

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**С.К. Крикалёв**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Б.И. Крючков** –  
заместитель  
главного редактора,

**А.В. Кальмин** –  
ответственный секретарь,

**Ю.М. Батулин,**

**М.Н. Бурдаев,**

**Л.К. Васильева,**

**С.П. Власенков,**

**Н.В. Волкова,**

**Л.И. Воронин,**

**О.С. Гордиенко,**

**П.П. Долгов,**

**В.М. Жуков,**

**О.В. Котов,**

**Г.Д. Орешкин,**

**В.Н. Саев,**

**И.Г. Сохин,**

**М.В. Сураев,**

**М.М. Харламов,**

**В.М. Усов,**

**В.И. Ярополов.**

## СОДЕРЖАНИЕ

Обращение руководителя Федерального космического агентства.....	3
Становление и развитие отечественной системы отбора и подготовки космонавтов. <i>С.К. Крикалёв</i> .....	5
Пилотируемый космос, состояние и перспективы развития. <i>Г.Г. Райкунов</i> .....	19
Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов. <i>В.А. Соловьев, В.Е. Любинский, Е.И. Жук</i> .....	27
Результаты исследований ГКНПЦ имени М.В. Хруничева по концептуальным положениям реализации планетных миссий. <i>А.И. Кузин, С.Н. Лозин, А.А. Нестеренко, В.Ю. Юрьев, В.Г. Власенко, И.А. Соболев, Д.В. Морозов</i> .....	38
О стратегии исследования и освоения солнечной системы. <i>Л.М. Зеленый</i> .....	55
Технология виртуальной реальности: опыт создания систем виртуальной реальности для космических тренажерных комплексов. <i>А.М. Шалагин, Б.С. Долговесов, И.В. Белаго</i> .....	61
Плазменно-пылевые кристаллы и жидкости в экспериментах на Международной космической станции. <i>В.Е. Фортон, О.Ф. Петров, В.И. Молотков, А.М. Липаев, В.Н. Наумкин, Г. Морфилл, Х. Томас, А.В. Ивлев, А.Г. Храпак, С.А. Храпак, М. Швабе, Т. Хагль, П.А. Сабуров, М.С. Кудашкина, А.И. Иванов</i> .....	65
Этапы становления и перспективы развития научно-методической базы подготовки космонавтов. <i>Б.И. Крючков, И.Г. Сохин</i> .....	78
Автоматизация управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов. <i>А.А. Курицын, М.М. Харламов</i> .....	87

Анализ путей создания космических тренажеров в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. <i>Б.А. Наумов</i> .....	95
Определение граничных значений оценок качества деятельности космонавтов и их функционального состояния при проведении тренировок в гидросреде. <i>П.П. Долгов, И.В. Галкина, Е.Ю. Иродов, Н.Г Петрова</i> .....	99
Типологические характеристики и критерии эффективности космонавта как оператора при проведении научных экспериментов в космическом полете. <i>Ю.М. Батурин</i> .....	104
Антропоэкологический подход к анализу рисков в преддверии сверхдлительных пилотируемых полетов. <i>И.Б. Ушаков</i> .....	122
Возможности моделирования динамических факторов космического полета на центрифуге с управляемым карданным подвесом в интересах обеспечения перспективных космических программ. <i>Л.И. Воронин, Р.Р. Каспранский, В.Н. Кирианов, В.В. Александров, В.А. Садовничий</i> .....	135
Использование Международной космической станции для отработки вопросов обеспечения безопасности полета на Марс. <i>В.И. Ярополов</i> .....	143
Бортовая мастерская наземно-экспериментального комплекса «Марс-500». <i>О.С. Цыганков, О.Г. Артемьев, Е.П. Демин, В.П. Горбачев</i> .....	152
Полеты к астероидам. <i>М.Н. Бурдаев</i> .....	155
Информация для авторов и читателей .....	171

## ОБРАЩЕНИЕ РУКОВОДИТЕЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА



### УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

12 апреля 1961 года состоялся первый полет в космос нашего соотечественника Юрия Алексеевича Гагарина на корабле «Восток».

Это историческое событие с восторгом, радостью и гордостью за человеческий интеллект и прорыв в техническом развитии было встречено современниками. В освоении космического пространства начался новый длительный период – целая эпоха пилотируемых экспедиций.

