительностью 1 час в прямом и обратном направлении.

$$2. t_{служ} = h_{взм} t_{взм} + h_{сам} t_{сам}.$$

Служебное время характеризует затраты на поддержку безопасного функционирования подсистемы «космонавт» (оператор-скафандр) и состоит из двух составляющих:

$t_{взм}$ – времени взаимоконтроля,

$t_{сам}$ – времени, необходимого для выполнения самоконтроля состояния систем скафандра,

h – требуемая инструкцией частота контроля параметров систем скафандра и взаимоконтроля.

При фиксированной h некоторое сокращение времени возможно за счет внедрения автоматической системы контроля параметров скафандра.

$$3. t_{пр} = t_{нав} + (L_{пр}/V_{пр}),$$

где $t_{пр}$ – время перемещения космонавтов (может быть существенно сокращено за счет применения вспомогательных средств и разработки стратегий их оптимального применения);

$L_{пр}$ – расстояние, на которое должен переместиться космонавт (к месту выполнения результативных операций и обратно);

$V_{пр}$ – скорость перемещения, которая определяется способом перемещения (пеший ход, с использованием рук или вспомогательных средств и т. п.);

$t_{нав}$ – время, затрачиваемое на навигационное обеспечение, может быть сведено к минимуму за счет применения автоматических систем с отображением информации на остекление скафандра.

4. При рассмотрении другой составляющей общего времени «выхода» выявлено следующее.

– Необходимость выбора светотеневой обстановки для увеличения качества распознавания может быть учтена в параметре затрат времени на рабочее позиционирование.

– Уменьшение времени захвата образца (или элементарной технологической операции) возможно за счет создания спецприспособлений; время идентификации и документирования образца сократится при использовании информационной системы. Время укладки образца можно сократить за счет применения эргономичного контейнера полезного груза.

– Затраты времени на рабочее позиционирование (фиксацию) позволят сократить учет границ зоны деятельности при конструировании приспособлений. Большой объем тренировок в скафандре повысит силу воздействия, развиваемую космонавтом, коэффициент качества изысканий и понизит влияние коэффициента, учитывающего сложность выполнения операции из-за ограничений, накладываемых скафандром.

– Снижение времени непрерывной деятельности, частоты повторений требуемой локомоции, избыточного давления в скафандре желательно для большей энергоотдачи подсистемы «космонавт».

– Параметр время поиска в сопроводительной документации соответствующего раздела сократится при использовании информационной системы.

– Затраты времени на рабочее позиционирование позволят сократить конструктивные меры размещения оборудования или его обслуживаемых элементов в границах зоны деятельности и их эргономическая проработка.

При появлении прототипа более подвижного скафандра и соответствующего оборудования коэффициент полезной деятельности может рассчитываться для конкретного режима, конкретного алгоритма деятельности космонавта или способа представления информации, конкретных используемых управляющих воздействий учетом построения характеристик систем, которыми производится управление.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александров А.П., Гречка В.Д., Кобрин В.Н., Цыганков О.С. Сборочно-монтажные и ремонтно-восстановительные работы в космическом пространстве: Учеб. пособие для вузов. – Харьков: ХАИ, 1990. – 248 с.
- [2] Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Анализ и синтез системы обеспечения процесса исследований на поверхности Марса / 10-я Международная конференция «Системный анализ, управление и навигация», Евпатория. 2005: Тез. докл. – М: Изд-во МАИ, 2005. – С. 40–41.
- [3] Крючков Б.И. Техническое обслуживание и ремонт в космосе / Учебно-справочное пособие / Часть 1 / Звездный городок, 2010. – 257 с.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ОРИЕНТАЦИИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

А.А. Митина

Канд. тех. наук А.А. Митина (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются развитие астрономических средств навигации и ориентации пилотируемых космических аппаратов и методов их применения в космическом полете, особенности использования автономных средств навигации космических аппаратов в связи с развитием пилотируемой космонавтики. Отмечается, что с развитием астрономических средств навигации и ориентации возрастают требования к уровню подготовки космонавтов к выполнению космического полета и к самому процессу подготовки космонавтов к работе с автономными средствами навигации.

Ключевые слова: астрономические средства навигации и ориентации, автономные средства навигации, методы применения астрономических приборов навигации и ориентации, подготовки космонавтов к работе с автономными средствами навигации.

Some of the Manned Space Systems Astronomical Orientation Tools Development and USE Issues. A.A. Mitina

We consider the development of manned space vehicles astronomical navigation and orientation tools and their usage methods in space flight, peculiarities of space vehicles autonomous navigation tools usage in connection with the development of manned spaceflight. It is noted that with the development of astronomical navigation and orientation tools, the requirements to cosmonaut training level for performing a space flight and to cosmonaut training process itself for operating with autonomous navigation tools are rising.

Key words: astronomical navigation and orientation tools, autonomous navigation tools, usage methods of astronomical navigation and orientation tools, training cosmonauts to work with autonomous navigation tools.

Развитие астрономических средств навигации и ориентации пилотируемых космических аппаратов (ПКА) и методов их применения в космическом полете было предопределено развитием самой пилотируемой космонавтики. А опыт создания и использования этих средств может послужить на пользу дальнейшему развитию и совершенствованию имеющихся и созданию новых более эффективных средств, базирующихся на достижениях современной науки и техники с использованием новых технологий.

Автономные средства навигации в своей работе используют астрономические приборы навигации и ориентации (астроориентаторы, секстанты, визиры), а также средства отображения навигационной обстановки ПКА.

В начале освоения космического пространства на пилотируемых космических аппаратах устанавливались астрономические приборы, предназначавшиеся для решения более скромных задач по сравнению с задачами, решаемыми современными средствами.

Так, в 1962–1964 годах Уральским оптико-механическим заводом был разработан малогабаритный секстант СМК, предназначенный для определения места приземления космонавта.

Затем в 1968 году, там же, разрабатывался астроориентатор АО-1 для трехосной ориентации лунных космических аппаратов. В октябре 1969 года этот прибор проходил качественные испытания на космическом корабле (КК) «Союз-6».

В 1967–1970 годах Киевским заводом «Арсенал» изготавливались секстанты типа «Цель», С-1 для решения задач навигации при полете к Луне. Эти секстанты в семидесятые годы использовались для трехосной ориентации КК «Союз».

В восьмидесятых годах прошлого века Уральским оптико-механическим заводом разрабатывался астроориентатор АСВ-1 для трехосной ориентации орбитальных станций «Салют» и «Мир».

В девяностых годах прошлого века разрабатывался астрономический визир ДПТО (дополнительный прибор точной ориентации) для точной ориентации орбитальной станции «Мир».

В настоящее время из астрономических приборов навигации и ориентации для коррекции положения в пространстве Международной космической станции (МКС) в штатном режиме используются «Пума» и ВП-2 (визир-пилота). Эти приборы были разработаны в конце девяностых годов.

С развитием космонавтики развивались и астрономические приборы навигации и ориентации, а также и методы их применения.

Для обеспечения решения навигационных задач первых пилотируемых космических полетов использовались астрономические средства, реализующие позиционный астрономический метод определения долготы и широты космического аппарата. Существуют две разновидности этого метода.

1. Позиционный метод определения координат места посадки экипажа ПКА по измерениям высот двух светил относительно истинного горизонта. Этот метод предназначался для использования в нештатных ситуациях. Для этих целей была разработана серия малогабаритных секстантов СМК (секстант малогабаритный космонавта), СМК-2, СМК-3, в которых и был реализован этот метод определения координат ПКА. Первые образцы приборов этой серии из-за низкой их надежности не выдержали государственных испытаний. Секстанты СМК последней модификации длительное время использовались для определения широты и долготы точек посадки космического аппарата. Со временем эти астрономические приборы, в силу того, что они обладали низкой точностью определения координат места посадки, были сняты с производства.

Среднеквадратическая погрешность определения места посадки с помощью секстантов СМК характеризовалась величиной $\sigma = 20$ км. При этом погрешность определения координат места посадки зависела от инструментальных ошибок прибора и от разности азимутов светил, выбранных для решения задач навигации, и определялась с помощью следующих уравнений:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta h_1 \cdot \sin A_2 - \Delta h_2 \cdot \sin A_1}{\sin(A_2 - A_1)};$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta h_1 \cdot \cos A_2 - \Delta h_2 \cdot \cos A_1}{\cos \varphi \cdot \sin(A_2 - A_1)};$$

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 - 2 \cdot \Delta h_1 \cdot \Delta h_2 \cos(A_2 - A_1)}{\sin(A_2 - A_1)}},$$

где $\Delta h_1, \Delta h_2$ – инструментальные погрешности измерения высот светил;

A_1, A_2 – азимуты выбранных светил;

φ – широта места посадки ПКА;

$\Delta \varphi, \Delta \lambda$ – погрешности определения широты и долготы места посадки ПКА;

ΔS – общая погрешность определения места посадки ПКА.

2. Позиционный астрономический метод определения навигационных параметров пилотируемого космического аппарата по измерениям высот светил относительно видимого горизонта Луны и Земли использовался в программах полета Л-1 и Л-3, предусматривающих облет и посадку ПКА на Луну.

Если при измерении высот светил относительно истинного горизонта поверхностью положения ПКА является конус, своей вершиной совпадающий с центром Земли, то в случае измерения высот светил относительно видимого горизонта поверхностью положения ПКА будет также конус, но его вершина будет лежать на линии, соединяющей центр Земли (Луны) с направлением на светило.

Такие свойства рассматриваемого позиционного метода определения навигационных параметров пилотируемого космического аппарата позволяют определить не только сферические координаты положения ПКА в пространстве, но и величину радиус-вектора ПКА. Для решения этих задач необходимо было выполнить не менее четырех измерений, которые выполнялись с помощью секстантов «Цель» или С-1. Расчеты координат места положения и высоты полета ПКА по результатам измерений выполнялись на борту пилотируемого космического аппарата с использованием бортовых вычислительных средств. В качестве бортовых вычислительных средств использовалась вычислительная машина «Салют». Для расчетов использовалась следующая система уравнений:

$$\sin(h_1 + \varepsilon_{\text{Л}}) = \sin \delta_1 \cdot \sin \delta + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha);$$

$$\sin(h_2 + \varepsilon_{\text{Л}}) = \sin \delta_2 \cdot \sin \delta + \cos \delta_2 \cdot \cos \delta \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha);$$

$$\sin(h_3 + \varepsilon_3) = \sin \delta_3 \cdot \sin \delta + \cos \delta_3 \cdot \cos \delta \cdot \cos(\alpha_3 - \alpha);$$

$$\sin(h_4 + \varepsilon_3) = \sin \delta_4 \cdot \sin \delta + \cos \delta_4 \cdot \cos \delta \cdot \cos(\alpha_4 - \alpha),$$

где $h_i + \varepsilon_{\text{Л}}$ – измеренные высоты светил относительно видимого горизонта Луны;

– измеренные высоты светил относительно видимого горизонта

$h_i + \varepsilon_3$ Земли;
 $\varepsilon_{ЛЗ}$ – углы понижения видимого горизонта, который определяется по формуле

$$\varepsilon_{Л,З} = \arccos \frac{R_{Л,З}}{R_{Л,З} + H_{Л,З}};$$

$R_{Л,З}$ – радиус Земли (Луны);
 $H_{Л,З}$ – высота полета над Землей (Луной);
 δ_i, α_i – склонение и прямое восхождение светил, выбранных для навигации;
 δ, α – склонение и прямое восхождение ПКА.

Система уравнений содержит четыре неизвестных ($\varepsilon_{Л,З}, \varepsilon_3, \delta, \alpha$). Ее решение позволяет определить и сферические координаты ПКА (δ, α), и радиус-векторы ПКА ($r_{Л,З}$) при полете к Луне. При этом среднеквадратическая погрешность определения места положения ПКА не превышала 10 км при удалении от центра Земли на расстояние 300 000 км. На таком большом удалении угловая скорость движения космического аппарата составляла несколько угловых секунд за минуту времени. В этих условиях при измерении высот светил к интервалам времени между измерениями не предъявлялось таких высоких требований, как в условиях приземного космического полета на высотах менее 500 км, где этот метод не может быть использован вследствие больших угловых скоростей движения ПКА (4 °/мин) и жестких требований к интервалам между навигационными измерениями.

В приземном полете ПКА для решения навигационных задач может найти применение скоростной астрономический метод, суть которого заключается в том, что по изменениям горизонтальных координат светил в полете вычисляются сферические координаты ПКА.

Следует отметить, что астрономические приборы ранее успешно использовались для определения сферических координат ПКА, а сейчас для решения задач навигации не используются. В настоящее время астрономические оптико-визуальные средства используются для ориентации пилотируемых космических аппаратов в пространстве.

В условиях космического полета используется несколько методов астрономической трехосной ориентации ПКА. К их числу можно отнести следующие:

- сравнительный метод;
- метод пеленгации светил одной плоскостью;
- метод пеленгации светил не «связанными» между собой взаимно перпендикулярными плоскостями;
- метод пеленгации светил «связанными» между собой взаимно перпендикулярными плоскостями.

Сравнительный метод ориентации пилотируемых космических аппаратов

В основе сравнительного метода ориентации пилотируемого космического аппарата лежит совмещение искусственной небесной сферы, связанной со строительными осями ПКА, с естественной небесной сферой. При совмещении искусственной небесной сферы с естественной небесной сферой определяется трехосная ориентация ПКА в пространстве. Этот метод реализован в астрономических приборах АО-1, АО-2. Пробразом этих приборов является астрокоординатор «Сфера», предназначенный для определения координат места и истинного курса аэродинамических аппаратов. По результатам государственных испытаний астрокоординатора «Сфера» на самолете Ан-12 среднеквадратическая погрешность определения координат места составила 4 угловых минуты, а истинного курса – 10 угловых минут. Поскольку по своему конструктивному исполнению и методу работы астроориентаторы АО-1 и АО-2 являются аналогами прибора «Сфера», то следует ожидать, что точность определения трехосной ориентации ПКА с помощью приборов АО-1 и АО-2 не будет превышать 10–15 угловых минут. В условиях космического полета проводилась качественная оценка возможностей применения этих приборов для трехосной ориентации космических кораблей «Союз-6, 7, 8». Материалов их количественной оценки нет.

Метод пеленгации светил одной плоскостью

Метод пеленгации светил одной плоскостью отражает принцип трехосной ориентации ПКА, реализуемый путем совмещения оптической оси неподвижной зрительной трубы, жестко связанной с ПКА, с одним небесным светилом, а подвижной зрительной трубы с другим светилом. Подвижная зрительная труба вращается относительно двух осей, одна из которых совпадает со зрительной осью неподвижного канала, а другая ось перпендикулярна первой оси.

По своему принципу пеленгации светил рассматриваемый метод аналогичен астрономическому методу измерения истинного курса, воплощенному в астрономических горизонтальных курсовых приборах и системах навигации (дистанционные астрономические компасы дальнего бомбардировщика ДАК-ДБ и истребителя ДАК-И, астроориентатор БЦ-63, астроориентатор «Полнос» и др.).

В космическом полете этот метод реализовывался с помощью секстантов «Цель» и С-1, предназначенных для решения задач навигации при полете ПКА к Луне. Приборы «Цель» и С-1 прошли качественную оценку в космическом полете на КК «Союз» при определении возможности их применения для трехосной ориентации пилотируемых космических аппаратов. Количественная оценка параметров этих приборов в космическом полете не проводилась. В наземных условиях количественная оценка параметров этих приборов проводилась по измерениям угловых расстояний между выбранными светилами. Среднеквадратическая погрешность определения углового расстояния для приборов «Цель» и С-1 составила 15–20 угловых секунд. Можно ожидать, что точность трехосной ориентации ПКА с помощью приборов «Цель» и С-1 будет характеризоваться погрешностью 25–30 угловых секунд.

Метод пеленгации светил двумя взаимно перпендикулярными не «связанными» между собой плоскостями

Метод пеленгации светил двумя взаимно перпендикулярными не «связанными» между собой плоскостями заключается в том, что поочередно пеленгуются два светила двумя взаимно перпендикулярными плоскостями, проходящими через светило и центр небесной сферы.

Аналогичного метода применения астрономических приборов в самолетовождении и кораблевождении нет. В космонавтике этот метод реализован в приборах ДПТО (дополнительный прибор точной ориентации), ВП-2 и «Пума». Приборы ДПТО и ВП-2 были установлены на борту станций «Мир», для ориентации Международной космической станции используются приборы ВП-2 и «Пума». Эти приборы используются при коррекции положения в пространстве МКС при работе в штатном режиме.

Известно, что для однозначного определения координат места и ориентации пилотируемого космического аппарата требуется не менее трех светил. Однако этот метод позволяет выполнить однозначную ориентацию ПКА по двум светилам. При отклонении визирных осей от нулевого значения со шкал приборов снимается не только абсолютная величина, но и ее знак, что и позволяет однозначно решить задачу ориентации ПКА по двум звездам.

Метод пеленгации светил двумя взаимно перпендикулярными «связанными» между собой плоскостями пеленгации

Суть метода пеленгации светил двумя взаимно перпендикулярными «связанными» между собой плоскостями пеленгации заключается в том, что одновременно пеленгуются два светила двумя плоскостями пеленгации, одна из которых проходит через два светила, а вторая перпендикулярна первой и проходит через одно из используемых светил.

Аналогов применения такого метода для решения задач вождения морских и воздушных судов нет. Одновременная пеленгация светил двумя взаимно перпендикулярными плоскостями обеспечивает менее жесткие требования к выбору светил в ограниченных полях обзора небесной сферы. На космической станции «Мир» был установлен специальный астроориентатор АСВ-1, реализующий этот метод.

В условиях космического полета все вышеуказанные астрономические приборы могут быть применены только на неосвещенной Солнцем части орбиты. Из этого следует, что вероятность их применения по условиям естественного освещения при высотах полета 300–400 км не будет превышать 0,3. Это утверждение следует из результатов экспериментов, проведенных в 1965 году на КК «Восход» Беляевым П.И. и в 2000 году на станции «Мир» Мусабаевым Т.А. В условиях космического полета через иллюминаторы, неосвещенные Солнцем, на дневной части орбиты видны только планеты: Венера, Марс и Юпитер. Поэтому астрономические приборы могут быть применены только на неосвещенной Солнцем части орбиты.

Работа с астрономическими средствами навигации и ориентации предусматривает использование средств отображения навигационной обстановки ПКА. Основной задачей при создании бортовых средств отображения навигационной обстановки является проблема обеспечения максимального приближения синтезируемого изображения земной поверхности или какой-либо другой планеты к ре-

альному изображению планеты, которое космонавт может наблюдать в космическом полете.

Можно отметить, что и развитие пилотируемой космонавтики в свою очередь тесно связано с развитием астрономических средств навигации и ориентации, обеспечивающих функционирование ПКА во время космического полета.

Со временем менялось отношение к такому важному вопросу, как использование автономных средств навигации космических аппаратов в космическом полете.

Так, в 60-х годах создавались системы автономной навигации. В это время предполагалось, что задачи навигации будут решаться не только на Земле, но и непосредственно на борту. Но такой подход к решению этих задач требовал применения вычислительных машин с быстродействием, которое в то время электронная промышленность обеспечить не могла.

В начале 70-х годов пришли к успешно используемым до настоящего времени методам решения задач навигации на Земле в Центре управления полетами с последующей выдачей управляющих сигналов на борт ПКА с помощью радиотехнических средств.

В настоящее время ожидается существенное изменение в отношении к использованию автономных средств навигации в космическом полете. Использование принципиально новых средств – спутниковых навигационных систем «ГЛОНАСС» и «НАВСТАР», бесплатформенных инерциальных систем навигации, цифровых астрономических пеленгаторов и возможность установки на борт ПКА современной вычислительной техники позволяют полностью решать навигационные задачи непосредственно на борту на высоком качественном уровне. Что, в свою очередь, позволяет решать и вопросы навигационного обеспечения пилотируемых полетов как в околоземном пространстве, так и полетов на Луну и Марс.

Следует особо подчеркнуть, что решение задач навигации непосредственно на борту – один из самых сложных вопросов, связанных с управлением космическим аппаратом. Необходимо учитывать, что при решении задач навигации на борту космонавт будет принимать в них непосредственное участие, т.е. меняются подходы к решению проблемы человек–техника при создании навигационных систем управления пилотируемыми космическими полетами.

Такое отношение к использованию автономных средств навигации выдвигает более высокие требования к уровню подготовки космонавтов к выполнению космического полета, а значит, и к самому процессу подготовки космонавтов к работе с этими средствами. Эти требования касаются как содержания учебного материала, который усложняется с развитием технических средств, так и поиска новых средств и методов подачи учебного материала.

Таким образом, опыт разработки и применения автономных астрономических средств навигации может быть полезен при проектировании современных бортовых навигационных средств и в перспективных разработках методов автономной навигации, в том числе предусматривающих применение спутниковых навигационных систем в учебном процессе при подготовке космонавтов к работе с этими средствами.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ

О.С. Малиновская, Р.Н. Ризакханов

Канд. физ.-мат. наук О.С. Малиновская; канд. физ.-мат. наук Р.Н. Ризакханов
(ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)

Полноценное освоение космического пространства невозможно без организации пилотируемых экспедиций. Это означает создание среды обитания экипажей для решения различных задач. Нанотехнологические разработки станут незаменимы при создании материалов для скафандров следующего поколения, новых лекарственных препаратов, витаминов, диагностической аппаратуры и медицинского оборудования, ремонтнопригодных и самовосстанавливающихся устройств окружающей среды, средств контроля и др.

Ключевые слова: Нанотехнологии, наноматериалы, наномедицина, самовосстановление, контроль.

Prospects of Nanotechnology Application in Cosmonaut Life Support Systems. O.S. Malinovskaya, R.N. Rizakhanov

Comprehensive space exploration is not possible without implementation of manned expeditions. It means the requirement of creating a crew environment for solution of various tasks. Nanotechnological developments will be very important for creation of materials for next generation spacesuits, new medicines, vitamins, diagnostic and medical equipment, serviceable and self-recovering environment devices, monitoring means, etc.

Key words: Nanotechnologies, nanomaterials, nanomedicine, self-recovering monitoring.

Введение

Полноценное освоение космического пространства невозможно без организации пилотируемых экспедиций. Это означает создание среды обитания экипажей для решения различных задач. В частности, среди ближайших задач можно отметить модернизацию станции МКС на орбите Земли, задач завтрашнего дня – создание долговременных станций на орбите Луны, отдаленного будущего – многоразового марсианского орбитального комплекса, лунной базы 1.

Создание систем жизнеобеспечения включает в себя решение обширного комплекса задач:

- разработка нормативов среды обитания космонавтов с учетом комфортности, безопасности и биологической полноценности;
- обеспечение ремонтнопригодности систем и их надежности;
- создание диагностического комплекса для определения физического состояния космонавта;
- разработка систем оперативного лечения и восстановления организма;
- рациональное использование продуктов жизнедеятельности;
- создание скафандров для работы в различных условиях (открытый космос, выход на планету, отдых и т.д.);
- наземная и космическая отработка систем обеспечения и т.п.

Нанотехнологические разработки могут быть применены при создании материалов для скафандров следующего поколения, новых лекарственных препара-

тов, витаминов, диагностической аппаратуры и медицинского оборудования, ремонтпригодных и самовосстанавливающихся устройств окружающей среды, средств контроля и др.

Среда обитания космонавтов

Среда обитания является ключевой при проработке длительных пилотируемых экспедиций и концепции космического туризма на космических станциях, космических кораблях, на планетных базах (Луна, Марс). В данной системе возможно множественное применение нанотехнологических разработок.

Прежде всего, это проблема обеспечения энергией среды обитания. Нанотехнологические разработки способны повысить эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую, ее хранения, передачи и применения. Энергия является краеугольным камнем создания среды обитания и обеспечения ее комфортности и безопасности.

Комплекс вопросов, связанных с обеспечением кислорода и питьевой воды, мониторингом давления воздуха, ее температуры и влажности, состава, поглощения и сброса тепловых потоков, удаления двуокиси кислорода и др. уже сейчас исследуется ведущими организациями мира.

Так, вопрос хранения газов может быть решен двумя способами:

– созданием сильнопористых структур с высокой удельной поверхностью ($100\text{--}1000\text{ м}^2/\text{г}$);

– применением сверхпрочных композитных материалов.

Оба способа находятся в поле интересов нанотехнологий. Полным ходом идут исследования по применению углеродных наноструктур для хранения водорода. Аналогичные структуры из оксидов могут быть использованы для аккумуляции кислорода.

Важной составляющей частью среды обитания космонавтов является система мониторинга. Его главной компонентой в будущем должна стать такая нанотехнологическая разработка, как «электронный нос». Данное устройство, состоящее из комплекса газовых сенсоров, способно осуществлять контроль качества воздуха, сигнализировать об отклонениях, а при наличии обратной связи – управлять контролирующими органами для сохранения требуемых условий.

Следующим этапом развития идей электронного носа может быть «наноковер», состоящий из ориентированных нанотрубок, полученных методом самосборки, и предназначенный для захвата и удержания микрочастиц или микроорганизмов (бактерий, спор, мусора и т.п.). Таким образом, данное устройство может быть использовано для выполнения следующих функций:

– анализ микроорганизмов и частиц для их идентификации с целью определения возможных источников загрязнения среды обитания;

– уничтожение бактерий и прочих патогенных веществ (в перспективе – избирательно).

Очистка воды, воздуха может быть эффективно проведена с помощью наномембран, которые гораздо лучше обычных мембран противодействуют закупорке пор. Наличие катализаторов в фильтрах на основе керамики с нанопорами способствует стерилизации обрабатываемой воды.

Аналогичным образом наноструктурированные материалы с высокой эффективностью могут быть использованы в системах очистки воздуха, его регенерации, поддержания влажности.

Система контроля и поддержания самочувствия

Сложные физические и психологические условия работы космонавтов выдвигают на передний план проблему мониторинга его состояния. От своевременности обнаружения отклонения параметров организма от нормы зачастую зависит эффективность последующей медицинской помощи.

В состав системы диагностики входят средства для контроля и поддержания различных психофизиологических возможностей организма. Самые простые из них позволяют измерять стандартные параметры – температуру тела, давление крови, частоту пульса и т.п. Существующие на сегодняшний день приборы этого класса активно используются спортсменами в ходе тренировок, частными лицами – в режиме эпизодических исследований. Нанотехнологии способны миниатюризировать их, расширить их функциональные возможности – информация о состоянии космонавта может передаваться в непрерывном режиме, при этом наличие приборов не будет ощущаться вовсе.

Важными являются датчики, сигнализирующие об отклонениях в организме. Так, при стрессе в организме вырабатывается монооксид азота (NO). Наличие последнего в выдохе человека указывает на сильный дискомфорт космонавта. Таким образом, датчик данного вещества может дать больше информации о состоянии человека, чем весь комплекс вышперечисленных параметров.

В дальнейшем возможно погружение в организм микрозондов, не ощущаемых человеком, которые анализируют его ткани, физиологические жидкости (кровь, лимфу и др.). Несомненно, подобный химический и биологический анализ дает важную и, главное, объективную информацию о состоянии организма.

Нанотехнологии принципиально позволяют создавать миниустройства, связанные с указанными микрозондами и, при необходимости, вводящие в организм требуемые препараты. Данные устройства обеспечат высокую работоспособность космонавтов в течение длительного времени и сохранят их здоровье.

В качестве примера подобного устройства можно привести разработку Американского национального института космических биомедицинских исследований для анализа крови, способную в течение двух минут определить состав крови, имея в распоряжении одну каплю. Следует иметь в виду, что на сегодняшний день для такого анализа нужна лаборатория со спецоборудованием и достаточно большое количество крови. Однако в условиях длительного космического полета (пилотируемые миссии на Луну или Марс) существует необходимость систематических исследований крови, поэтому подобное устройство является крайне необходимым для космонавтов.

Основой устройства для анализа крови является биологическая лаборатория на чипе, собранная на базе углеродных нанотрубок. Для предотвращения свертывания капли кровь смешивается с антикоагуляторами, а затем в специальном микроконтейнере производится подсчет отдельных клеток.

Также известны разработки сенсоров с применением нанотехнологий для экспресс-анализа крови на наличие вирусов (компания BioForce Nanosciences, США) и раковых клеток (Йельский университет, США). В перспективе ожидается возможность идентификации различных молекул, бактерий, что позволит получить полную информацию о крови и организме.

Методы нанотехнологий могут быть использованы также при создании системы терморегуляции организма, например, путем создания одежды, пронизанной полыми волокнами, через которые прогоняют рабочую терморегулирующую

жидкость при помощи миниасосов. Нановолокна должны удовлетворять ряду требований, порой противоречивых, а именно: быть гибкими, прочными, обеспечивать малое вязкостное трение с жидкостью, обладать герметичностью, стойкостью к истиранию, не растворяться и т.д. Насосы должны быть легкими, энергетически эффективными, обеспечить требуемые характеристики (давление, расход, производительность).

На сегодняшний день уже создана ткань Sensatex, позволяющая удаленно отслеживать перемещение человека, его сердечный ритм, частоту дыхания. Посредством введения наночастиц серебра возможно придание тканям антибактериальных и антигрибковых свойств.

Методы лечения

Среди критических рисков для космонавтов следует отметить различные переломы, растяжения или разрывы сухожилий и мышц, сердечные болезни и нарушение кровоснабжения, потерю координации движений, ослабление или нарушение иммунной системы, последствия различных видов радиационного облучения. Большое разнообразие рисков порождает еще большее разнообразие методов лечения.

Здесь нанотехнологии могут улучшить ситуацию как в части совершенствования медицинского или иного лечебного оборудования, так и в части разработки принципиально новых методов лечения. В первой части улучшение наступает вследствие разработки и применения новых материалов и микро- и наносистемной техники. Это осуществляется путем придания новой функциональности созданным устройствам или интеграции различных функций в рамках одного блока. Примером может служить лаборатория-на-чипе, описанная выше.

Далее рассмотрим методы лечения с применением нанотехнологий. Перспективной разработкой является фильтр для удаления опасных агентов из крови. Для этого в кровь добавляют наночастицы оксида железа, покрытые защитным слоем и антителами, притягивающими те агенты, от которых необходимо очистить кровь. Затем кровь пропускают через фильтр, представляющий собой электромагнит. Он вытягивает из крови наночастицы железа с прилипшими к ним агентами. Клетки крови при этом не удаляются. Путем подбора антител кровь можно очистить от любых опасных веществ.

Другой разновидностью применения наночастиц для лечения является антивирусный препарат на основе производных наночастиц диоксида титана. Они обладают способностью проникать в клетку и избирательно уничтожать болезнетворные возбудители, что было подтверждено многочисленными научными исследованиями. Данное обстоятельство позволяет ученым предположить, что композитные наночастицы с диоксидом титана могут лечь в основу новых противовирусных препаратов, чему будет способствовать их нетоксичность.

И, в общем, установлено, что введение в организм ряда лекарств в виде наночастиц повышает их усвояемость и эффективность, что позволяет заметно снизить требуемую дозу. В частности, прием популярного противовоспалительного и жаропонижающего препарата – индометацина – в виде аэрозоля (суспензии наночастиц размером 10–20 нм) в тысячи раз снижает необходимое количество препарата и сводит к минимуму побочные воздействия.

Создание лекарств в виде наночастиц имеет большие перспективы. Дело в том, что около трети современных препаратов плохо растворимы. Чтобы ввести

их в организм в виде инъекции, к ним приходится добавлять эмульгаторы, которые в ряде случаев могут стать причиной нежелательных побочных эффектов (например, аллергических, шоковых).

Применение лекарств в форме аэрозоля, когда внедрение наночастиц в раствор происходит в процессе их получения, дает возможность преодолеть указанные недостатки.

Лекарства в виде наночастиц могут быть использованы в так называемых системах адресной доставки. Здесь не имеется в виду создание искусственных нанороботов, способных продвигаться по организму и перемещать нанолечества в нужные участки тела. Речь идет о применении бактерий, способных быстро двигаться за счет вращения своих жгутиков. Они перемещают интегрированные в них лекарственные наночастицы. Если в них дополнительно ввести магнитные частицы, то путем наложения внешнего магнитного поля можно заставлять двигаться бактерии вдоль силовых линий и диктовать им алгоритм перемещения по организму. Это позволит не только быстро доставить лекарство в нужные области, но и обойти их в оптимальном режиме. Данные методы открывают новые возможности лечения.

Нанотехнологические подходы способны существенно изменить традиционные медицинские операции. Так, создание микрокапсул с лекарствами может принципиально изменить такую операцию, как инъекцию лекарств. Малая масса частиц позволяет их разогнать до очень больших скоростей в ускоряющих электромагнитных полях. Такие капсулы могут проникать сквозь кожу и донести лекарство непосредственно в требуемую зону очень быстро. Подобный способ инъекций имеет перед традиционным ряд несомненных преимуществ:

- высокая скорость ввода (длительность процесса – доли секунды);
- возможность регулирования глубины инъекции (путем изменения энергии ускорения можно осуществить инъекцию и сквозь одежду);
- отсутствие необходимости проведения подготовительных операций (инъектор всегда готов к действию);
- полное устранение вероятности заражения (практически отсутствует контакт инъектора с кожей).

Индивидуальная экипировка

Одним из наиболее сложных видов деятельности космонавтов является работа вне корабля в ходе полета или десантирования на поверхности Луны или Марса. В зависимости от условий работы (время выхода, уровень гравитации, давление окружающей среды, радиационный фон, температура, световая обстановка и т.д.) необходимо создание нескольких типов скафандров.

Реализация разработок в области нанотехнологий может существенно расширить функциональные возможности скафандров. Речь идет о системах контроля физиологического состояния космонавта, терморегулирования, обеспечения медико-биологических препаратов, сбора, хранения, обработки и передачи информации и т.п.

Выше говорилось о системах терморегуляции и контроля физиологического состояния, встроенных непосредственно в одежду космонавта. Аналогичные системы могут быть интегрированы в скафандр, что, возможно, потребует большей энергоемкости. Поэтому разработка скафандров нового поколения сопряжена

с созданием высокоемких накопителей энергии, разработка которых возможна с применением нанотехнологий.

Скафандр может быть снабжен набором медицинских препаратов, которые в случае необходимости могут быть оперативно введены в организм. Сигнал на введение может поступить из диагностической системы («электронный нос» или лаборатория-на-чипе) при превышении сигнала порогового значения (например, при отравлении или ранении). Для быстрого ввода лекарства могут быть использованы электромагнитные инъекторы (с препаратом в нанокapsулах) или миниатюрные насосы.

При работе в условиях глубокого вакуума существует опасность воздействия микрометеоритов. Данное обстоятельство требует применения для создания скафандров слоев из самовосстанавливающихся материалов. В противном случае возможна разгерметизация скафандра. Самовосстанавливающиеся материалы способны в автоматическом режиме устранить образовавшиеся микроотверстия. Следует отметить, что непосредственно для космонавта микрометеориты не представляют существенной опасности.

Большой интерес при создании скафандров, предназначенных для работы в тяжелых условиях, предоставляет возможность создания экзоскелета (внешнего скелета или каркаса) скафандра. Этот материал способен создавать механические структуры, позволяющие поднимать тяжелые грузы, преодолевать препятствия, совершать далекие прыжки. В случае падения тяжелых предметов экзоскелет предотвратит получение травм.

Отдельные элементы скафандра могут быть изготовлены из «деформируемых» материалов, способных при необходимости затвердевать. В качестве примера можно привести электрореактивные полимеры. Эти материалы можно, в частности, использовать в качестве «шин» для фиксации сломанных костей и т.п.

Важной составляющей в работе космонавтов является связь с центром управления. Современные средства микро- и наноэлектроники позволяют разрабатывать весьма малогабаритные и легкие устройства сбора, хранения, обработки и передачи данных. При этом они обладают низким энергопотреблением. Для их запитки могут быть использованы маломощные генераторы на основе пьезоэлектрических материалов, вырабатывающие электроэнергию за счет собственного движения космонавта. Мощность на уровне милливатта позволит решить проблемы питания систем управления, хранения и обработки информации, а в перспективе – радиосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Актуальные вопросы планетных экспедиций. Материалы научно-технической конференции. (Москва, 3–5 октября 2006 г.). Под общ. ред. академика РАН А.С. Коротеева. М.: ФГУП «Центр Келдыша» – 2006.
- [2] Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения – 2005 год. Сб. под ред. П.П. Мальцева. М.: «Техносфера» – 2006.
- [3] Мировые достижения – 2008 год. «Техносфера» – 2008.
- [4] Альман Ю. Военные нанотехнологии. М.: «Техносфера» – 2006.

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ
ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В СКАФАНДРАХ «ОРЛАН» И «ЕМУ»
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАТЕЛЬНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ
РАБОТ В ГИДРОСРЕДЕ**

А.А. Алтунин, И.В. Галкина

А.А. Алтунин, И.В. Галкина (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены вопросы интеграции скафандров «ЕМУ» и их применения при проведении испытаний и тренировок в гидролаборатории ЦПК, приведены основные результаты сравнительного анализа скафандров «ЕМУ» и «Орлан», полученные при проведении испытательно-тренировочных работ в гидросреде.

Ключевые слова: внекорабельная деятельность, скафандр, «Орлан», «ЕМУ», энерготраты.

**Some Aspects of Comparative Analysis of Extravehicular Operations in
“Orlan” and EMU Space Suits During Tests and Training in Water.**

A.A. Altunin, I.V. Galkina

The article considers issues of EMU suit integration and application during tests and training in GCTC hydrolab, presents main results of EMU and “Orlan” comparative analysis which had been obtained during tests and training in water.

Key words: extravehicular activity, space suit, “Orlan”, EMU, energy expenditure.

В настоящее время на Международной космической станции (МКС) для проведения внекорабельной деятельности (ВКД) используются два типа скафандров – американские скафандры «ЕМУ» и российские скафандры «Орлан» серии М.

Краткая сравнительная характеристика конструкции и технических параметров штатных скафандров «ЕМУ» и «Орлан-М» [1, 2] приведена в таблице 1.

Таблица 1

	«Орлан-М»	«ЕМУ»
Конструкция		
1. Тип	Полужесткий	Полужесткий
2. Вход в СК	Осуществляется через люк в кирасе, без посторонней помощи	Осуществляется поэтапно, скафандр собирается из отдельных элементов при посторонней помощи с использованием специальных приспособлений
3. Размер	Подгоняется под оператора с помощью лент подтяга, изменяющих длину мягких оболочек Рассчитан на оператора с обхватом груди 94...112 см и ростом 165...190 см	Собирается для каждого оператора индивидуально из стандартных компонентов имеющих от 1 до 9 типоразмеров

Продолжение таблицы 1

	«Орлан-М»	«ЕМУ»
	Автономная система обеспечения жизнедеятельности	
1. Система кислородного питания		
– запас кислорода	2 кислородных баллона (основной, резервный) объемом по 2 литра с давлением 420 атм	2 основных кислородных баллона объемом по 3,93 литра с давлением 61,24 атм и 2 резервных баллона объемом по 1,46 литра с давлением по 408 атм
– рабочее избыточное давление	0,4 атм	0,3 атм
– десатурация	30 мин	240 мин
2. Система вентиляции и регенерации	Отводящие вентиляционные магистрали закреплены на кирасе и мягких оболочках	Отводящие вентиляционные магистрали закреплены на костюме водяного охлаждения
– циркуляция газа не менее	140 л/мин	170 л/мин
– удаление CO ₂	Обеспечивает литиевый (LiOH) поглотительный патрон, рассчитанный на 9 часов работы	Обеспечивает литиевый (LiOH) поглотительный патрон при работе на шаттле или поглотительный патрон с окислом металла (Metox) при работе на МКС, рассчитанные на 7 часов работы
3. Система терморегулирования		
– циркуляция хладагента не менее	1,5 л/мин	1,82 л/мин
– температура хладагента на выходе из сублиматора не более	16 °С	11 °С
– сепарация	Ручная во время подготовки скафандра к ВКД	Автоматическая во время работы скафандра

Окончание таблицы 1

	«Орлан-М»	«EMU»
	Автономная система обеспечения жизнедеятельности	
4. Электрооборудование	Все агрегаты скафандра запитаны от АКБ, расположенной в блоке радиотелеметрической аппаратуры	Агрегаты АСОЖ скафандра запитаны от АКБ, установленной за штормкой ранца PLSS
– номинальное напряжение АКБ	27 В	17 В
– гарантированная емкость АКБ	21 А/час	26,6 А/час
– цикл разрядки АКБ не менее	8 часов	7 часов
– эксплуатационный ресурс АКБ	5 циклов	6 циклов
Некоторые технические данные СК		
1. Количество циклов работы	15	25
2. Срок эксплуатации	1095 дней	180 дней
3. Масса скафандра	114 кг	136 кг
4. Обслуживание	на станции	наземное
5. Системы	дублированные	одиночные
Дата разработки	1995–1997 гг.	1990–1994 гг.
Штатная эксплуатация	с 1997 по н/в	с 1998 по н/в

Основным отличием данных скафандров является тот факт, что скафандр «EMU» разрабатывался для многоразовой системы «Шаттл» и все операции по подгонке и обслуживанию скафандра проводились на Земле. Скафандр «Орлан» разрабатывался как скафандр стационарного базирования, что позволяет проводить его подгонку и обслуживание непосредственно в процессе полета. Все основные системы российского скафандра дублированы: гермооболочки, вентиляторы, водяные насосы, регуляторы давления в скафандре, радиопередатчики и кислородный баллон. У американского скафандра системы практически не дублируются. Из-за более высокого рабочего давления для российского скафандра процедура десатурации проводится в скафандре в течение 30 минут, в то время как для американского скафандра данная процедура составляет до 12 часов в шлюзе или до четырех часов в скафандре.

Интеграция скафандров «ЕМУ» и их применение при проведении испытаний и тренировок в гидролаборатории ЦПК

При строительстве и эксплуатации МКС необходимость проведения выходов в открытый космос на российский (РС) и американский (АС) сегменты МКС в скафандрах различной конструкции приобрела особую актуальность. В связи с этим в начале строительства МКС было принято решение об интегрировании американских скафандров «ЕМУ» для внекорабельной деятельности в гидролаборатории ЦПК имени Ю.А. Гагарина и российских скафандров «Орлан» в NBL Космического центра имени Джонсона для парирования штатных и нештатных ситуаций, требующих проведения ВКД на РС МКС в скафандрах «ЕМУ» или на АС МКС в скафандрах «Орлан».