Какие же уникальные особенности пилотируемых программ? Каковы итоги пятидесятилетнего освоения космоса человеком? Как должна дальше развиваться пилотируемая космонавтика? Ответы на эти и другие вопросы, а также богатую пищу для последующих размышлений призвано дать издание, которое у вас в руках. Журнал собрал научные труды видных отечественных и зарубежных специалистов и ученых, которые непосредственно включены в многогранный процесс реализации космических программ.

В этом научно-техническом журнале сосредоточена информация о приоритетах отечественной школы в создании пилотируемых космических комплексов, сложнейших систем обеспечения жизнедеятельности экипажей, подготовке и проведении уникальных космических исследований и экспериментов. Читатель, несомненно, найдет полезную для себя информацию о подготовке специалистов в области испытаний космической техники, включая многогранные аспекты их обучения, тренировки, медико-биологической, психологической и физической подготовок, а также реабилитации космонавтов, испытавших воздействия экстремальной внешней среды.

Желаю авторам журнала «Пилотируемые полеты в космос» и его читателям, а также всем, кто вовлечен в сферу очень сложной, но увлекательной человеческой деятельности, связанной с реализацией освоения человеком космического пространства, успешной плодотворной работы!

Руководитель  
Федерального космического агентства

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'V.A. Popovkin', written in a cursive style.

В.А. Поповкин



## СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

С.К. Крикалёв

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

Создание отечественной системы отбора и подготовки космонавтов (СОПК) неразрывно связано со знаменательным полетом Ю.А. Гагарина, положившим начало эры пилотируемых полетов в космос. За прошедшие полвека она обеспечила эффективное выполнение множества пилотируемых программ. В настоящее время СОПК является необходимым элементом космической инфраструктуры, без которого немисливо осуществление пилотируемых полетов в космос. В статье рассматриваются современное состояние российской СОПК, стоящие перед ней проблемы и пути их решения.

**Ключевые слова:** система отбора и подготовки космонавтов, этап развития, научно-методическая база, пролонгированность, этапность, пилотируемая космическая программа, профессионально важные качества, информационная проблема.

Создание и становление отечественной системы отбора и подготовки космонавтов неразрывно связаны с началом эры пилотируемой космонавтики, с первым полетом человека в космос.

По существу лишь немногим более года отделяет дату создания Центра подготовки космонавтов от одного из важнейших событий в истории человечества – полета Юрия Алексеевича Гагарина в космос. В то время для осуществления первых пилотируемых полетов в космос потребовалось создание специального Центра, задачами которого должны были стать отбор кандидатов в космонавты и их подготовка к космическому полету. Инициатором создания Центра подготовки космонавтов был генеральный конструктор С.П. Королёв, который наметил основные черты облика создаваемой системы отбора и подготовки космонавтов. За полувековую историю Центра в нем была создана современная система отбора и подготовки космонавтов. Большая роль в создании научно-методической школы подготовки космонавтов принадлежит Ю.А. Гагарину, который был не только ее первым учеником, но впоследствии и одним из основателей. Сегодня Центр подготовки космонавтов по праву носит имя Ю.А. Гагарина.

### История образования ЦПК

Задача первого пилотируемого полета была определена Постановлениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР в начале 1959 года. В октябре 1959 года в частях ВВС был начат отбор кандидатов в космонавты. Отбор был поручен авиационным врачам. Проанализировав, военные врачи пришли к выводу, что для первого полета человека в космос наиболее подходящими кандидатами являются военные летчики. Об этом же говорил и генеральный конструктор Сергей Павлович Королёв: «Для такого дела более всего подходит летчик-истребитель. Это и есть универсальный специалист. Он и пилот, и штурман, и связист, и бортиженер. А будучи кадровым военным, он обладает необходимыми морально-волевыми качествами, его отличает собранность, дисциплинированность и непреклонное стремление к поставленной цели». В процессе первичного отбора были рассмотрены

документы на 3461 летчика истребительной авиации в возрасте до 35 лет. Из них для подготовки к космическим полетам были отобраны 20 человек, отвечающих требованиям, предъявляемым к состоянию здоровья кандидатов в космонавты. Они и составили первый отряд космонавтов, впоследствии названный «гагаринским». Из 20 летчиков первого отряда космонавтов только двенадцати довелось совершить полеты в космическое пространство, из них 5 человек слетали по одному разу (Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, П.И. Беляев, Е.В. Хрунов, Г.С. Шонин), ещё 5 – по два (А.Г. Николаев, П.Р. Попович, В.М. Комаров, А.А. Леонов, Б.В. Волынов), а два космонавта слетали трижды (В.Ф. Быковский и В.В. Горбатко). Восемь из двадцати так и остались кандидатами в космонавты, «не перелистав свои космические страницы».