Работы по интеграции скафандров «ЕМУ» в гидролаборатории ЦПК начались в 1998 году и продолжались по май 1999 года. Для отработки всех систем, решения многих задач, связанных с адаптацией скафандров, обучения персонала было проведено более 10 экспериментов и потрачено практически 2 года работы большой группы российских и американских инженеров.

При интеграции скафандра «ЕМУ» в гидролаборатории были выполнены следующие работы:

- разработан и изготовлен модуль интерфейса физиологического контроля (МИФК), который позволил использовать телеметрические комплексы гидролаборатории при проведении испытательно-тренировочных работ с операторами, снаряженными в скафандры «ЕМУ»;

- разработан и изготовлен кран для подъема-спуска специального стенда-лифта с астронавтом или космонавтом в скафандре «ЕМУ» при тренировках по ВКД в гидролаборатории;

- разработаны и изготовлены 2 специальных стенда-лифта для размещения операторов в скафандрах «ЕМУ» при их погружении и подъеме из воды в гидролаборатории;

- доработана система воздушного давления гидролаборатории, установлены газоанализаторы;

- сооружены и оснащены офисно-технологические помещения для размещения персонала, скафандров «ЕМУ», оборудования для подготовки скафандров, американского инструмента для ВКД;

- смонтирована и испытана система подводной громкой связи;

- разработаны соответствующие руководящие документы, инструкции и методики;

- проведено обучение специалистов испытательной бригады гидролаборатории.

После проведения серии экспериментов по испытанию гидроаналогов скафандров «ЕМУ» и проверке обученности испытательной бригады гидролаборатории, было принято решение о дальнейшей эксплуатации скафандров «ЕМУ» в гидролаборатории.

Применение скафандров «ЕМУ» при проведении испытаний и тренировок в гидролаборатории ЦПК

В 1999–2000 годах были подготовлены экипажи шаттлов 2А.2 и 2А.2В, проведено 17 испытательно-тренировочных работ. В дальнейшем на протяжении семи лет практически ежегодно проводились поддерживающие испытания. В 2005 и 2007 годах по инициативе российских специалистов параллельно с поддерживающими испытаниями были проведены исследования по сравнению эргономических характеристик скафандров «ЕМУ» и «Орлан», что в свою очередь сыграло большую роль в планировании и организации ВКД на РС и АС МКС.

Результатом успешного использования скафандров «ЕМУ», находившихся в ЦПК, для решения задач ВКД в интересах РС и АС МКС можно назвать:

- прокладывание межмодульных связей и установка магнитометра при ВКД Ю. Маленченко и Э. Лу в 2000 году;
- выполнение ремонта гироскопа № 2 при ВКД Г. Падалки и М. Финка в 2004 году;
- проведение эргономических испытаний по сравнительному анализу СК «Орлан-М-ГН» и «ЕМУ»;
- проведение блокировки отсекаелей фала блока IUA на мобильном транспортере АС в 2006 году;
- отработка НШС по складыванию СБ на ФГБ в ГЛ ЦПК имени Ю.А. Гагарина в 2007 году;
- отработка взаимодействия по доставке, переносу и установке панелей ДПП с АС на РС МКС в 2007 году.

Одним из самых важных результатов использования скафандров «ЕМУ» в ЦПК несомненно является опыт, приобретенный специалистами по ВКД и инженерно-техническим персоналом гидролаборатории в результате международного сотрудничества.

Выполнение ремонта гироскопа № 2 при ВКД Г. Падалки и М. Финка в 2004 году проводилось в скафандрах «Орлан» вместо использования скафандров «ЕМУ» в связи с неисправностью системы охлаждения одного из скафандров «ЕМУ». Подготовка данного выхода была осложнена тем, что конкретные ремонтные операции в российских скафандрах не отрабатывались и отсутствовали рекомендации по переводу времен, отведенных на выполнение данных операций в циклограмме предстоящего выхода.

Проведение сравнительных испытаний гидроаналогов скафандров «ЕМУ» и «Орлан-ДМА-ГН» в гидролаборатории

До настоящего времени сравнительный анализ эргономических характеристик данных скафандров проводился, в основном, исходя из субъективных оценок операторов, что недостаточно при разработке процедур и циклограмм для внекорабельной деятельности.

В целях получения количественных оценок эргономических характеристик был проведен ряд экспериментов в гидролаборатории ЦПК имени Ю.А. Гагарина. Основными целями экспериментов являлись:

– проведение сравнительной оценки временных затрат на выполнение типовых операций внекорабельной деятельности (ВКД) в гидроаналогах скафандров «EMU» и «Орлан» (рис. 1);

– проведение сравнительной оценки физиологических показателей испытуемых, снаряженных в гидроаналоги скафандров «EMU» и «Орлан»;

– получение субъективной оценки операторов.

Всего было проведено три эксперимента в гидроаналогах скафандров «EMU» и три эксперимента в гидроаналогах скафандров «Орлан М-ГН».

В экспериментах принимали участие: космонавт отряда космонавтов ЦПК имени Ю.А. Гагарина, имеющий опыт реальных выходов в открытый космос в скафандрах «EMU» и «Орлан», астронавт НАСА, имеющий опыт реальных выходов в скафандрах «EMU», член отряда космонавтов от РКК «Энергия» без опыта полетов, два сотрудника НАСА, являющихся специалистами по операциям и инструменту для ВКД и инструктор по подготовке космонавтов к ВКД ЦПК имени Ю.А. Гагарина. Все операторы на момент проведения экспериментов обладали достаточным опытом работы в скафандрах в условиях гидросреды. В каждом эксперименте участвовали российский и американский операторы.



Рис. 1. Гидроаналоги скафандров «Орлан» (слева) и «EMU» (справа)

Метрологическое обеспечение испытаний

При проведении экспериментов по сравнительной оценке физиологических показателей и энерготрат испытуемых, снаряженных в гидроаналоги скафандров «EMU» и «Орлан», применялись телеметрические комплексы гидролаборатории.

При проведении испытаний телеметрические комплексы гидролаборатории измеряли и регистрировали показатели, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Обозначение	Наименование измеряемого показателя, единица измерения	Диапазон измерений	Погрешность измерения
ЧСС	Частота сердечных сокращений, уд./мин	40–180	$\pm (2 \% + 2 \text{ уд.})$
ЧД	Частота дыхания, цикл./мин	8–60	$\pm (2 \% + 1 \text{ уд.})$
Тз	Температура тела испытуемого, °С	34–40	$\pm 0,1$
T(R-R)	Длительность интервала R-R, мс	300–2000	± 3
Гвод	Расход воды в системе охлаждения спецснаряжения, л/мин	5–10	$\pm 0,05 \text{ л/мин}$
Гв	Расход воздуха, подаваемого на вентиляцию в спецснаряжение, л/мин	0–200 200–500	$\pm 2,0$ $\pm 10,0$
% CO ₂	Процентное содержание CO ₂ , %	0–10	$\pm 0,5 \%$
ЭТ	Энерготраты, ккал/мин	0–15	$\pm 1 \%$

При проведении сравнительной оценки физиологических показателей и энерготрат испытуемых были обеспечены максимально одинаковые условия проведения экспериментов:

- разработана одинаковая циклограмма задания на эксперимент для испытаний в гидроаналогах скафандра «ЕМУ» и «Орлан»;
- в испытаниях участвовали одни и те же испытуемые;
- использовались одни и те же устройства телеметрических комплексов гидролаборатории (датчики температуры, газоанализаторы).

Для обеспечения достоверности результатов были проведены:

- привязка к единому московскому времени всех постов испытательной бригады регистрирующих временные и физиологические параметры;
- метрологическая аттестация телеметрических комплексов;
- калибровка температурных датчиков;
- дополнительные измерения, позволяющие получить значение поправочного коэффициента, который был учтен при расчете энерготрат.

Методика проведения испытаний

Программой экспериментов являлось последовательное выполнение операторами программы типового «Выхода» и работа на универсальном тренировочном стенде (УТС).

Программа типового «Выхода» выполнялась на фрагментах гидроматков служебного модуля (СМ), функционально-грузового блока (ФГБ) и стыковочного отсека (СО) (рис. 2) РС МКС с использованием одинакового способа страховки операторов. Также использовался УТС (рис. 2), предназначенный для тренировок космонавтов (астронавтов) по типовым операциям ВКД в статичном положении (оператор находится в «якоре» – ножном фиксаторе).

Программа типового «Выхода» включала в себя:

- открытие выходного люка (ВЛ) стыковочного отсека (СО);
- установка защитного кольца (ЗК);

- выход из СО на выходное устройство (ВУ);
- выведение из СО укладки телевизионной камеры (ТВК);
- переход и транспортировка укладки на агрегатный отсек с установкой ТВК;
- переход и транспортировка неработоспособного оператора (НРО) до ВУ СО;
- вход внутрь СО;
- снятие ЗК;
- закрытие ВЛ.



Рис. 2. Гидромакеты служебного модуля и стыковочного отсека (слева), универсальный тренировочный стенд (справа)

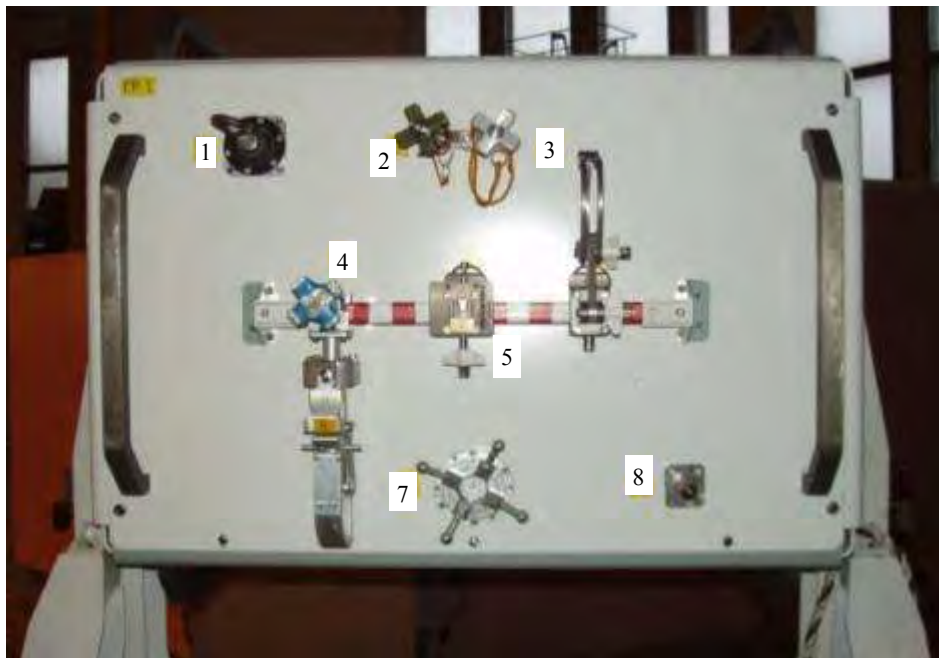


Рис. 3. Грань № 1 универсального тренировочного стенда

Операции, выполняемые на грани № 1 универсального тренировочного стенда (рис. 3):

- снятие «шарика» с замка № 1 и установка в замок № 7;
- отворачивание–заворачивание «барашковой» гайки № 2;
- измерение угла досягаемости;
- отворачивание–заворачивание «барашковой» гайки № 3;
- снятие–установка кабельного держателя № 4;
- снятие–установка замка № 5;
- снятие–установка замка № 6.

При работе по отворачиванию–заворачиванию «барашковой» гайки № 2, отворачиванию–заворачиванию «барашковой» гайки № 3, снятию и установке кабельного держателя № 4, снятию и установке замка № 5 и снятию и установке замка № 6 использовался «ключ-трещетка» из состава российского инструмента для ВКД.



Рис. 4. Грань № 2 универсального тренировочного стенда

Операции, выполняемые на грани № 2 универсального тренировочного стенда (рис. 4):

- стыковка электроразъемов 4.1 и 4.2;
- стыковка электроразъемов 1.1 с 1, снятие и стыковка 1.1 с 1.2 в лирку;
- стыковка электроразъемов 5.1 и 5.2;
- стыковка электроразъемов 2.1 в 2, расстыковка в лирку;
- стыковка 6.1 и 6.2.

Оценка подвижности и балансировки скафандров проводилась на фоне выполнения всего задания на эксперимент (рис. 5).

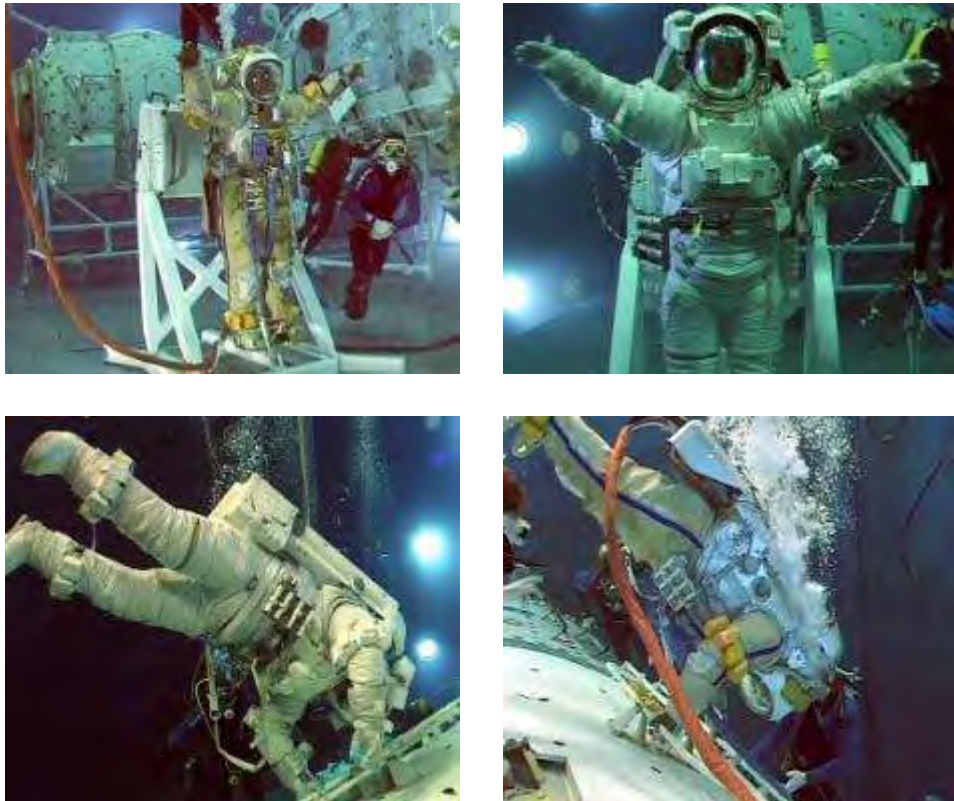


Рис. 5. Оценка подвижности скафандров

Перед экспериментом и после его проведения были сняты фоновые данные каждого оператора (прописан сигнал электрокардиограммы и температуры тела в течение трех минут с операторов в спокойном состоянии).

После проведения экспериментов была создана база данных по обработке результатов, рассчитаны средние значения временных и физиологических показателей по выполнению типовых операций ВКД. Получена субъективная оценка операторов.

При проведении сравнительной оценки выполнения операций циклограммы ВКД анализировались значения энерготрат операторов и показателей функционального состояния.

Энерготраты являются информативным показателем, позволяющим оценить энергию, затраченную оператором как на выполнение отдельной операции, так и циклограммы в целом.

Телеметрические комплексы гидролаборатории позволяют рассчитывать как средние, так и суммарные энерготраты оператора за операцию циклограммы. По результатам шести проведенных испытаний были рассчитаны значения энерготрат, диаграммы которых приведены на рис. 6, 7. Уровень энерготрат операторов при выполнении операций как в гидроаналогах скафандров «EMU», так и «Орлан» соответствовал средней степени тяжести.

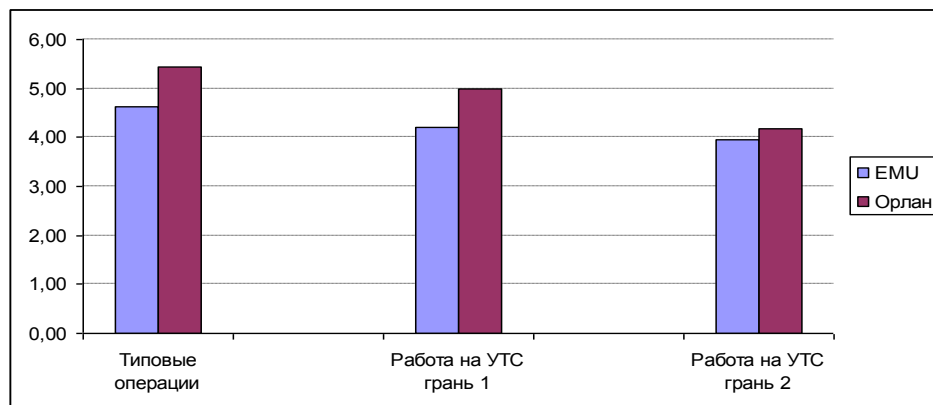


Рис. 6. Значения средних энергозатрат по операциям циклограммы для операторов в скафандрах «ЕМУ» и «Орлан»

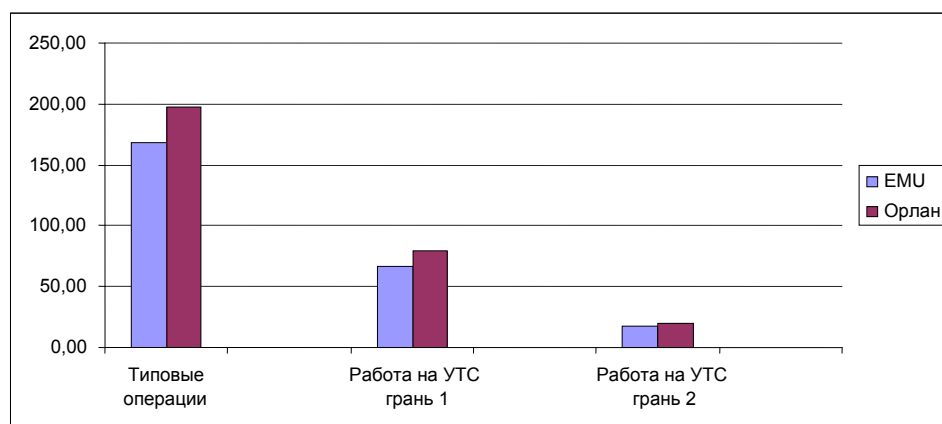


Рис. 7. Значения суммарных энергозатрат по операциям циклограммы для операторов в скафандрах «ЕМУ» и «Орлан»

С помощью телеметрических комплексов гидролаборатории проводился анализ показателей функционального состояния операторов, снаряженных в скафандры «Орлан» и «ЕМУ»: частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД) и заушная температура (Тз). Показатели регистрировались перед проведением, во время и после окончания испытательной работы.

Из анализа полученных данных можно сделать выводы:

- энергозатраты оператора, выполняющего одинаковые операции циклограммы, снаряженного в скафандр «Орлан», выше, чем при выполнении тех же операций, снаряженного в скафандр «ЕМУ»;

- при выполнении операций циклограммы, связанных с работой на УТС (работа руками без перемещения), энергозатраты в различных видах снаряжения отличаются примерно на 15%. Минимальное различие наблюдается при работе с типовыми электроразъемами (7%). Это связано с тем, что движения по стыковке электроразъемов требуют большего усилия.

троразъемов достаточно простые и не требуют больших усилий и времени. Максимальное отличие наблюдается при выполнении операций с болтовыми соединениями и типовыми замками, что обусловлено мягкостью хода подшипников и конструкцией перчаток;

– при выполнении программы типового «Выхода» энерготраты в различных видах скафандров отличаются примерно на 17%;

– показатели функционального состояния ЧСС, ЧД и Тз находятся в одних диапазонах при выполнении операций в различных скафандрах.

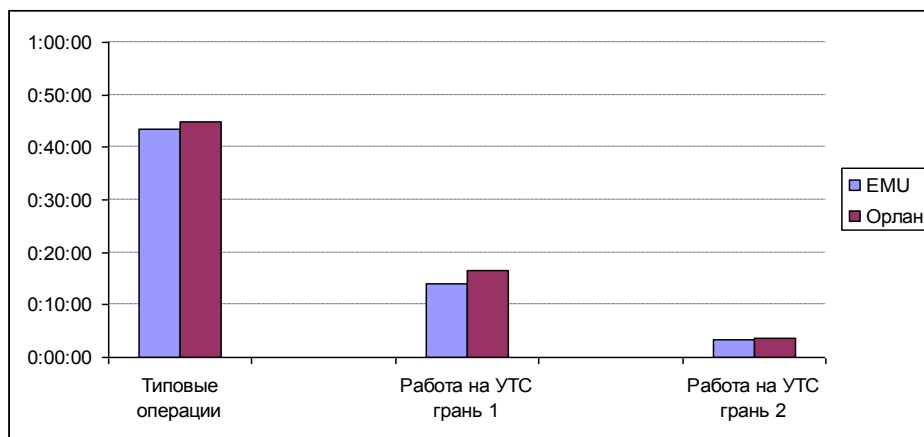


Рис. 8. Значения временных затрат при выполнении операций циклограммы ВКД в гидросреде

Проанализировав диаграммы, представленные на рис. 8, можно сделать вывод о том, что время, затрачиваемое на работу в гидроаналогах скафандров «Орлан» больше, чем в скафандрах «ЕМУ»:

- на 3% при выполнении типовых операций ВКД;
- 15% при работе с типовыми замками на грани 1 УТС;
- 7% при стыковке типовых электроразъемов на грани 2 УТС.

Проводя анализ отзывов испытателей, можно отметить следующее.

Основным отличием скафандра «Орлан» от скафандра «ЕМУ» является меньшая гибкость рукавов и несколько большая жесткость перчаток. Все это вызвано особенностями конструкции и способом подгонки скафандров. Скафандр «ЕМУ» имеет несколько лучшую подвижность рук за счет более низкого рабочего давления, меньших моментов вращения плечевых и локтевых подшипников и индивидуального подбора размера мягких оболочек рукавов и ног скафандра. Гермоперчатки скафандра «ЕМУ» имеют большее количество типоразмеров, а также возможность индивидуальной корректировки длины пальцев (кроме большого).

Было отмечено, что при работе в скафандре «Орлан» руки устают немного больше. Данное отличие в большей степени влияет на выполнение операций, связанных со стыковкой разъемов, замками и инструментом для ВКД. Большой разницы при перемещениях двух скафандров отмечено не было. Как правило, затруднения при перемещениях возникали из-за устойчивой балансировки скафанд-

ра «Орлан». Следует отметить лучший обзор в скафандре «Орлан» из-за наличия дополнительного иллюминатора на шлеме скафандра. Уровень комфортности при работе, связанной с вентиляцией и охлаждением, практически одинаковый.

При сравнении подвижности скафандра операторами, зафиксированными в «Якоре» УТС, было отмечено следующее:

– круговые движения руками в сторону в скафандре «Орлан» на уровне плеч были ломаными, ровного кругового движения не получалось, по амплитуде движения были практически одинаковыми;

– при наклонах корпуса вперед конструкция скафандра «ЕМУ» позволяет нагнуться на больший угол, чем скафандра «Орлан», отклонения назад практически одинаковы;

– при поворотах корпуса влево и вправо поясной подшипник скафандра «ЕМУ» позволяет повернуться на больший угол, чем в скафандре «Орлан».

Достижимость рук в скафандре «Орлан» и в скафандре «ЕМУ» существенно не отличается.

Полученные субъективные оценки подтверждаются объективными данными, отображенными на рис. 6, 7 и 8.

В целом, в скафандре «Орлан» работать несколько сложнее. Основной причиной, по мнению испытателей, являлось более высокое избыточное давление в скафандре «Орлан». При проведении испытаний не было отмечено ничего, что говорило бы о том, что в скафандре «Орлан» нельзя выполнить какую бы то ни было задачу, выполняемую в скафандре «ЕМУ».

В случае необходимости оперативного проведения подготовки в «ЕМУ» на РС МКС возможно использование скафандров «Орлан» в гидролаборатории, создав необходимую конфигурацию инструментов и средств страховки. Для проведения испытательно-тренировочных работ на АС МКС в скафандрах «Орлан» в NBL можно использовать скафандры «ЕМУ», также создав необходимую конфигурацию инструментов и средств страховки.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в настоящее время практически все операции ВКД, которые можно выполнить в скафандре «ЕМУ», можно выполнить и в скафандре «Орлан» с требуемым качеством и безопасностью.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Космические скафандры России / Абрамов И.П., Дудник М.Н., Сверщек В.И., Северин Г.И., Скуг А.И., Стоклицкий А.Ю. – ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ», 2005.
- [2] Американские скафандры / Kenneth S.Thomas, Harold J.McMann. – Германия: Praxais Publishing Ltd, Chichester, UK 2006.

**О РОЛИ ПОДТВЕРЖДЕННЫХ ОЦЕНОК
В ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ СИСТЕМЫ
«ЦУП–ЭКИПАЖ–МКС»**

А.В. Малов, В.Н. Дмитриев

Канд. техн. наук А.В. Малов; канд. воен. наук В.Н. Дмитриев (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Сформулирована роль подтвержденных оценок в задаче последовательной коррекции функционирования системы «ЦУП–экипаж–МКС» с целью обеспечения ее эффективности и гарантированной устойчивости функционирования.

Ключевые слова: функционирование целевой системы, последовательная коррекция, фазы коррекции, целевая эффективность, гарантированная устойчивость, изменчивость состояний, мониторинг состояний.

About the Role of Confirmed Assessments in the Technology of Cascade Stabilization of “MCC-Crew-MCC” Target System Operation.

A.V. Malov, V.N. Dmitriyev

The article forms the role of confirmed assessments in the technology of cascade stabilization of “MCC-CREW-MCC” target system operation with the purpose of providing its efficiency and guaranteed steadiness.

Key words: target system operation, cascade stabilization, correction phases, target efficiency, guaranteed steadiness, status variability, status monitoring.

Задачей системы управления качеством функционирования целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» является поддержка целевой эффективности и гарантированной устойчивости функционирования системы на протяжении всей программы полета Международной космической станции (МКС).

Такая постановка отвечает требованиям современных международных стандартов ИСО 9004, которые представляют стратегию тотального (всеобщего и последовательного) менеджмента качества TQM (Total Quality Management). Стратегия TQM предполагает не только управление качеством с целью выполнения заданных требований (в данном случае качеством функционирования целевой системы), но и управление целями и самими требованиями.

Из практики известно, что лучшим способом и средством подтверждения объективности целевых задач и готовности целевой системы к выполнению программы космического полета является сам полет. При этом важное практическое значение имеют подтвержденные в полете оценки состояния бортовых систем и оборудования, организации планирования работы экипажа на борту и совместной деятельности с персоналом ГОГУ, режима труда и отдыха, а также бортовой документации и радиограмм, передаваемых на борт, подготовки и деятельности экипажа и др.

В настоящей статье рассматривается роль подтвержденных оценок в технологии последовательной коррекции функционирования целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС», которая призвана обеспечивать целевую эффективность и гарантированную устойчивость функционирования компонент системы и системы в целом. Целевая система «ЦУП–экипаж–МКС» включает наземный сегмент

(Центр управления полетом – ЦУП) и бортовой сегмент (экипаж, станцию, транспортные пилотируемые и грузовые корабли).

Задача поддержки целевой эффективности и гарантированной устойчивости функционирования системы «ЦУП–экипаж–МКС» отражает интересы многих организаций-участников подготовки и осуществления космического полета Международной космической станции.

Несмотря на многолетнюю практику полетов пилотируемых космических аппаратов, их подготовка и осуществление по-прежнему носят характер летных испытаний.

Наряду с этим, полет пилотируемого космического аппарата, в частности, Международной космической станции, характеризуется существенной нестационарностью, изменчивостью состояний бортовых систем, экипажа, задач и условий полета, а следовательно, и изменчивостью программы полета. Поэтому требуемый уровень эффективности функционирования целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» поддерживается в меняющихся (нестационарных) условиях космического полета.

Факторами изменчивости состояний могут быть:

- нештатная работа или отказы бортового оборудования или бортовых систем;
- непредсказуемое поведение нового бортового оборудования или бортовых систем в условиях космического полета;
- потеря актуальности отдельных задач полета по ряду причин;
- несоответствие задач полета состоянию и возможностям бортового оборудования или бортовых систем;
- несоответствие отдельных позиций задач полета уровням подготовленности членов экипажа (несоответствие требований к подготовке задачам полета);
- наличие не выявленных перед полетом медицинских или психологических показателей состояния здоровья членов экипажа;
- возможность появления аварийных ситуаций, связанных с пожаром, разгерметизацией и т.п.;
- необходимость выполнения в полете непредусмотренных программой полета операций и процедур, связанных с космическими экспериментами, ремонтно-восстановительными, монтажно-демонтажными работами и т.п.

Поддержка целевой эффективности и гарантированной устойчивости функционирования системы «ЦУП–экипаж–МКС» достигается непрерывным мониторингом состояний системы и последовательной коррекцией функционирования ее компонент и всей системы в целом.

Технология последовательной коррекции целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» предполагает взаимосвязанную и замкнутую совокупность процессов:

- предполетного анализа состояний и коррекции целевой системы;
- оперативного текущего анализа и коррекции целевой системы в ходе полета;
- послеполетного комплексного анализа и коррекции.

С другой стороны, она предполагает не только мониторинг полноты и качества выполнения заданных требований функционирования системы, но и определение степени соответствия требований задачам реального полета с целью управления целями и требованиями.

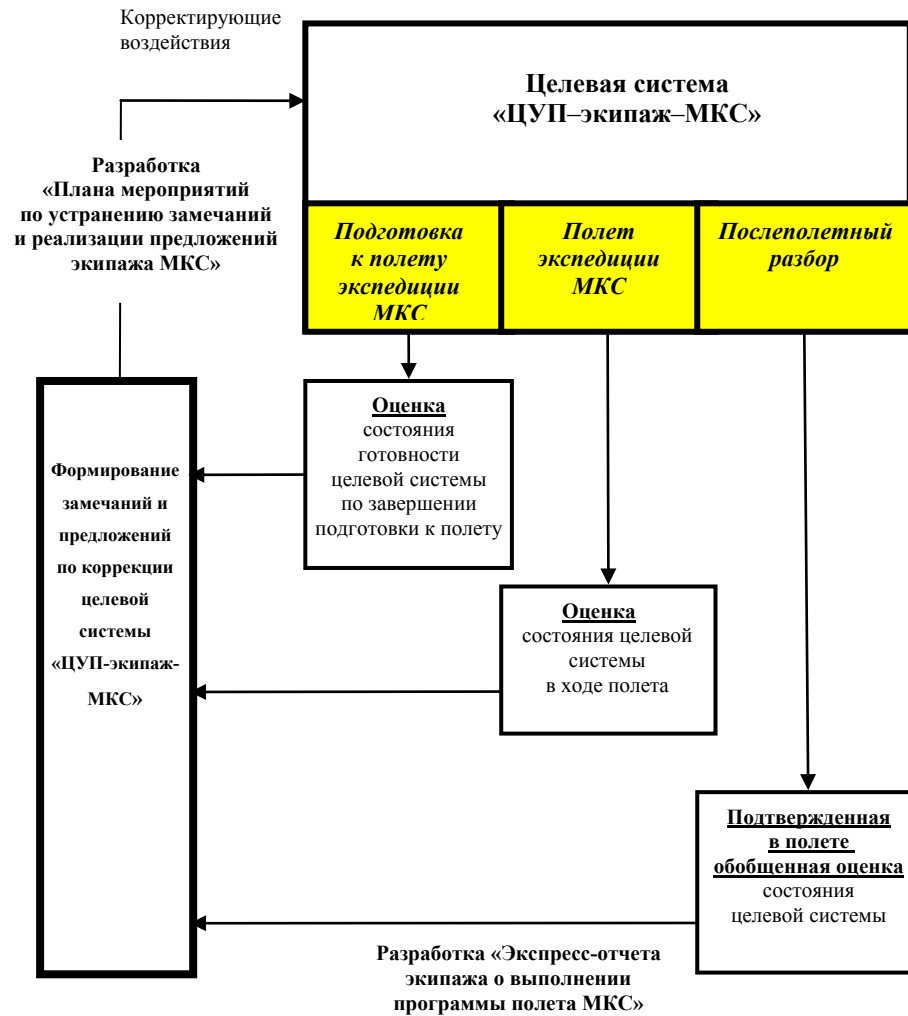


Рис. 1. Иллюстрация технологии последовательной коррекции целевой системы «ЦУП-экипаж-МКС»

Понятие «Последовательной коррекции целевой системы...» было введено Маловым А.В. при разработке «Метода сквозного анализа и последовательной коррекции уровней подготовленности экипажей МКС» и его апробации на VIII Международной научно-практической конференции в ЦПК.

На рис. 1 приведена иллюстрация технологии последовательной коррекции целевой системы «ЦУП-экипаж-МКС». Из рисунка следует, что первая фаза коррекции компонент системы и всей системы в целом возможна перед полетом по

завершении подготовки к полету конкретной экспедиции МКС. Вторая фаза коррекции компонент системы и всей системы в целом возможна в ходе полета экспедиции МКС.

Возможность возникновения в ходе полета нерасчетных событий, в частности, случайных событий (систематических или меняющихся во времени составляющих), требует непрерывного мониторинга изменчивости состояний бортовых систем, экипажа, целевых задач и условий космического полета, а также последовательной коррекции функционирования целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС», что ведет к повышению ее целевой эффективности и устойчивости функционирования.

В нестационарных условиях полета МКС важное значение имеет задача приведения (адаптации) полетного сценария и самой системы «ЦУП–экипаж–МКС» в соответствие со складывающимися обстоятельствами. В задаче адаптации принимают участие наземный и бортовой сегменты целевой системы. Однако особую роль при этом играет наземный сегмент – Центр управления полетом и персонал Главной оперативной группы управления полетом (ГОГУ).

Третья фаза коррекции компонент системы и всей системы в целом осуществляется по завершении полета конкретной экспедиции МКС. В результате послеполетного разбора формируется подтвержденная в ходе полета обобщенная оценка состояния целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС».

Важной особенностью послеполетной фазы коррекции целевой системы является формирование и использование подтвержденных в реальном космическом полете оценок, которые имеют особое практическое значение. В связи с этим, послеполетная фаза коррекции целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» получила и носит на практике более организованный характер нежели фазы коррекции до полета и в ходе полета.

Многолетний опыт пилотируемых космических полетов по программам «Салют», «Мир», МКС свидетельствует о достаточно высоком уровне развития в отечественной пилотируемой космонавтике технологии формирования послеполетных подтвержденных оценок состояний (и коррекции) целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС». В соответствии с данной технологией, после выполнения программы полета каждой экспедиции, в частности, экспедиции МКС, проводится послеполетный разбор.

Послеполетный разбор проводится в форме занятий экипажа со специалистами заинтересованных организаций-участников подготовки и выполнения пилотируемых космических полетов по программе МКС. При этом объектами анализа и оценки являются компоненты целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» и система в целом.

Целью разбора является, прежде всего, получение от членов экипажа оперативной экспертной информации о выполнении программы космического полета.

На основе данной информации формируются замечания и предложения экипажа (и специалистов заинтересованных организаций) по работе с бортовыми системами и оборудованием, по организации планирования работы экипажа на борту, совместной деятельности с персоналом ГОГУ, режиму труда и отдыха, а также замечания к бортовой документации, радиограммам, передаваемым на борт, замечания по подготовке и деятельности экипажа и др.

По результатам разбора разрабатывается «Экспресс-отчет экипажа о выполнении программы полета МКС» и другие отчетные документы.

На основе материалов «Экспресс-отчета экипажа...» разрабатывается «План мероприятий по устранению замечаний и реализации предложений экипажа МКС».

Таким образом, в ходе коррекции целевой системы «ЦУП–экипаж–МКС» подтвержденные оценки играют особое практическое значение, так как они основываются на учете фактических сведений о выполненных программах полета конкретных экспедиций МКС.

К ВОПРОСУ О РОЛИ И МЕСТЕ ПКА В СИСТЕМЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

В.М. Жуков

В.М. Жуков (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Сложность решения проблем окружающей среды, связанных с потеплением климата, требует регулярного получения многообразной информации в глобальном, национальном и региональном масштабах. Рассматривается проблема создания Международной космической системы глобального экологического мониторинга. Роль и место ПКА в такой системе оцениваются на основе сравнительного анализа возможностей спутниковых систем мониторинга Земли и ПКА.

Ключевые слова: космический мониторинг, спутниковые системы, ПКА, подготовка космонавтов, наблюдение, ДЗЗ.

About the Role and Place of Manned Spacecraft in the Earth Space Monitoring System. V.M. Zhukov

Complexity of solving the environment problems associated with the climate warming requires continuous obtaining of various information in global, national and regional scales. The article considers the problem of creating an International space system for global ecological monitoring. The role and place of manned spacecraft in such a system are estimated on the basis of comparative analysis of ground and manned spacecraft satellite monitoring system capabilities.

Key words: space monitoring, satellite systems, manned spacecraft, cosmonaut training, observation, earth remote sensing.

Проблема глобального потепления является одной из ключевых экологических проблем Земли. Потепление климата Земли на три-пять градусов к концу столетия считается многими экспертами неизбежным в том случае, если промышленность не сумеет резко сократить объемы парниковых выбросов. По последним научным данным, даже небольшое повышение уровня океана может сделать десятки островных и прибрежных стран необитаемыми. Потепление климата связывают с ростом количества и интенсивности природных и антропогенных катастроф, с изменением береговой черты континентов, миграцией населения и целых народов, изменениями географии планеты. Возрастающее антропогенное воздействие на природную среду приводит к постепенной утрате ее способности к самоочищению. На климатических саммитах ООН пока не удалось разработать общепризнанный мировым сообществом план предотвращения деградации природной среды. Отрицательное индустриальное воздействие на природную среду требует постоянного контроля экологической обстановки в интересах своевременного принятия мер по сохранению в допустимых пределах уровня загрязнений почвы, атмосферы, гидросферы и околоземного космического пространства.

Основной объем информации об экологическом состоянии планеты дают спутниковые системы мониторинга Земли, которые построены на базе аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), функционирующей практически во всех диапазонах спектра электромагнитных волн. Роль и место ПКА в системе космического мониторинга Земли могут быть определены на основе сопоставительного анализа возможностей и ограничений ИСЗ и ПКА в задачах мониторинга Земли, используя показатели эффективности операций ДЗЗ, к которым отно-

сятся: объем получаемой информации, производительность, качество снимков, точность их пространственно-временной привязки, спектральные диапазоны аппаратуры ДЗЗ, оперативность доставки информации потребителю, сроки существования КА и ПКА, ремонтпригодность, энергопотребление, стоимость.

Видовую информацию дают системы ДЗЗ ультрафиолетового, видимого, ИК и радиолокационного диапазонов. Радиолокационные системы, как известно, являются всепогодным средством наблюдения. Показатели эффективности систем других диапазонов существенно зависят от облачности, соотношения протяженности освещенного и теневого участков орбиты, азимута и угла Солнца над горизонтом в подспутниковой точке, состояния атмосферы. Качество космических снимков зависит не только от ТТХ аппаратуры и режимов съемки, но также от наличия в кадре изображений облачности, от компоновки кадра, расположения информационной зоны (в центре или на границе кадра в связи с ошибками наведения), от выбранных угла и момента съемки. Снимки с подобными дефектами считаются бракованными и их относят к категории «космического мусора». К этой же категории относятся снимки, доставленные потребителю с опозданием, когда надобность в них отпала. Затруднения в оценивании эффективности по показателю качества снимков связаны с тем, что информация о процентном содержании «космического мусора» в системах мониторинга Земли в открытой печати не публикуется.

Спутниковые системы мониторинга Земли

Созданный арсенал космических средств ДЗЗ можно классифицировать по назначению: мониторинг суши, Мирового океана, атмосферы и околоземного космического пространства. По принципу действия средства ДЗЗ разделяются на пассивные и активные. Пассивные средства ДЗЗ, как правило, потребляют незначительное количество энергии и имеют большой ресурс. Активные средства, к которым относятся лазерные и радиолокационные системы, требуют порядка трех и более кВт мощности, имеют ограничения по режиму непрерывного излучения и ресурсу, но позволяют получать информацию, недоступную для пассивных систем.

Аппаратуру ДЗЗ оптического и ИК-диапазонов можно классифицировать по величине полос наблюдения и съемки: обзорная оптико-электронная аппаратура (полоса наблюдения до 5000 км, разрешение порядка 1 км), аппаратура среднего разрешения (полоса наблюдения до 100 км, разрешение 40–120 м), аппаратура высокого разрешения (полоса съемки порядка 15 км, разрешение менее 7 м).

В арсенал средств ДЗЗ входят следующие виды аппаратуры: фото- и видео-системы, многоканальные сканеры, гиперспектральные системы, ИК-радиометры, фурье-спектрометры, видеосканеры цвета, трассовые надирные поляриметрические СВЧ-радиометры и др.

В 90-х годах XX века цифровая революция внесла значительные изменения в стратегию создания и применения информационных систем вообще и систем ДЗЗ, в частности. За последние десятилетия оптико-электронные системы ДЗЗ фактически перешли в категорию интеллектуальных автоматизированных систем. Разрешающая способность некоторых систем доведена до дифракционного предела. Феноменальные результаты достигнуты в создании радиолокационных систем с синтезированием апертуры (РЛС СА). Разрешающая способность этих систем сравнялась с разрешением на местности космических фотосистем детальной разведки (порядка 1 м).

К классу КА ДЗЗ двойного назначения относятся КА сверхвысокого пространственного разрешения. Например, КА США второго поколения серий WorldView и GeoEye. КА этого класса работают в режимах кадровой, маршрутной, площадной (60 x 60 км) и стереосъемки. В таблице приведены их основные характеристики.