В конце 1959 года по ходатайству С.П. Королёва и Главнокомандующего ВВС К.А. Вершинина принимается правительственное решение о создании в ВВС специального Центра подготовки человека к полетам в космос. На основе этого решения 11.01.1960 г. Главком ВВС издал директиву, которой были определены организационно-штатная структура Центра подготовки космонавтов (ЦПК) и общая численность личного состава. Таким образом, датой «рождения» Центра подготовки космонавтов считается 11 января 1960 года.

Наиболее сложным был начальный, организационный этап работы, поскольку начинать нужно было практически с «нуля». Командование Военно-воздушных сил поручило создание Центра подготовки космонавтов Николаю Петровичу Каманину, одному из первых Героев Советского Союза, получивших это звание за спасение челюскинцев. Вместе с ним приступил к этой работе боевой летчик-истребитель, участник войны, Герой Советского Союза Леонид Иванович Горегляд. Первым начальником ЦПК был назначен полковник медицинской службы Евгений Анатольевич Карпов – известный специалист в области авиационной медицины. Эти три человека, понимая всю полноту возложенной на них ответственности, и должны были воплотить в жизнь решение об отборе и подготовке первых советских космонавтов.

В начале марта 1960 года первая группа (первого отряда) слушателей-космонавтов прибыла на центральный аэродром им. М.В. Фрунзе. 14 марта 1960 года с ними было проведено первое занятие по общекосмической подготовке. Подготовка первых слушателей-космонавтов складывалась из теоретических занятий, тренировок на различных стендах и практических занятий в опытно-конструкторском бюро С.П. Королёва, где создавались космические корабли. По его указанию занятия по ракетной технике и небесной механике проводили сотрудники ОКБ: М.К. Тихонравов, Б.В. Раушенбах, Ц.В. Соловьев, К.П. Феоктистов, А.С. Елисейев, О.Г. Макаров, В.И. Севастьянов.

Отсутствие на центральном аэродроме в Москве базы для подготовки космонавтов потребовало поиска специальной территории для размещения Центра. Таким местом была выбрана территория бывшей воинской части связистов вдали от шумных магистралей и промышленных предприятий, окруженная лесом, рядом с военным аэродромом Чкаловский, в полчасе езды до космического предприятия С.П. Королёва. Будущие космонавты и специалисты ЦПК первоначально разместились для проживания в гарнизоне Чкаловский. Одновременно началось строительство тренажной базы и жилья для космонавтов Центра. Летом 1960 года Центр подготовки космонавтов начал функционировать в Зеленом (ныне всемирно известном Звездном) городке.



Современный Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина

### **Этапы формирования системы отбора и подготовки космонавтов**

В истории Центра много знаменательных и славных дат. За 50 лет существования Центра слово «впервые» стало привычным. Первая подготовка человека для полета в космос, первый суточный полет, первый выход в открытый космос, подготовка первого экипажа орбитальной станции и многое-многое другое. Шаг за шагом создавалась система отбора и подготовки космонавтов, совершенствовались различные формы ее обеспечения – научное, методическое, медицинское, тренажерное, организационное и другие.

Под отбором космонавтов понимают мероприятия, методы и процедуры, позволяющие выбрать для работы на пилотируемых космических объектах лиц, в наибольшей степени соответствующих по своим индивидуальным качествам и уровню подготовленности требованиям профессиональной деятельности космонавта. Отобранные кандидаты зачисляются в Отряд космонавтов (ныне он единственный и базируется в ЦПК имени Ю.А. Гагарина) и приступают к первому этапу подготовки – общекосмической подготовке.

Подготовка космонавтов – это комплекс мероприятий, направленных на формирование и поддержание у космонавтов совокупности определенных знаний, навыков, умений и компетенций, необходимых для надежного и безопасного выполнения программы космического полета и составляющих основу квалификации космонавта.

Система отбора и подготовки космонавтов, оставаясь по-прежнему уникальной, со временем приобретала все новые качества, связанные с возрастанием активной роли космонавта на борту космических аппаратов. Так, если вначале космической эры главной задачей было подготовить организм человека к встрече с новой для него средой обитания, выяснить, сможет ли он жить и работать в условиях космического пространства, то на современном этапе необходимо подготовить космонавта к выполнению многочисленных функций пилота, испытателя и исследователя. В качестве пилота и испытателя космонавт должен быть способен выполнять многочисленные и разнообразные функции управления сложными космическими кораблями и орбитальными станциями, технического обслуживания

ния их бортовых систем, выполнения операций в открытом космосе, парировать возникающие в ходе космического полета нештатные и аварийные ситуации. Как испытатель, он должен уметь оценивать новую космическую технику, решать задачи по ее совершенствованию. В качестве исследователя космонавт должен быть способен выполнять множество исследований и экспериментов, составляющих научную программу космического полета.