Таблица

Основные технические характеристики КА ДЗЗ двойного назначения
WorldView-1 и GeoEye

Параметры	Значения параметров	
	WorldView-1	GeoEye-1
Тип орбиты / наклонение	синхр.-солн.	98,13°
Высота орбиты, км	450	676,2–686,6
Период обращения, мин	–	98,39
Период повторной съемки заданного объекта, сут.	1–2	1–2
Спектральный диапазон (панхромат), мкм	0,5–0,9	0,45–0,8
Спектральный диапазон, мкм	–	RGB+(0,78–0,92)
Объектив		
– фокусное расстояние, м	–	13,3
– диаметр апертуры, см	60	110
– угол поля зрения, град	–	1,28
Пространственное разрешение в панхроматическом режиме:		
– съемка в надире, м	0,45	0,41
– съемка под углом 20° от направления в надир, м	0,5	–
– съемка под углом 40° от направления в надир, м	1,0	–
Пространственное разрешение спектральных каналов (съемка в надир), м	1,8	1,65
Приемник излучения	многолинейная ПЗС-структура	~37 000 эл. в строке
Временная задержка накопления сигнала, крат.	8–64	–
Радиометрическое разрешение, бит/пиксел	11	11
Ширина кадра при съемке в надир, км	16,5	15,2
Ширина полосы съемки под углами до 40°, км	775	–
Формат кадра	GeoTIFF	GeoTIFF
Возможность получения стереопары	на одном витке	на одном витке
Диаметр апертуры телескопа, см	–	110
Емкость бортового регистратора, Тбит	2,2	1

Окончание таблицы

Параметры	Значения параметров	
	WorldView-1	WorldView-1
Скорость передачи по радиолинии, Мбит/с	800	150–740
Оперативность съемки и передачи изображений	РМВ	–
Закладка программы	–	перед витком съемки
Точность наведения, угл. с	–	75
Точность геопривязки кадра, м	–	3–5
Масса, кг	–	~2000
Расчетный срок существования, годы	> 7	7

Из таблицы видно, что по сравнению с пленочными космическими аппаратами разведки в современных КА двойного назначения достигнут существенный прогресс. Решена проблема оперативности доставки информации, которая реализуется в реальном масштабе времени (РМВ), пространственное разрешение (в панхроматическом режиме, съемка в надир) доведено до 0,41 м, срок существования увеличен до семи лет.

Перманентная особенность спутниковых систем ДЗЗ заключается в необходимости закладки программы съемки, которая обычно осуществляется за несколько суток (витков). В КА GeoEye это время сокращено до одного витка, однако предельная оперативность съемки, которая реализуется космонавтом-оператором, управляющим фотосистемой на борту ПКА (в режиме свободного поиска), здесь не достигается.

Производительность КА данного класса по мере совершенствования аппаратуры возрастает и в настоящее время составляет 200–950 тыс. км²/сут. Производительность КА различных типов существенно различается. Мировым лидером по производительности и детальности космических снимков считается КА WorldView-1. В 2008 году с его помощью было отснято 20% территории РФ (с разрешением 0,5 м). Остальные зарубежные КА отсняли примерно 5% территории РФ (с разрешением порядка 1 м).

Отечественный КА оптико-электронного наблюдения «Ресурс-ДК» (срок существования 3 года) обеспечит панхроматическую съемку Земли с разрешением на местности около 1 м и многоспектральное наблюдение с разрешением 2–3 м.

Данные ДЗЗ распространяются специализированными компаниями. Например, отечественная компания «Совзонд» является одним из лидеров на рынке поставок данных ДЗЗ со спутников Ресурс-ДК1, WorldView-1, GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, OrbView, Formosat, Spot, Alos, Radarsat, TerraSAR и др., являясь официальным дистрибьютором ведущих мировых операторов спутниковых данных.

Революция в области создания малых космических аппаратов (МКА) существенно изменяет стратегию построения спутниковых систем ДЗЗ. Создаются МКА массой до 500 кг, а также микроспутники (масса 10–100 кг) и наноспутники (масса до 10 кг). В Израиле разработаны МКА наблюдения Земли серии EROS с параметрами: масса 250–360 кг, полоса захвата 7–14 км, разрешение панхроматической съемки 0,7–1,8 м, разрешение многоспектральной съемки 2,8 м, орбита солнечно-синхронная высотой 500 км.

Миниатюризация КА позволяет создавать многоспутниковые орбитальные группировки. Однако увеличение числа КА в орбитальной группировке имеет и отрицательный эффект, который связан с перегрузкой системы управления группировкой. Возникает задача оптимизации орбитальной группировки по таким параметрам, как масса КА, количество КА в группировке, объемы целевой информации, пропускная способность каналов связи, систем обработки информации и управления. Стремление к снижению массогабаритных характеристик в обозримой перспективе будет присуще развитию орбитальных средств, размещаемых на низких и средних орбитах.

В качестве перспективной технологии обработки информации мониторинга Земли рассматривается технология совместной обработки спектральной и пространственной информации, которая может существенно повысить идентифицирующие возможности видео-спектрометрического метода по сравнению с применяющимся методом спектро-зональной съемки. Распознавание спектрально-пространственных образов может быть реализовано на борту спутника гибридным оптико-цифровым коррелятором в темпе поступления изображений. На Землю в этом случае будут транслироваться только обобщающие результаты в виде цифровой карты типовых образов. В создании подобных систем большую роль сыграли разработки Института общей физики РАН.

Пилотируемые космические аппараты

Возможности и ограничения ПКА в задачах мониторинга Земли определяются назначением ПКА, параметрами его орбиты, оснащенностью аппаратурой ДЗЗ, режимом работы экипажа, уровнем профессиональной подготовки космонавтов.

Эксперименты по наблюдению и фотосъемке Земли выполнялись уже в первых полетах на ПКА. Наиболее интенсивные исследования были начаты на станции «Алмаз». Орбитальная пилотируемая станция «Алмаз» (военного назначения) была оснащена оптической, ИК и фототелевизионной аппаратурой. Экипаж работал фактически в штатном режиме мониторинга Земли. Выполнялись задачи в режиме наблюдения и фотосъемки заданных объектов и в режиме свободного поиска, а также задачи обработки, оперативного анализа фотопленки, сброса отдельных снимков по фототелевизионному каналу и отправки основной части полученных материалов на Землю в капсулах сброса информации. В качестве прибора оперативного наблюдения использовался визир типа ОД-4 (массой 110 кг) с широким диапазоном кратностей увеличения и каналом фоторегистрации. Этот прибор (стационарного типа) устанавливался на иллюминаторе, постоянно ориентированном по направлению к Земле, что позволяло выполнять наблюдения в любое заданное время. В полетах на станциях «Алмаз» были получены данные о возможностях, производительности и оперативности работы экипажа в задачах наблюдения наземных объектов.

Орбитальные станции «Салют», на которых также использовался этот прибор, не имели постоянной ориентации иллюминатора (с установленным прибором) по направлению к Земле. В связи с этим возможности его использования были минимальными. Возникла необходимость в портативных приборах для наблюдения и фотосъемки Земли через иллюминаторы, которые имели нужную ориентацию.

В состав долговременной орбитальной станции «Мир» входил специализированный модуль мониторинга Земли «Природа». В этом и других модулях была

установлена аппаратура ДЗЗ (включая портативные приборы) 42 типов. Испытания ряда приборов прошли успешно, однако возможности использования экипажа в выполнении задач мониторинга Земли были ограничены многозадачной деятельностью экипажа и значительным объемом ремонтных работ, особенно на заключительном этапе полета.

В настоящее время на МКС исследование средств и методов мониторинга Земли в оптическом диапазоне спектра исследуются в космических экспериментах «Ураган», «Релаксация», «Экон». Наиболее сложными являются задачи визуально-инструментального наблюдения и фотосъемки (ВИН-Ф) малоразмерных объектов чрезвычайных ситуаций (ЧС).

В развитии ЧС природного характера выделяют следующие этапы:

I этап – скрытое накопление катастрофической энергии (от 1 до 10 недель);

II этап – активное развитие катастрофы (от 1 до 10 суток);

III этап – спад активности ЧС и ликвидация последствий катастрофы (порядка одного и более месяцев).

Опыт космических полетов показал, что выполнение операций ВИН-Ф подготовленным космонавтом на II и III этапах развития ЧС реализуется достаточно успешно. Реализация операции на I этапе при наблюдении ряда объектов потенциальных ЧС проблематична, т.к. для многих объектов дешифровочные признаки назревающей ЧС не выявлены (подлежат дальнейшим исследованиям), а известные дешифровочные признаки других объектов имеют тонкую структуру и низкую «энергетику», которая находится на уровне предельного отношения сигнал/шум, обнаруживаемого зрительным анализатором космонавта и регистрируемого чувствительным приемником фотокамеры. Обнаружение признаков в этих случаях носит вероятностный характер, требует предварительного детального изучения объектов и высокого уровня профессиональной подготовки космонавтов.

К основным преимуществам в выполнении задач визуально-инструментального наблюдения и фотосъемки (по сравнению с автоматическими спутниковыми средствами ДЗЗ) можно отнести следующие свойства операции, реализуемые благодаря присутствию на борту экипажа:

- обзорность (радиус зоны эффективного обнаружения малоразмерных объектов равен высоте полета ПКА);
- оперативность (в режиме свободного поиска);
- возможность поиска и фотосъемки подвижных объектов и объектов с неизвестными априори координатами;
- возможность наблюдения с помощью оптических средств, имеющих переменную кратность увеличения;
- возможность наблюдения объекта на пролете под различными ракурсами (в пределах угла порядка 90°);
- возможность выбора типа фотокамеры и сменного объектива в широком диапазоне изменения фокусного расстояния (от широкоугольного до сверхдлиннофокусного);
- возможность сопровождения и непрерывного наблюдения объекта на участке пролета;
- гибкость в выборе средств, способа наблюдения и параметров фотосъемки;
- возможность выбора в сюжете съемки информативной зоны, содержащей дешифровочные признаки ЧС, и наведения на нее центра кадра;

- возможность фотосъемки в разрыв облаков с выбором наиболее благоприятного момента съемки;
- возможность выявления изменений в ранее наблюдаемом объекте и принятие решения на их фотосъемку;
- возможности зрительного анализатора космонавта, позволяющие получать информацию, которую трудно зафиксировать инструментально;
- устойчивость к изменению внешних факторов и помехам;
- возможность ручного управления фокусировкой и другими параметрами фотокамеры, когда ее автоматизированные подсистемы работают с ошибками;
- возможность использования априорной информации и косвенных признаков для обнаружения и распознавания объекта;
- оперативность первичной обработки и селекции полезной информации для передачи по каналам связи потребителю.

Международная система глобального экологического мониторинга

Сложность решения проблем окружающей среды требует, в первую очередь, регулярного получения многообразной информации в глобальном, национальном и региональном масштабах. Национальные системы и средства экологического мониторинга не обеспечивают решения всех приоритетных проблем мониторинга окружающей среды. Национальные системы в значительной мере дублируют друг друга. Избыточное количество запусков ракет-носителей аппаратуры экологического мониторинга наносит существенный вред экологии планеты и дополнительно засоряет околоземное космическое пространство. Кроме того, различия в характеристиках и в выборе спектральных диапазонов функционирования однотипной аппаратуры ДЗЗ, методов ее калибровки, обработки и представления информации, а также несогласованность по времени и месту применения существенно затрудняют реализацию системного подхода к применению средств ДЗЗ и сопоставлению результатов мониторинга.

В связи с этим в последние десятилетия активно обсуждается идея создания международной системы глобального экологического мониторинга. В работе [3] были предложены основные принципы построения единой системы глобального экологического мониторинга. Создание и функционирование системы предлагалось осуществлять под эгидой ООН. Система должна быть оптимизирована по задачам, количеству КА, наклонениям и высотам орбит, полям зрения, разрешающей способности и спектральным диапазонам аппаратуры ДЗЗ. Предусматривались унификация и стандартизация аппаратуры ДЗЗ, каналов передачи информации, средств и методов обработки и представления информации. Система должна включать специализированную орбитальную станцию экологической инспекции. Для работы на станции предлагалось создать международный отряд космонавтов-экологов.

Идея создания Международной спутниковой системы мониторинга ЧС на базе МКА (DMC – Disaster Monitoring Constellation) была выдвинута британской компанией SSTL в 1996 году. Спутниковые группировки первого и второго (2004 год) этапов включали в себя по 5 МКА с полосой захвата до 600 км (на первом этапе разрешение на местности порядка 30 м, на втором этапе – порядка 2,5–5 м).

Разрабатывается проект Международной аэрокосмической системы мониторинга глобальных природных и техногенных явлений (МАКСМ). В феврале 2010 года проект был доложен на 47-й сессии Научно-технического подкомитета ООН

по использованию космического пространства в мирных целях. По результатам был заключен и подписан Меморандум «О взаимопонимании между руководством проекта МАКСМ и группой компаний КАНЕУС». Целесообразность включения в такую систему высокоширотной специализированной орбитальной станции, проекты которой рассматривались в ряде научных работ, требует дополнительных исследований с учетом современного уровня развития спутниковых систем мониторинга Земли. Увеличение наклона орбиты станции, с одной стороны, связано со значительным увеличением обзорности Земли, а с другой – с ограничениями применения аппаратуры видимого диапазона в связи с особенностью освещения Солнцем поверхности Земли на высоких широтах. Можно полагать, что оснащение орбитальной станции комплексом средств, включающим (кроме аппаратуры видимого диапазона) ИК и радиолокационные системы с визуализацией изображений в реальном масштабе времени, обеспечит эффективное применение станции в любых условиях светотеневой и метеорологической обстановки. Современные технологии обработки и интеграции изображений, полученных в различных диапазонах спектра, позволяют создать на бортовом автоматизированном рабочем месте космонавта-оператора систему формирования «интеллектуальных» изображений подстилающей поверхности и наземных объектов.

Комплекс средств ДЗЗ, установленных на одном носителе, является большим преимуществом по сравнению с КА мониторинга Земли, оснащенных, как правило, одним средством ДЗЗ.

Оценка потенциальной эффективности подобной специализированной станции по ряду технических показателей и по показателю «стоимость» может быть выполнена на основе сравнения объемов информации, полученных за длительный срок ее функционирования (порядка двадцати лет), с количеством КА мониторинга Земли (оснащенных аналогичной аппаратурой и имеющих существенно меньшие сроки существования), обеспечивающих получение аналогичного объема информации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Меньшаков Ю.К. Виды и средства иностранных технических разведок: учеб. пособие / под ред. М.П. Сычева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 656 с., ил.
- [2] ГОСТ Р 22.1.04.-96 «Мониторинг аэрокосмический» (номенклатура контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций).
- [3] Глазков Ю., Джанибеков В., Жуков В. и др. Международная космическая система глобального экологического мониторинга (проект). – АН СССР: «Химия и жизнь», № 12. – 1991.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИЗУАЛЬНО-АССОЦИАТИВНОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ СОЗВЕЗДИЙ И НАВИГАЦИОННЫХ ЗВЕЗД НА НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ В ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ

В.Н. Прудков, Д.А. Темарцев, А.М. Чигиринов

В.Н. Прудков, канд. техн. наук Д.А. Темарцев, А.М. Чигиринов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются особенности космического полета, необходимость разработки визуально-ассоциативного метода распознавания созвездий и навигационных звезд для работы космонавта. Детально рассмотрены составные части метода, приведены конкретные примеры его применения.

Ключевые слова: небесная сфера, созвездие, навигационные звезды, распознавание, ограниченное поле зрения, контурная фигура, карта, ассоциации.

USE of the Visual-Association Method of Constellation and Navigation Stars Recognition on the Celestial Sphere for Cosmonaut Training.

V.N. Prudkov, D.A. Temartsev, A.M. Chigirinov

Article considers peculiarities of the space flight, necessity of visual-association method of constellation and navigation stars recognition on the celestial sphere for cosmonaut work. The elements of the method are considered in details, certain examples of its use are given in this article.

Key words: celestial sphere, constellation, navigational stars, recognition, limited field of view, contour figure, map, associations.

Изучение звездного неба космонавтами связано с решением задач навигации космических аппаратов. Основной задачей навигации космических аппаратов является обеспечение полета по заданной траектории и его выхода в заданную точку пространства. В связи с этим навигация космического аппарата включает в себя: определение положения его центра масс в пространстве, определение величины и направления вектора скорости полета, вычисление величины управляющего импульса скорости, его направления и времени выдачи корректирующего импульса для обеспечения движения космического аппарата из одной точки в другую. С помощью созвездий и навигационных звезд решаются задачи определения положения центра масс космического аппарата в пространстве и его ориентация.

Знания звездного неба были особенно важны в полетах на космических кораблях «Восток», «Восход» и станции «Мир», где многие эксперименты и наблюдения требовали выполнения ручных операций по ориентации космического корабля в пространстве. Во время полета опознавание созвездий и навигационных звезд осуществлялось с помощью бортового звездного глобуса методом сравнения увиденного изображения и изображения на глобусе. Для ориентации космического корабля в пространстве использовался астро-ориентатор. Процесс ориентации заключался в следующем: космонавт опознавал опорное созвездие, прикладывал маску с заданными параметрами и осуществлял ручную разворот корабля до совпадения маски и звезд опорного созвездия.

В настоящее время эти задачи решаются с помощью бортовых систем автоматически, либо на Земле, а управляющие воздействия передаются по командной радиолинии. Решение вышеперечисленных задач космонавтом с помощью бортовых приборов находится в резерве на случай возникновения нештатных ситуаций. Кроме этого задача распознавания созвездий и звезд на небесной сфере возникает

при проведении тестовых включений бортовых приборов для проверки их работоспособности.

Исходя из задач, возложенных на экипаж пилотируемого космического аппарата, основной целью подготовки по изучению звездного неба является выполнение следующих требований:

- обучаемый должен знать линии и точки небесной сферы, особенности определения положения светил в системах координат, основы картографии и картографические знаки на картах звездного неба;
- обучаемый должен знать принцип формирования опорных созвездий и их вид (фигуры);
- обучаемый должен знать мнемонические правила распознавания созвездий и навигационных звезд визуально-ассоциативного метода;
- обучаемый должен уметь распознавать в планетарии и на реальной небесной сфере фигуры опорных созвездий, их основные звезды, окружающие созвездия;
- обучаемый должен уметь распознавать созвездия и навигационные звезды всей небесной сферы через поля зрения иллюминаторов и визуальных приборов независимо от положения наблюдателя относительно небесной сферы.

Изначально за основу изучения звездного неба был принят опыт и метод изучения и распознавания созвездий и навигационных звезд небесной сферы, применяемый при подготовке специалистов – судоводителей (штурманов) морских судов.

Согласно этого метода для определения местоположения астрономическими методами в каждом данном районе и в каждый данный момент достаточно знать названия и расположения 10–15 звезд, находящихся в разных частях небесной сферы. Положение небесной сферы постепенно меняется из-за ее суточного движения и движения судна. Поэтому штурману рекомендуется уверенно ориентироваться на звездном небе и быстро определять наименования звезд. Считается, что для решения задачи определения местоположения достаточно знать около 40–50 звезд небесной сферы. Звездное небо поделено на две полусферы – северную и южную. В северной полусфере основным опорным созвездием является «Большая Медведица», а в южной – созвездия «Ориона» и «Южного креста». Правила определения окружающих созвездий и навигационных звезд разработаны относительно этих созвездий.

Применение этого метода при подготовке космонавтов показало, что в условиях космического полета его использовать нельзя. Это обусловлено следующими особенностями космического полета:

- поле зрения иллюминатора, через который космонавт наблюдает звезды, составляет менее 80° , что в 2,25 раза меньше поля зрения штурмана судна;
- поле зрения космонавта, кроме иллюминатора, ограничено полем зрения оптических приборов, через которые он наблюдает звезды;
- небесная сфера в поле зрения космонавта постоянно перемещается со скоростью $4^\circ/\text{мин}$, что гораздо быстрее по сравнению с наблюдением звездного неба штурманом корабля, для которого оно за минуту практически неизменяемо;
- звездная небесная сфера в поле зрения иллюминатора может занимать произвольное положение относительно строительных осей космического аппарата, поэтому распознавание фигур опорных созвездий и положения навигационных звезд на видимой небесной сфере может вызывать определенные затруднения;

– угловые размеры отдельных созвездий по своей величине близки к угловым размерам поля зрения иллюминаторов: так, созвездие Осеннее – летний треугольник занимает на небесной сфере участок в 70° , Большая Медведица – в 60° , Центавр – в 60° , Корабль Арго – в 60° и т.д., что при их частичном попадании в поле зрения космонавта может вызывать затруднение, а при попадании в поле зрения под произвольным углом части фигуры распознаваемого созвездия распознавание будет еще более затруднено;

– в космосе наблюдается более 9500 звезд, тогда как с Земли – 6000 звезд.

Невозможность применения метода опознавания созвездий и навигационных звезд, используемого в судовождении, потребовала разработки нового метода, который учитывал бы особенности космического полета. Для подготовки космонавтов к работам в условиях космического полета необходимы совершенно другие навыки распознавания созвездий и навигационных звезд, при которых космонавт должен уверенно распознавать опорные созвездия и их навигационные звезды, распознавать участки созвездий, не имеющих распознаваемых мнимых фигур созвездий, но распознаваемых по мнемоническим правилам и линиям поиска созвездий, окружающих опорное созвездие.

Для формирования такого уровня знаний звездной небесной сферы и приобретения твердого навыка распознавания созвездий и навигационных звезд в полях зрения иллюминаторов и в полях зрения оптических приборов необходимо принципиально видоизменить метод изучения звездного неба с космонавтами.

В ЦПК разработан визуально-ассоциативный метод распознавания созвездий и навигационных звезд на небесной сфере. В основу этого метода положено формирование мнимых фигур опорных созвездий в звездных скоплениях яркими звездами и линий поиска окружающих созвездий и их навигационных звезд.

Метод состоит из следующих составных частей:

1. Изучение мнимых контурных фигур созвездий, их положение на небесной сфере, основных навигационных звезд, находящихся в созвездиях:

- изучение мнимых контурных фигур созвездий, разработанных в ЦПК;
- нанесение изученных фигур созвездий на карту звездного неба цилиндрической и азимутальной проекций с последующим формированием контурной карты звездного неба, формирование образа небесной сферы;
- нанесение на контурную карту основных навигационных звезд созвездий.

2. Изучение правил распознавания опорных созвездий и навигационных звезд:

- теоретическое занятие с изучением правил перехода по линиям поиска от одного созвездия к другому (к навигационной звезде) с помощью контурных карт;
- практическое занятие в планетарии или на стенде виртуального планетария с применением изученных правил перехода по линиям поиска для произвольного положения наблюдателя относительно небесной сферы.

3. Применение изученных правил при распознавании опорных созвездий и навигационных звезд в условиях ограниченного поля зрения:

- практическое занятие в планетарии или на стенде виртуального планетария с применением изученных правил перехода по линиям поиска в условиях ограниченного поля зрения и произвольного положения наблюдателя относительно небесной сферы.

Изучение созвездий небесной сферы состоит из четырех этапов:

1. Изучение зодиакальных созвездий.

2. Изучение созвездий северной небесной полусферы.
3. Изучение созвездий экваториальной области.
4. Изучение созвездий южной полусферы.

Во время изучения проводится их взаимосвязь, т.е. изучаются правила перехода от зодиакальных созвездий к северной и южной полусферам и правила перехода между южной и северной полусферами.

Рассмотрим последовательно составные части визуально-ассоциативного метода распознавания созвездий и навигационных звезд на небесной сфере.

Изучение фигур созвездий и их положение на небесной сфере

В астрономии нет единого вида мнимой контурной фигуры созвездий. Если изображение созвездия в целом похоже на его «название» (визуальное представление, изображение), то совокупность мнимых линий контурной фигуры созвездия порой вызывает затруднение в формировании изображения созвездия. Одним из трудов, заслуживающих внимание, является книга Г. Рея «Звезды. Новые очертания старых созвездий» издательства «Мир» 1969 г. В своей книге Г. Рей попытался приблизить вид мнимой контурной фигуры созвездия к его «названию» и одновременно показать всю область, которую занимает созвездие. Это наглядно просматривается на созвездии «Геркулеса» (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что Рей изобразил контурную фигуру созвездия «Геркулес», которая действительно похожа на охотника с дубинкой, т.е. соответствует названию созвездия.

Недостатком контурных фигур Рея является то, что они охватывают всю площадь созвездия, включая мало различимые звезды. Вследствие этого у созвездия появляются излишние контурные линии, детализирующие фигуру. В ЦПК для некоторых созвездий разработаны свои формы мнимых контурных фигур созвездий. Это можно рассмотреть на примере созвездия «Большая Медведица» (рис. 2).

Мнимая фигура созвездия «Большая Медведица» усложнена в изображении на картах в виде силуэта животного, занимающего большую часть участка созвездия. Это видно из рис. 2 (а) и (б). В мнимых фигурах ЦПК созвездие изображается фигурой ковша из 7 звезд и трех парных цепочек, обозначающих границы созвездия, а не образ животного.

Таким образом, при разработке метода в ЦПК изначально были разработаны мнимые контурные фигуры опорных созвездий для изучения их космонавтами, а затем и созвездий, окружающих опорные.

Для изучения положения созвездий на небесной сфере космонавтам выдаются карты звездного неба. Дальнейшей задачей для космонавта является последовательное преобразование этой карты звездного неба в так называемую контурную карту. Отличие контурной карты от обыкновенной заключается в том, что на ней прорисованы контуры изучаемых созвездий в соответствии с мнимыми контурными фигурами, разработанными в ЦПК. На рисунке 3 представлены внешние виды обеих карт в азимутальной проекции для северного полушария: а) обычная карта звездного неба; б) контурная карта звездного неба с навигационными звездами.

Формирование контурной карты происходит не только для азимутальной проекции, но и для цилиндрической.

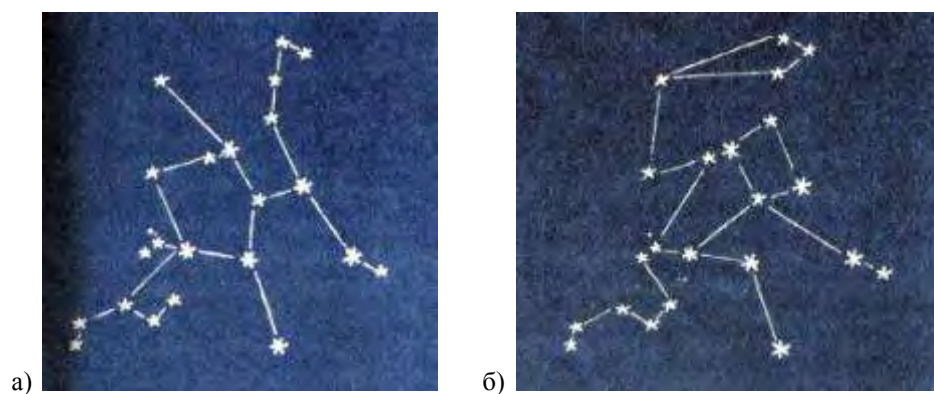


Рис. 1. Образ мнимой контурной фигуры созвездия «Геркулес» в изначальном варианте (а) и в варианте Г. Рея (б)

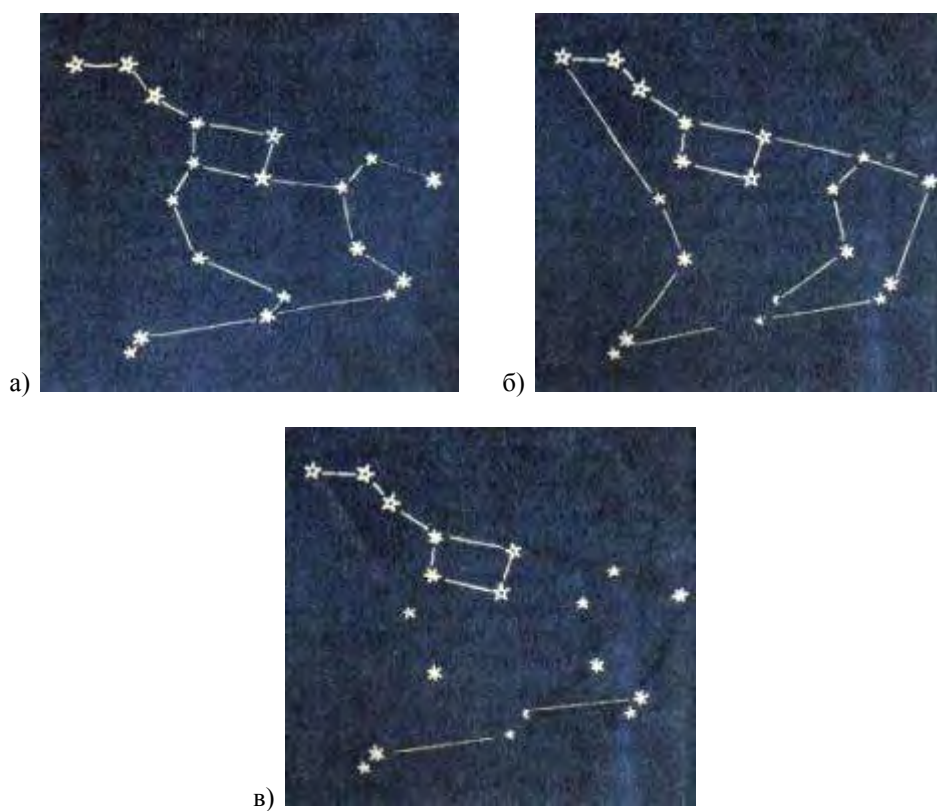
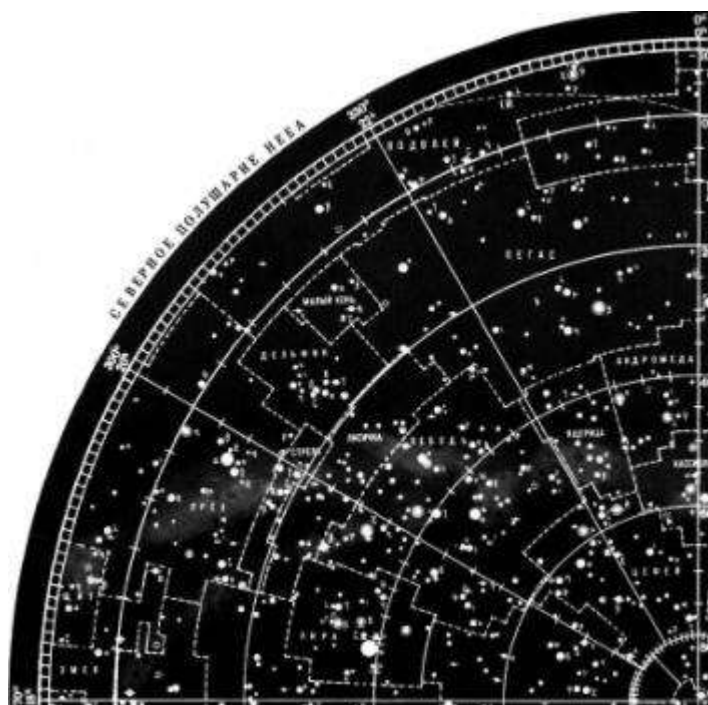
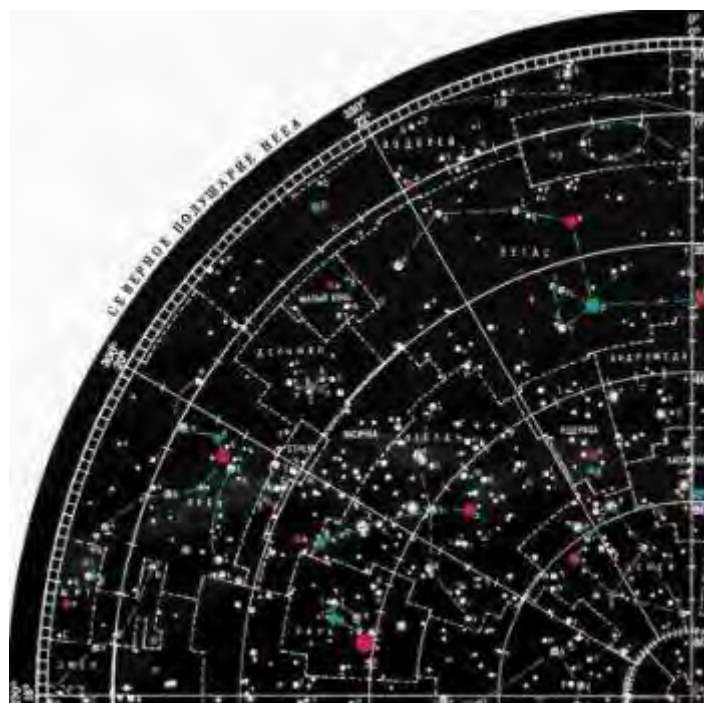


Рис. 2. Образ мнимой контурной фигуры созвездия «Большая медведица» в изначальном варианте (а), варианте Г. Рея (б), варианте ЦПК (в)



а)



б)

Рис. 3. Части обычной (а) и контурной (б) карт звездного неба в азимутальной проекции северного полушария

Следует отметить, что космонавты изучают созвездия не подряд. Звездная карта делится на определенные районы, которые можно изучать в произвольной последовательности. Между этими районами находятся общие участки, которые позволяют связать эти районы между собой. Таким образом, достигается взаимосвязь между созвездиями всей небесной сферы.

Параллельно с изучением форм созвездий происходит изучение основных навигационных звезд, расположенных в этих созвездиях. Навигационные звезды также наносят на контурные карты. Для лучшего различия навигационные звезды (α , β) наносятся разным цветом. Преобразованные фигуры опорных созвездий становятся более контрастными и запоминающимися.

Изучение правил распознавания опорных созвездий и навигационных звезд

Правила распознавания основаны на различного рода ассоциациях, которые легко запомнить и применить для достижения поставленной цели. Как было отмечено выше, звездное небо изучается по районам. Для каждого района есть основное созвездие, которое называется опорным. В визуально-ассоциативном методе звездное небо поделено на 9 районов.

Для того, чтобы было понятно, как действуют ассоциации в правилах, рассмотрим, как применен метод для района созвездия «Орион» (рисунок 4).

Сначала у космонавтов сформировался образ созвездия «Орион»: это хорошо различимое опорное созвездие, его образ – охотник. На небе четко выделяется «пояс» Ориона: три яркие звезды. Примечательно, что «пояс» пересекается небесным экватором. Поэтому созвездие принадлежит и южному и северному полушариям звездного неба, являясь между ними связующим.

По обе стороны от «пояса» располагаются два треугольника. Треугольник с вершиной, направленной от «пояса» Ориона, находится в северной полусфере. Это «голова охотника». Треугольник с вершиной, направленной к «поясу», принадлежит южной полусфере. Это «ноги» Ориона. Звезда α Ориона «плечо» называется Бетельгейзе. Звезда β Ориона «нога» – Ригель.

Изучив образ опорного созвездия и образы окружающих его созвездий, космонавт переходит к изучению следующих правил:

1. Если идти по «поясу» Ориона вверх, попадем в « α » Тельца (Альдебаран).
2. Если идти в обратном направлении (по «поясу» вниз), попадем в « α » Большого Пса (Сириус). Эта звезда самая яркая на всей небесной сфере.
3. Если идти по «плечу» Ориона (основание треугольника), попадем в звезду « α » Малого Пса (Процион). В созвездии Малого Пса видна только звезда « α » и менее яркая звезда « β ».
4. «Два пса гонят Единорога». Созвездие Единорог – неяркая звездная область, расположенная между созвездиями Большого Пса, Малого Пса и Ориона.
5. Если идти по прямой в направлении от звезды « β » Ориона к звезде « α » Ориона, то мы окажемся в созвездии Близнецов (прямоугольник).
6. «Орион» – охотник. Под «ногами» Ориона его добыча: созвездия Заяц и Голубь. Образ созвездия Заяц – «развернутая книга». Созвездие Голубь представляем в виде треугольника.
7. Рядом с « β » созвездия Ориона находится звезда « β » созвездия Эридана. Созвездие Эридан принадлежит южному небу. Это очень обширное созвездие. В северном полушарии Земли видна незначительная и не самая яркая его часть. Мы

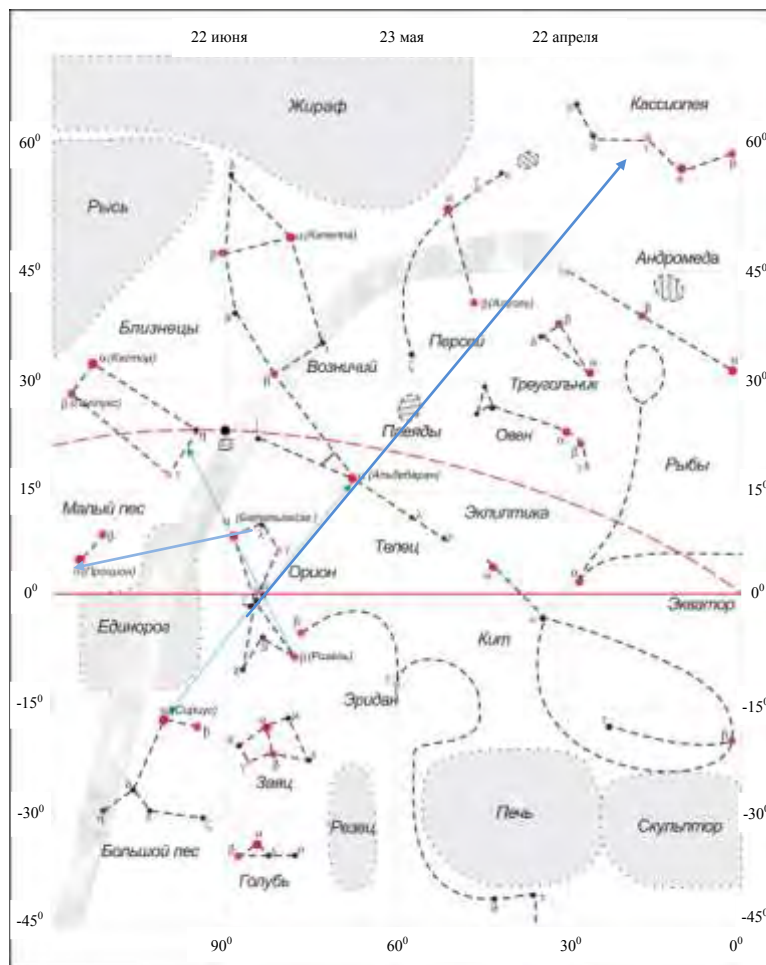


Рис. 4. Область созвездий вокруг созвездия «Орион»

говорим: «Орион пускает струйку» – звездная дуга между « β » и « γ » Эридаана – «струйка» Ориона.

8. На небе хорошо выделяется широкая звездная полоса, идущая от «пояса» Ориона вверх через Тельца к Персею, вдоль созвездия Персей и выходящая к Кассиопее.

Таким образом, изучив район вокруг опорного созвездия Орион, космонавт может свободно отыскать необходимые для работы звезды в этом районе.

Следующим этапом второй части метода является практическое применение изученных правил. Изначально применение изученных правил происходило на реальном звездном небе. Поскольку с одной широты можно изучить только небольшую часть звездного неба, то для изучения северного и южного полушарий звездного неба организовывались различные командировки. Большое влияние на проведение этого этапа оказывали погодные условия и временные ограничения: наблюдение возможно было только ночью при ясном небе.

В 1979 году в Центре подготовки космонавтов был построен планетарий, который снял временные и погодные ограничения. Это сложный оптико-механический комплекс с электронным управлением движением приводов и проецирования Солнца, Луны, звезд до 6,5 звездной величины, отображающих реальную звездную небесную сферу всех 88 созвездий, туманностей и галактик с высокой точностью их положения на небесной сфере. В процессе эксплуатации планетарий претерпел ряд модификаций и сейчас представляет собой астронавигационный функционально-моделирующий стенд, позволяющий не только изучать звездное небо, но и обеспечивает привитие навыков работы с оптико-визуальными приборами (рисунок 5).

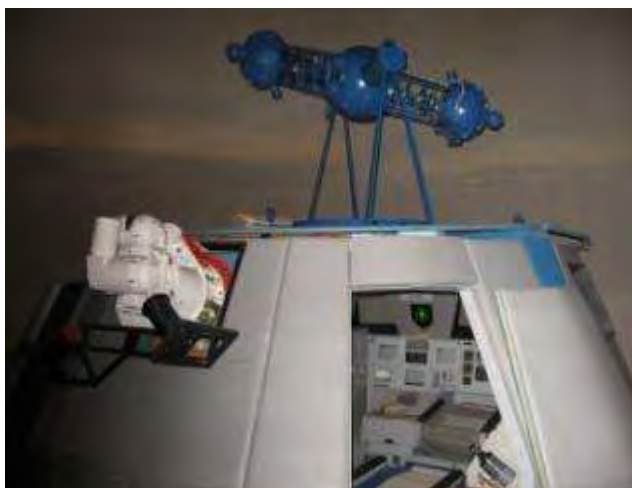


Рис. 5. Астронавигационный функционально-моделирующий стенд

Постройка планетария значительно облегчила изучение звездного неба. На данном этапе космонавт использует для распознавания всю часть небесной сферы сначала в привычной для него ориентации, как будто он наблюдает ее с Земли, а затем в произвольной, как будто он находится в космическом полете. В процессе этих занятий космонавт приобретает устойчивые практические навыки в распознавании созвездий и навигационных звезд на всей небесной сфере. После этого начинается заключительная часть метода.

Применение изученных правил при распознавании опорных созвездий и навигационных звезд в условиях ограниченного поля зрения

Заключительной частью метода является привитие космонавтам навыков и умения распознавать созвездия и навигационные звезды в ограниченных полях зрения.

Изначально для решения этой задачи использовали специальные маски, с помощью которых ограничивалось поле зрения наблюдателя (рисунок 6 (а) и (б)). Ограничение видимости производилось постепенно, по мере формирования устойчивых навыков распознавания. Эти маски применялись как при изучении реального звездного неба, так и в планетарии.

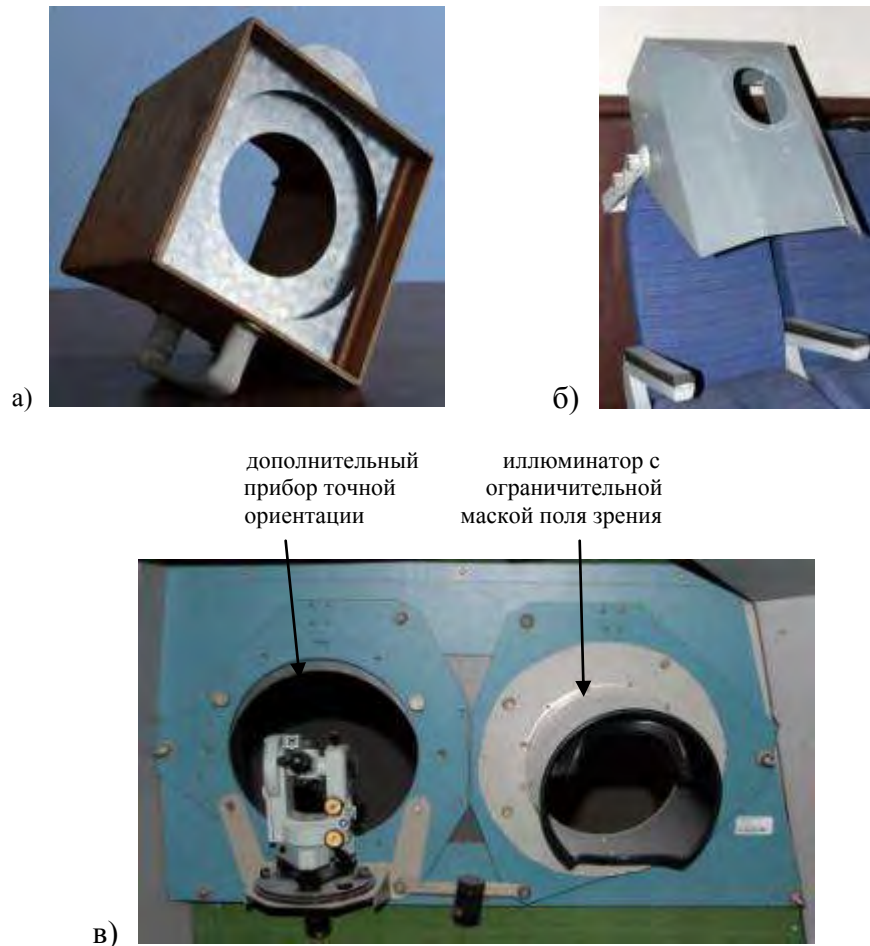


Рис. 6. Маски для ограничения поля зрения: переносная (а) и стационарная (б); рабочее место оператора в кабине (в)

Как отмечалось ранее, планетарий за время эксплуатации претерпел ряд изменений. Сейчас в планетарии есть специализированная кабина, в которой установлены реальные иллюминаторы и оптико-визуальные приборы (рисунок 6 (в)). С их помощью космонавтам прививаются устойчивые навыки и умения по распознаванию созвездий и навигационных звезд в ограниченных полях зрения при произвольном положении небесной сферы.

В заключение хотелось бы отметить, что разработанный в ЦПК визуально-ассоциативный метод позволяет полностью изучить положение созвездий и навигационных звезд на небесной сфере. Космонавты с интересом проходят подготовку по изучению звездного неба, а полученные знания применяют в космическом полете.

МОЛОДЕЖНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОСМОЦЕНТР

О.В. Котов, В.Е. Шукшунов, О.С. Гордиенко

Канд. мед. наук О.В. Котов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. техн. наук В.Е. Шукшунов (ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала», г. Москва)

О.С. Гордиенко (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье перечислены цели и задачи, решаемые молодежным образовательным Космоцентром, который создается в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Указаны состав, назначение и функциональные возможности технических средств, находящихся в Космоцентре.

Ключевые слова: Космоцентр, образовательные программы, технические средства, тренажеры, мультимедийные технологии, космонавт, орбитальная станция, транспортный корабль, эксперименты.

Youth Educational Space Center. O.V. Kotov, V.E. Shukshunov, O.S. Gordienko

This article considers goals and tasks which are solved by youth educational space center which is being created in State organization «Yu.A.Gagarin research and test cosmonaut training centre». This article contains the composition, purpose and functional possibilities of the space center technical facilities.

Key words: space center, educational programs, technical facilities, simulators, multimedia technologies, cosmonaut, orbital station, transport vehicle, experiments.

В настоящее время в Российской Федерации большое внимание уделяется молодежи, на которую делается ставка при реализации инновационного развития экономики страны. Отечественная ракетно-космическая отрасль пока сохраняет лидирующие позиции в мире и нуждается в притоке молодых квалифицированных специалистов, способных продолжить славные традиции своих отцов и дедов в деле освоения ближнего и дальнего космоса. ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (далее – ЦПК) принимает активное участие в организации и проведении молодежных программ, направленных на популяризацию и пропаганду достижений отечественной пилотируемой космонавтики и профессиональной ориентации молодежи для работы на предприятиях ракетно-космической отрасли России. В числе этих программ – молодежные конкурсы «Созвездие» и «Звездная эстафета».

Для реализации молодежных образовательных программ в области космонавтики в ЦПК создан Космоцентр, который имеет следующее назначение:

– первоначальная общекосмическая подготовка школьников с использованием современных информационно-телекоммуникационных образовательных технологий, в том числе технологии виртуальной реальности (первоначальная общекосмическая подготовка);

– целевая профессиональная подготовка студентов старших курсов и молодых специалистов к работе в организациях аэрокосмической отрасли (целевая профессиональная подготовка молодых специалистов);

– ознакомление школьников и студентов с историей и достижениями отечественной и мировой космонавтики, изучение возможностей применения космических технологий в интересах человека (дополнительное школьное образование и профессиональная ориентация молодежи);

– пропаганда достижений отечественной пилотируемой космонавтики и патриотическое воспитание молодежи.

Космоцентр представляет собой единый интегрированный программно-технический обучающий комплекс, реализованный с использованием современных информационных технологий. В его состав входят:

- комплекс полноразмерных макетов модулей орбитальной станции «Мир»;
- реконфигурируемый тренажер самолетов и вертолетов;
- многофункциональный мультимедийный комплекс;
- специализированный тренажер «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА»;
- виртуальный Центр управления полетами;
- мультимедийная аудитория – конференц-зал;
- мультимедийный учебный класс;
- научная лаборатория;
- информационная зона.

Все перечисленные выше объекты связаны в единую локальную вычислительную сеть (далее – ЛВС) Космоцентра, которая имеет выход во внутреннюю сеть ЦПК. С помощью ЛВС Космоцентра можно осуществлять обмен различными видами информации, в том числе аудио и видео. Посредством веб-камер, установленных в действующих тренажерах ЦПК («Дон-Союз» и «Дон-ЕРА»), находясь в Космоцентре можно наблюдать за тренировками российских и иностранных космонавтов (астронавтов) на этих тренажерах. На рис. 1 представлена схема интегрирующего программно-технического комплекса (далее – ИПТК), назначение которого заключается в следующем:

- объединение в единый комплекс программных и технических средств, входящих в состав молодежного образовательного Космоцентра;
- получение аудио/видеоинформации с действующих тренажеров ЦПК на технические средства Космоцентра.

ИПТК обеспечивает:

- обмен данными между элементами Космоцентра через сеть Ethernet;
- видеонаблюдение за обучаемыми с помощью IP-камер, трансляцию и вывод видеоинформации заинтересованным пользователям, в том числе, видеонаблюдение за экипажами специализированного тренажера «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА» и вывод видеоинформации на экран коллективного пользования виртуального Центра управления полетами;

– «захват» форматов со средств отображения информации с тренажеров Космоцентра, трансляцию и вывод их заинтересованным пользователям, в том числе, «захват» формата «ВСК» во время стыковки экипажа специализированного тренажера «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА» и представление процесса интерактивной виртуальной стыковки с Международной космической станцией (далее – МКС) на экран коллективного пользования виртуального Центра управления полетами Космоцентра;

– трансляцию переговоров экипажей, речевого сопровождения лекции преподавателя, коммутацию и вывод речевой информации заинтересованным пользователям;

– ведение видеоархива, запись и хранение информации на едином сервере/регистраторе хранения данных, многокритериальный поиск аудио/видеоинформации по всем описательным полям;



Рис. 1. Структура интегрирующего программно-технического комплекса молодежного образовательного Космонавта ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

– просмотр аудио/видеоматериалов на сетевых рабочих местах как в составе Космоцентра, так и в корпоративной сети ЦПК;

– обмен данными заинтересованных пользователей с внешними источниками через сеть Интернет, в том числе для организации режима телеконференции.

В Космоцентре имеются инновационные образовательные технологии, которые будут использоваться для обучения школьников и студентов. Для эффективного проведения занятий в Космоцентре разработаны соответствующие учебно-методические материалы и пособия, программы и курсы, которые представляют собой единый комплекс документов, используемый в интегрирующей обучающей среде (далее – ИОС). В ИОС реализованы следующие функции:

– подготовка и предъявление учебного материала по заранее подготовленному сценарию;

– диагностика работоспособности терминального оборудования;

– регистрация и автоматизированное тестирование обучаемых;

– хранение и ведение баз данных на сервере ИОС;

– ведения персоналий – администратор, преподаватель (инструктор), обучаемый с соответствующими правами доступа.

Все это обеспечивает:

– обучение по различным адаптированным программам, рассчитанным на разные исходные состояния подготовленности обучаемых и различные сроки их обучения;

– формирование стандартных и оригинальных динамических сценариев учебных занятий с использованием широкого спектра современных мультимедийных средств обучения;

– представление учебного материала обучаемым в виде, в наибольшей степени отвечающем потребностям обучения и возможностям обучаемых;

– возможность контролировать и оценивать исходные, промежуточные и итоговые индивидуальные состояния обученности (компетентности) обучаемых;

– эффективное управление учебным процессом, используя в качестве управляемого параметра разность текущих и требуемых состояний компетентности обучаемых;

– адаптивность учебного материала к возможностям обучаемых;

– интерактивность представления обучаемому разнообразной справочной информации.

Остановимся подробнее на объектах Космоцентра.

Комплекс макетов модулей орбитальной станции «Мир», который представлен на рис. 2, предназначен для решения следующих задач:

– изучение внешнего вида и внутреннего интерьера орбитальной станции «Мир» (рис. 3) с использованием полноразмерных учебно-тренировочных макетов:

- базового блока долговременной орбитальной станции «Мир»;

- модуля «Квант»;

- модуля «Кристалл»;

- модуля «Квант-2»;

– ознакомление с работой космонавтов с главного поста управления макета базового блока долговременной орбитальной станции «Мир».



Рис. 2. Комплекс макетов модулей орбитальной станции «Мир»



Рис. 3. Внутренний интерьер базового блока орбитальной станции «Мир»

Реконфигурируемый процедурный тренажер самолетов и вертолетов (рис. 4) предназначен для ознакомления обучаемых с подготовкой экипажа самолетов Боинг 737-500, АТR-42-300 и вертолетов Ми-8 МТВ, Ми-8Т к полетам и непосредственного выполнения полета. Тренажер позволяет осуществлять:

- взлет, набор высоты с визуальным изображением местности и линии горизонта в дневных и ночных условиях;
- отработку навыков пилотирования: полет по маршруту, снижение, заход на посадку и уход на второй круг с использованием пилотажно-навигационного комплекса, приборов и систем, во всем диапазоне эксплуатационных высот и скоростей;
- выполнение полета по маршруту с использованием радиотехнических и радиолокационных средств;
- экстренное снижение;
- полет по кругу, заход на посадку, посадка и уход на второй круг в условиях посадочного минимума;
- пробег с применением имеющихся средств торможения;
- ведение двусторонней радиосвязи с Землей и внутренней связи;
- визуальный заход на посадку и т.д.



Рис. 4. Реконфигурируемый процедурный тренажер самолетов и вертолетов

Многофункциональный мультимедийный комплекс (рис. 5) предназначен для проведения образовательных, учебных, просветительских, познавательных программ для посетителей молодежного образовательного Космоцентра.

Многофункциональный мультимедийный комплекс обеспечивает создание интерактивной среды за счет специализированного программного обеспечения, который включает в себя систему визуализации с панорамным экраном размером 2,4 м на 12 м, звуковую систему и систему управления программным комплексом.



Рис. 5. Многофункциональный мультимедийный комплекс



Рис. 6. Специализированный тренажер «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА»

Многофункциональный мультимедийный комплекс позволяет:

- демонстрировать познавательные, образовательные и учебные программы;
- проводить опросы, викторины, олимпиады, разнообразные информационные и презентационные мероприятия.

Специализированный тренажер «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА» (рис. 6) предназначен для решения следующих задач:

- изучение внешнего вида отечественного пилотируемого транспортного космического корабля (далее – ТКК) «Союз-ТМА» и внешней космической обстановки (звездное небо, подстилающая земная поверхность);
- изучение интерьера спускаемого аппарата и бытового отсека ТКК «Союз-ТМА»;
- ознакомление с работой космонавтов на ТКК «Союз-ТМА»;
- изучение устройства, принципов работы и получения первоначальных навыков управления бортовыми системами и оборудованием ТКК «Союз-ТМА»;
- интерактивное взаимодействие с объектами интерьера, виртуальным пультом управления;
- взаимодействие между членами экипажа;
- изучение режимов сближения, причаливания и стыковки с МКС в ручном и автоматическом режимах;
- имитация акустической обстановки (звук работы двигателей ракеты-носителя на выведении, звуки работы двигателей ТКК «Союз-ТМА»).

На этом тренажере одновременно могут проходить обучение 3 экипажа ТКК «Союз-ТМА», состоящие из трех человек каждый. Руководство работой экипажей осуществляется из виртуального Центра управления полетами.

Виртуальный Центр управления полетами (рис. 7) предназначен для выполнения следующих задач:

- ознакомление посетителей Космоцентра с принципами организации планирования и управления космическими полетами, задачами Центра управления полетами (далее – ЦУП), иллюстрации работы персонала ЦУПа в процессе стыковки с МКС;
- воспроизведение траектории и основных параметров полета орбитальной станции и транспортного космического корабля, представляемых на экранах коллективного пользования по аналогии с информацией, отображаемой в реальном Центре управления полетами;
- имитация деятельности дежурного персонала ЦУПа при выполнении отдельных полетных операций:
 - на транспортном космическом корабле;
 - на борту орбитальной станции;
 - при осуществлении стыковки транспортного космического корабля с орбитальной станцией.

Центр управления полетами включает в себя 3-экранный видеокomплекс коллективного пользования, на который выводится карта с траекторией полета, основные параметры, наблюдаемая экипажем внешняя визуальная обстановка, информация с видеокамер наблюдения за экипажем, план полета, иллюстративная информация и т.д.

Рабочее место инструктора–сменного руководителя полетом обеспечивает управление процессом имитации деятельности дежурного персонала ЦУПа при выполнении отдельных полетных операций и организации взаимодействия с тре-

мя экипажами, находящимися в специализированном тренажере «Виртуальный транспортный космический корабль «Союз-ТМА».

Мультимедийная аудитория – конференц-зал (рис. 8) предназначена для решения следующих задач:

- проведение конференций и видеоконференций;
- проведение учебных занятий в режиме презентации с помощью средства отображения информации коллективного пользования (сетевой проектор с экраном коллективного пользования) и терминального вычислительного устройства рабочего места преподавателя;
- проведение учебных занятий с использованием маркерной и интерактивной доски, проектора с экраном, аудиосистемы 5/1 для скоординированного предъявления всего многообразия учебной информации (2D-графика, речь, аудио, текст, структурированный гипертекст, видео и 3D-графика) по заранее подготовленному динамическому сценарию;
- регистрацию на рабочих местах школьников, студентов и преподавателя;
- автоматизированное тестирование школьников и студентов в процессе учебного занятия;
- предоставление обучаемым учебно-методических и справочных материалов по изучаемым темам и предметам в электронном виде.

Мультимедийный учебный класс (рис. 9) предназначен для проведения учебных занятий с использованием программно-аппаратных комплексов автоматизированных рабочих мест школьников, студентов и автоматизированного рабочего места преподавателя для предъявления учебной информации в интерактивном режиме по определенному сценарию.

С помощью современных мультимедийных средств школьники и студенты могут изучать:

- анатомию человека с помощью 3D-анатомического атласа;
- оказание первой медицинской помощи на борту космического аппарата с помощью компьютерного тренажера;
- физиологические эффекты влияния на космонавта динамических факторов космического полета (перегрузки и невесомость);
- порядок составления полетного меню космонавта;
- основные системы ТКК «Союз ТМА» и МКС с помощью соответствующих виртуальных моделей и т.д.

Научная лаборатория (рис. 10) предназначена для решения следующих задач:

- ознакомление с содержанием научных задач и экспериментов, проводимых космонавтами и астронавтами в космосе;
- демонстрация (иллюстрация) отдельных экспериментов и работ, отражающих проявление законов физики (химии) и физиологии человека в космосе;
- получение посетителями молодежного образовательного космоцентра знаний и навыков, связанных с проведением научных экспериментов;
- моделирование научно-прикладных исследований и экспериментов с использованием средств виртуальной реальности;
- использование специальных медико-биологических стендов для моделирования отдельных факторов космического полета;



Рис. 7. Виртуальный Центр управления полетами



Рис. 8. Мультимедийная аудитория – конференц-зал



Рис. 9. Мультимедийный учебный класс



Рис. 10. Научная лаборатория

– использование медицинского оборудования для обучения методам научных исследований с участием человека (оборудование для регистрации физиологических функций, анатомических измерений, проведения лабораторных исследований с помощью оптического микроскопа и т.д.).

В научной лаборатории представлены:

– виртуальные компьютерные тренажеры научно-прикладных исследований и экспериментов, проводимых космонавтами в космосе;

– стенд для имитации работы в перчатках космического скафандра, предназначенного для осуществления внекорабельной деятельности;

– телескоп Vixen с автоматическим наведением на небесные объекты и их сопровождением, компьютерной системой управления и базой данных более 22,0 тысяч космических объектов;

– аппаратно-программный комплекс Алиса-СК для приема и обработки информации, передаваемой со спутников серии NOAA.

Информационная зона Космоцентра предназначена для наглядного представления информации об истории развития и современном состоянии пилотируемой космонавтики с использованием плакатов, стендов, экспонатов и современных мультимедийных средств.

Информационная зона включает в себя настенные плакаты, баннеры, выставочные стенды с экспонатами, натурные экспонаты, модели пилотируемых космических аппаратов и ракет-носителей, выполненные в определенном масштабе, видео- и фотоматериалы, которые отображаются 6-канальной мультимедийной системой на шести LCD-панелях размером 60 дюймов в формате HDTV, установленных в зале макетов орбитальной станции «Мир». В состав мультимедийной системы входит интерактивный информационный киоск, позволяющий получить справочную информацию по тематике пилотируемой космонавтики.

Созданный в ЦПК Космоцентр в настоящее время не имеет аналогов в Российской Федерации и обладает огромным потенциалом для реализации образовательных программ с целью профессиональной ориентации молодежи для дальнейшей работы в космической отрасли нашей страны, популяризации достижений отечественной пилотируемой космонавтики и патриотического воспитания.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

КОНФЕРЕНЦИЯ В ИНСТИТУТЕ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ ИМЕНИ С.В. ВАВИЛОВА

г. Москва, 9–11 ноября 2010 года

Conference in S.I. Vavilov Natural History and Technique Institute

Moscow, November 9–11, 2010

Российская академия наук и Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова проводили 9–11 ноября 2010 года на базе института XVI годовичную конференцию.

11 ноября 2010 года в 15:00 состоялся круглый стол, посвященный юбилейной дате «К 50-летию первого полета человека в космос», в котором участвовали сотрудники ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Были заслушаны следующие доклады:

1. Демин А.А. Об одном эпизоде гонки космических лазерных вооружений, стимулировавшем разрядку холодной войны.

2. Шуруп А.И. Развитие научно-технического обеспечения процесса подготовки космонавтов в ЦПК имени Ю.А. Гагарина. Постановка задачи историко-технического исследования.

3. Митина А.А. Из истории развития и применения астрономических приборов ориентации ПКА.

4. Иванова Л.В. Исследование процесса социализации и профессиональной адаптации космонавтов.

5. Соловьева И.Б. О Гагарине.

6. Богдашевский Р.Б. Испытания в барокамерных комплексах первых отечественных скафандров для выхода в открытый космос.

7. Бурдаев Н.М. Первые шаги военной космонавтики в НИИ – 2 ПВО.

8. Крючков Б.И., Сохин И.Г. Этапы формирования научно-методической школы ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

9. Курицын А.А. Этапы создания и эксплуатации орбитальных пилотируемых космических комплексов в России и США.

10. Наумов Б.А. Космические тренажеры. Этапы развития.

11. Каспранский Р.Р., Воронин Л.И., Алексеев В.Н. История вестибулярной подготовки космонавтов.

12. Егорова О.В. Из истории российско-кубинского сотрудничества в космосе.

13. Шальнев О.В. Надувные амортизаторы для мягкой посадки космических аппаратов на Луне.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР В КАЗАНИ

г. Казань, 26–27 ноября 2010 года

International Scientific Seminar in Kazan

Kazan, November 26–27, 2010

К 50-летию первого полета человека – советского космонавта Юрия Алексеевича Гагарина в космос, к 100-летию российской авиации, к 100-летию М.В. Келдыша, идеолога и руководителя Программы космических исследований, в Казани (Татарстан, Россия) на базе Казанского государственного технического института (Казанский авиационный институт) имени А.Н. Туполева был проведен Международный научный семинар по теме: «Проблемы моделирования и динамики сложных междисциплинарных систем».

В рамках тематической сессии «Авиация и космонавтика: фундаментальные научные и прикладные аспекты» в семинаре участвовали представители следующих организаций: Российской академии наук, Федерального космического агентства, КГТУ имени А.Н. Туполева, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», МАИ-ГТУ, ИПМ РАН имени А.Ю. Ишлинского, Казанского федерального университета, КАПО имени С.П. Горбунова, Технического университета (Тольятти), КБ «Южное» (Днепропетровск), Лаборатории реактивного движения (НАСА, США) и др. В работе семинара активное участие приняли: советник президента Республики Татарстан, вице-президент Газпромбанка, член попечительского совета КГТУ профессор Б.П. Павлов, ректор КГТУ имени А.Н. Туполева профессор Ю.Ф. Гортышев.

На семинаре были представлены научные доклады по разным направлениям авиационных и космических исследований. Организационный комитет отметил наиболее интересные из них:

В.А. Давыдов (статс-секретарь – заместитель руководителя ФКА, Москва). Аэрокосмические технологии и наука: некоторые проблемы и перспективы.

С.К. Крикалёв (летчик-космонавт России, Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, начальник ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок). Перспективы и проблемы пилотируемой космонавтики в XXI веке.

А.М. Матвеев (академик РАН, МАИ-ГТУ, Москва). Авиационная, авиакосмическая и ракетно-космическая техника XXI века: новые технологии.

В.Ф. Журавлев (академик РАН, ИПМ РАН имени А.Ю. Ишлинского, Москва). Тепловой дрейф идеального гироскопа в эксперименте «Gravity Probe B».

Г.М. Гречко (летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, Москва). Пилотируемая космонавтика: вчера, сегодня, завтра.

По причине переноса посадки экипажа МКС-24/25 с 30 ноября на 26 ноября 2010 года доклад начальника ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», летчика-космонавта С.К. Крикалёва на семинаре представил заместитель начальника научного управления ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» И.Г. Сохин.

В заключительный день семинара в актовом зале КГТУ имени А.Н. Туполева состоялся круглый стол с участием космонавта Г.М. Гречко, ректора КГТУ Ю.Ф. Гортышева, заместителя начальника научного управления ЦПК имени Ю.А. Гагарина И.Г. Сохина, начальника отдела ЦПК имени Ю.А. Гагарина А.А. Курицына, студентов и преподавателей университетов Казани.

По итогам проведенного научного семинара была отмечена необходимость дальнейшей пропаганды среди молодежи достижений науки и техники в области пилотируемой космонавтики, а также достигнута договоренность о продолжении сотрудничества между КГТУ имени А.Н. Туполева и ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

За большие заслуги в области развития пилотируемой космонавтики, обучения и воспитания молодежи летчику-космонавту, дважды Герою Советского Союза Г.М. Гречко и летчику-космонавту, Герою Советского Союза, Герою Российской Федерации, начальнику ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» С.К. Крикалёву решением ученого совета КГТУ имени А.Н. Туполева присвоены звания почетных профессоров Казанского государственного технического института (Казанского авиационного института) имени А.Н. Туполева.

И.Г. Сохин

**ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ
О РАБОЧЕЙ ВСТРЕЧЕ В Г. МЮНХЕНЕ (ГЕРМАНИЯ)
ПО НАУЧНОЙ ПРОГРАММЕ «ПЛАЗМЕННЫЙ КРИСТАЛЛ»
г. Москва, 15 декабря 2010 года**

**Information Statement About “Plasmatic Crystal” Scientific Program Meeting
in Munich (Germany)
Moscow, December 15, 2010**

Объединенный Институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН, г. Москва) и Институт внеземной физики Общества М. Планка (г. Мюнхен, Германия) проводят совместные исследования по программе «Плазменный кристалл» с выполнением экспериментов на борту РС МКС с 2001 года. В этой работе активно участвуют космонавты и сотрудники ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

В рабочей встрече принимали участие сотрудники ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»: советник начальника Учреждения космонавт Котов Олег Валериевич, ведущий научный сотрудник космонавт Батурин Юрий Михайлович, начальник отдела Сабуров Петр Алексеевич и начальник лаборатории Шуров Александр Иванович.

Цель эксперимента «Плазменный кристалл» – исследование плазменно-пылевых структур в условиях микрогравитации. Это эксперимент в новой области физики – физики пылевой плазмы. Пылевой называется плазма, в которой, помимо электронов, ионов и нейтральных частиц, присутствуют сильно заряженные пылевые частицы микронных размеров. Наличие таких частиц в плазме приводит к ряду качественно новых, еще не исследованных эффектов. Одним из них является возникновение упорядоченных структур из заряженных пылевых частиц. Формирование этих структур вызвано наличием сильного межчастичного взаимодействия. Такого рода необычные образования возникают в разнообразных условиях: в плазме высокочастотного электрического разряда, тлеющего разряда постоянного тока, при горении газообразных и твердых топлив, под воздействием ультрафиолетового и радиоактивного облучения. В лабораторных условиях на Земле свойства кристаллической решетки в плазменно-пылевых структурах суще-

ственно искажаются действием гравитации, эксперименты же в условиях космоса устраняют это влияние.

Проведение экспериментов с плазменным кристаллом в условиях микрогравитации позволит исследовать принципиально новые явления в плазменно-пылевых структурах, получить структуру кристалла со свойствами, значительно отличающимися от получаемых в наземных условиях.

Эксперименты с плазменным кристаллом имеют важное значение для исследования конденсированного и плазменного состояния вещества, физики кристаллов, моделирования самоорганизации пылегазовых облаков в космосе, для современных плазменных технологий, получения материалов с заданными свойствами, для микроэлектронных технологий и иных приложений.

П.А. Сабуров

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КОСМОС НА БЛАГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ»**
г. Астана, Казахстан, 6–7 января 2011 года

**International Research and Practice Conference “Space for the Welfare
of Mankind – Looking Into the Future”**
Astana, Kazakhstan, January 6–7, 2011

6–7 января в Астане под эгидой Национального космического агентства (НКА) РК проходила двухдневная Международная конференция «Космос на благо человечества – взгляд в будущее», посвященная 50-летию полета в космос первого человека Земли Юрия Гагарина. В работе конференции, организаторами которой выступали АО «Национальный центр космических исследований и технологий» (НЦКИТ) и Евразийский национальный университет (ЕНУ) имени Л.Н. Гумилева, приняли участие более двухсот представителей из Казахстана, России, Украины, Франции, Германии, Китая, Японии.

В конференции принял участие начальник ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» С.К. Крикалёв.

Целью конференции стало определение основных направлений сотрудничества стран-участниц в научных, образовательных, производственных, коммерческих направлениях, поиск и достижение наиболее эффективных путей взаимодействия.

На форуме были представлены пленарные, секционные и стендовые доклады на актуальные темы: национальный космический центр – основа космической индустрии Казахстана, ракетные и спутниковые технологии, экология и безопасность, изменения климата, подготовка кадров, космическая наука, глобальные космические проекты на благо человечества и другие.

Работа конференции проходила по трем секциям: ракетно-космическая техника и космические технологии XXI века, космические научные исследования и эксперименты, космическое материаловедение и приборостроение.

*Пресс-службы:
Роскосмоса, НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина*

**XXXV АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ ПО КОСМОНАВТИКЕ,
ПОСВЯЩЕННЫЕ ПАМЯТИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА
И ДРУГИХ ВЫДАЮЩИХСЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УЧЕНЫХ –
ПИОНЕРОВ ОСВОЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, –
«КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ»
г. Москва, 25–29 января 2011 года**

**XXXV Academic Conference on Astronautics Dedicated to the Memory
of Academician S.P. Korolev and Other Outstanding Domestic Scientists –
the Pioneers of Space Exploration
Moscow, January 25–29, 2011**

Российская академия наук, Федеральное космическое агентство, Комиссия по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана провели XXXV Академические чтения по космонавтике, которые состоялись в городе Москве 25–29 января 2011 года.

В рамках чтений обсуждались следующие темы:

- научное наследие пионеров освоения космического пространства и конструкторские школы ракетно-космической техники;
- фундаментальные проблемы космонавтики и состояние развития отдельных ее направлений;
- место космонавтики в решении вопросов социально-экономического и стратегического развития современного общества;
- гуманитарные аспекты космонавтики;
- исследования по истории космической науки и техники.

Оргкомитет чтений: академик Б.Е. Черток (председатель) и глава Роскосмоса А.Н. Перминов (сопредседатель).

В чтениях участвовали: связанные с космонавтикой предприятия – Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, РКК «Энергия» имени академика С.П. Королёва, НПО «Энергомаш» имени академика В.П. Глушко, НПО машиностроения, ГКНПЦ имени М.В. Хруничева, ЦНИИмаш, Центр Келдыша, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Институт прикладной математики (ИПМ) имени М.В. Келдыша, Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова, НПО имени С.А. Лавочкина, КБ общего машиностроения, ЦАГИ, ИМБП, НИИхиммаш; ведущие вузы страны – МГТУ, МГУ, МАИ; общественные организации – Российская академия космонавтики имени К.Э. Циолковского и Ассоциация музеев космонавтики, представители НАСА и космических агентств Франции и Китая.

В ходе пленарных заседаний было представлено значительное количество интересных докладов как исторической, так и технической направленности.

В выступлении начальника Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина Крикалёва С.К. говорилось о становлении и развитии отечественной системы отбора и подготовки космонавтов, начиная с первого набора и до наших дней. Дана оценка современному состоянию российской системы отбора и подготовки космонавтов (СОПК), стоящими перед ней проблемами и путями их совершенствования.

Чтения традиционно прошли на высоком уровне.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭКОЛОГИЯ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ ГЛАЗАМИ КОСМОНАВТОВ»**
г. Москва, Миусская пл., 7, стр.1, Общественная палата РФ,
5 апреля 2011 года

International Conference “Planet Ecology the Earth by Eyes of Cosmonauts”
Moscow, Miusskaya sq. 7, building 1, The Public Chamber of RF,
April 5, 2011

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Общественная палата Российской Федерации и некоммерческая организация «Национальный экологический фонд» провели 5 апреля 2011 Международную конференцию «Экология планеты Земля глазами космонавтов», посвященную 50-летию со дня полета Ю.А. Гагарина.

Целью конференции являлось обращение внимания на то, что экология – это глобальная, а не региональная наука, как считалось ранее, и, поняв это, мировое сообщество получило такую гору проблем, справиться с которой в ближайшее время довольно-таки трудно, но необходимо, так как времени почти не осталось; напомнить о том, что человечество сейчас живет в условиях, когда планета Земля становится единым домом человечества, но многие противоречия, конфликты, проблемы могут перерасти локальные рамки и приобрести глобальный общемировой характер.

На конференции были представлены следующие доклады:

– «Роль и место космонавтов в проведении экологических исследований на борту пилотируемого космического аппарата» – начальник ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» Крикалёв С.К., заместитель начальника Центра по научной работе Крючков Б.И., начальник отделения Васильев В.И.

– «Проблемы экологии планеты Земля глазами землян» – директор НИИ экологии человека, профессор, доктор медицинских наук, академик РАМН, МАН, вице-президент РАЕН, МСА Рахманин Ю.А.

– «Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС» – доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, академик РАМН, заслуженный врач РФ, генерал-майор медицинской службы, директор Института медико-биологических проблем РАН Ушаков И.Б.

Во время конференции развернула свою экспозицию выставка «Экология и здоровье», на которой были представлены достижения, делающие нашу жизнь лучше и экологически безопаснее.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЧЕЛОВЕК–ЗЕМЛЯ–КОСМОС», ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ ПОЛЕТА В КОСМОС Ю.А. ГАГАРИНА**

г. Калуга, 9–10 апреля 2011 года

**International Conference “Human–Earth–Space”, Dedicated
to the 50th Anniversary of the First Human Space Flight by Yu.A. Gagarin**
Kaluga, April 9–10, 2011

Место проведения конференции: конференц-зал здания администрации губернатора Калужской области (пл. Старый Торг, 2).

Основная цель Международной конференции, посвященной 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина, – исследование и распространение гуманитарных и научно-технических аспектов роли и значения первого в мире полета человека в космос, личности первого космонавта, истории, проблем и перспектив космонавтики, аэрокосмическое образование и профессиональная ориентация молодежи.

На конференции работали следующие секции:

1. Философские аспекты первого в мире полета человека в космос. Космонавтика и устойчивое развитие общества.

2. Ракетно-космическая промышленность и ее научно-технический потенциал. Вклад российских ученых и конструкторов в подготовку и осуществление пилотируемых полетов в космос.

3. Новые технологии и научно-технические решения в ракетно-космической промышленности и перспективы их использования. Проект международной аэрокосмической системы глобального мониторинга.

4. Аэрокосмическое образование и молодежные проекты.

5. XII общероссийская конференция актива школьных музеев космонавтики «Мы – дети Галактики», посвященная 50-летию со дня полета Ю.А. Гагарина в космос.

Открыл конференцию Бармин Игорь Владимирович, член-корреспондент РАН.

Было организовано видеоприветствие космонавтов с Международной космической орбитальной станцией.

На конференции выступали: Джанибеков Владимир Александрович, летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, президент Ассоциации музеев космонавтики России; Фаркаш Берталан, первый венгерский космонавт, Герой Советского Союза, Герой Венгерской Народной республики; Волинов Борис Валентинович, летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, кандидат технических наук; Крикалёв Сергей Константинович, начальник Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, летчик-космонавт СССР, Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, кандидат психологических наук.

С пленарным докладом «50 лет пилотируемых полетов в космос: анализ и перспективы» выступил заместитель начальника Центра по научной работе доктор технических наук, академик РАКЦ Крючков Б.И.

Был продемонстрирован документальный фильм о Ю.А. Гагарине «Наш Юрий».

**МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ»**

Звездный городок, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»,
22–24 июня 2011 года

**Youth Conference “New Materials and Technologies
in Rocket – Space Technics”**

Star city, State organization “Yu.A. Gagarin research and test cosmonaut training centre”,
June 22–24, 2011

В соответствии с «Планом основных мероприятий по подготовке и проведению празднования 50-летия полета в космос Ю.А. Гагарина», утвержденным Председателем Правительства РФ, Председателем организационного комитета В.В. Путиным, а также в целях дальнейшего развития и поддержки научно-технической деятельности молодых специалистов организаций ракетно-космической отрасли промышленности России принято решение о проведении в 2011 году Молодежной конференции на тему: «Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике» (далее – Молодежная конференция).

Мероприятие проводилось при поддержке Федерального космического агентства и Государственной думы РФ.

Организаторами мероприятия являлись: ФГУП Центр «Звездный», Комитет по развитию авиационно-космического комплекса ТПП РФ, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» и НП «Ассоциация ученых города Королёва».

Молодежная конференция проходила с 22 по 24 июня 2011 года в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (далее – ЦПК).

Программой Молодежной конференции была предусмотрена работа следующих секций:

Секция 1. Новые материалы и технологии для ракетно-космической и авиационной техники.

Секция 2. Системы и средства для изделий ракетно-космической и авиационной техники.

Секция 3. Технологии двойного назначения (применение ракетно-космических и авиационных технологий в других отраслях промышленности, народном хозяйстве, медицине, бытовой технике и др.).

Участникам и гостям конференции была предложена обширная программа дополнительных мероприятий:

– экскурсии по технической базе ЦПК с посещением центрифуги, гидролаборатории, тренажеров транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА», орбитального комплекса «Мир» и российского сегмента Международной космической станции;

– посещение музея космонавтики, в котором собраны уникальные экспонаты (кабинет Ю.А. Гагарина, его награды, скафандры космонавтов и многое другое);

– посещение молодежного образовательного Космоцентра;

– показ видеофильмов о подготовке космонавтов к выполнению космических полетов;

– встречи с космонавтами.

Все поступившие доклады опубликованы в печатном издании «Материалы Молодежной конференции». Авторы лучших докладов, отобранных конкурсной комиссией, отмечены наградами.

**ИАС 2011 – 62-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ
(АСТРОНАВИГАЦИОННЫЙ) КОНГРЕСС**
Кейптаун, Южная Африка, 3–7 октября 2011 года

ИАС 2011 – 62-nd International Space (Astro-Navigational) Congress
Capetown, South Africa, October 3–7, 2011

Международная федерация астронавтики и местный организационный комитет проводят 62-й Международный конгресс по астронавтике. Мы с нетерпением ждем возможности приветствовать Вас в Кейптауне!

Техническая программа ИАС 2011 сгруппирована в категории:

- Наука и освоение
- Применение и функционирование
- Технологии
- Инфраструктура
- Космос и общество



ИАС проводится ежегодно в разных странах мира, его организатором является Международная астронавтическая федерация (IAF), объединяющая 205 членов из 58 стран мира. Постоянную поддержку в подготовке и проведении конференции оказывают Международная академия астронавтики (IAA) и Международный институт космического права (IISL).

ИАС – крупнейший мировой конгресс в вопросах космонавтики и смежных с ней областей, в нем ежегодно принимают участие свыше 3000 представителей космических агентств и специалистов из ведущих научных институтов и промышленных предприятий.

Даты проведения 62-го космического (астронавигационного) конгресса совпадают с датами Всемирной недели космоса. Всемирная космическая неделя – это международный праздник, посвященный тому вкладу, который вносит космическая наука и техника для улучшения жизни человека. Этот праздник был официально декларирован ООН 6 декабря 1999 года как ежегодное мероприятие в период с 4 по 10 октября. В течение Всемирной космической недели по всему миру проводятся мероприятия и образовательные программы, непосредственно относящиеся к космосу.

Согласованные во времени мероприятия привлекают внимание СМИ, которые помогают донести знания о космосе до широких масс населения. Даты проведения Всемирной космической недели служат напоминанием о ключевых космических вехах: 4 октября 1957 года – дата запуска первого искусственного спутника Земли – Спутника I; 10 октября 1967 года вступило в силу Соглашение об открытом космосе.

2011 год полон знаменательных дат в развитии космонавтики. 50 лет назад первый человек Юрий Гагарин вышел в открытый космос. В честь 50-летия полета Юрия Гагарина 2011 год объявлен годом российской космонавтики.

**КОСМИЧЕСКИЙ ФОРУМ 2011,
ПОСВЯЩЕННЫЙ 50-ЛЕТИЮ ПОЛЕТА В КОСМОС
Ю.А. ГАГАРИНА, С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**
Звездный городок, Московская область, 18–21 октября 2011 года

**Space Forum 2011, Dedicated to the 50th Anniversary of the First Human Space
Flight by Yu.A. Gagarin, with International Participation**
Star City, Moscow Region, October 18–21, 2011

Федеральное космическое агентство, Российская академия наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»), учреждение Российской академии наук Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН провели 18–21 октября 2011 года «Космический форум 2011, посвященный 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина».

Космический форум с международным участием был организован в виде двух конференций и спутникового симпозиума.

Конференция «Пилотируемые полеты в космос» проводилась 18 и 19 октября 2011 года в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок.

Конференция «Актуальные проблемы космической биологии и медицины» и спутниковый симпозиум «Системы жизнеобеспечения для пилотируемых полетов» проводились 20 и 21 октября 2011 года в конференц-залах Президиума Российской академии наук по адресу: г. Москва, Ленинский проспект, 32А.

В форуме, наряду с российскими специалистами, приняли участие специалисты из Австрии, Бельгии, Венгрии, Германии, Италии, Казахстана, Канады, Китая, Литвы, США, Украины, Франции и Японии. Всего на форуме было представлено 270 устных и 105 стендовых докладов. Общее количество участников форума составило более 400 человек, из них 37 – граждане стран ближнего и дальнего зарубежья.

Важной особенностью форума явилось участие в нем молодых специалистов и студентов, которые выступили с докладами на различных секциях, в том числе на секционном заседании, посвященном молодежным образовательным программам. На торжественном открытии форума, которое проходило 19.10.2011 года в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», участники форума с большим интересом отнеслись к подготовленной школьниками и студентами выставке картин, посвященных полетам в космос, и приняли участие в конкурсном отборе лучших произведений для награждения их авторов почетными дипломами.

В период проведения форума в Президиуме РАН (20–21 октября) по согласованию оргкомитета с Московским городским дворцом детского и юношеского творчества была представлена экспозиция картин, посвященная освоению космоса. Детские рисунки привлекли внимание участников форума, а победители конкурса вместе с педагогами-наставниками были награждены дипломами и грамотами.

С материалами форума можно ознакомиться на сайтах www.gctc.ru и www.imbp.ru

Оргкомитет

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 научно-технического 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) – 12,5x20 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 научно-технического журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала размещено на сайте <http://www.gctc.ru>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научный редактор *Л.К. Васильева*
Технический редактор *Н.В. Волкова*
Корректор *Т.И. Лысенко*

Подписано в печать 14.02.2012.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 15,75. Тираж 100 экз. Зак. 822-11.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»