Можно выделить три характерных этапа развития системы отбора и подготовки космонавтов, обусловленных существенным усложнением пилотируемых космических программ и связанных с принципиальным изменением ее научно-методической базы.

Первый этап – 1961–1971 годы – связан с автономными полетами на транспортных кораблях типа «Восток», «Восход» и первых «Союзах» продолжительностью до 4 суток.

Второй этап – 1971–1977 годы – связан с полетами на станциях «Салют» – «Салют-5» продолжительностью до 60 суток.

Третий этап – начиная с 1977 года по настоящее время – связан с длительными полетами на долговременных станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир», «МКС» продолжительностью в среднем около 200 суток.

На первом этапе был сформирован фундамент научно-методической базы подготовки космонавтов.

Второй этап связан с полетами на орбитальных станциях, начиная с первой станции «Салют» и вплоть до «Салют-5» включительно. На этом этапе вместе с повышением сложности деятельности экипажей ПКА существенно возросли требования к инженерно-технической подготовке космонавтов. Увеличение продолжительности космических полетов до 60 суток привело к развитию медико-биологической подготовки космонавтов, совершенствования методов их послеполетной реабилитации. Возникли новые виды подготовки космонавтов.

Третий этап становления системы отбора и подготовки космонавтов связан с усложнением деятельности космонавтов при выполнении длительных полетов на долговременных станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир», «МКС», а также полетов на новом транспортном корабле типа «Союз-Т» (1980 год), управляемым бортовым цифровым компьютером, что привело к принципиальному изменению технологии подготовки его экипажей. Резко возросла продолжительность космических полетов, которая составила в среднем 200 суток. Многократно возросли нагрузки на членов экипажей – физические, эмоциональные, информационные. Это потребовало дальнейшего развития научно-методической базы подготовки космонавтов к космическому полету, развития методов послеполетной реабилитации космонавтов.

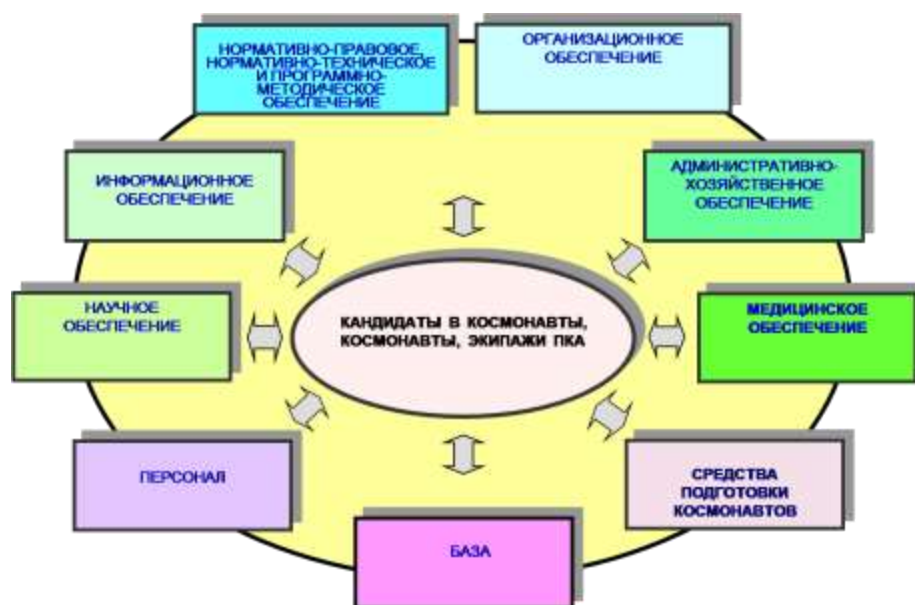
На современном этапе одной из главных проблем, решаемых системой отбора и подготовки космонавтов, является информационная проблема. Сегодня количество полетных операций, управляющих воздействий и контролируемых параметров, используемых при управлении полетами по программе МКС, составляет десятки тысяч единиц. Объемы информации настолько велики, что освоить их в полном объеме, как это происходило на первых этапах, практически невозможно. Требуется эффективное структурирование информации, сообщаемой космонавтам на подготовке, уменьшения общего объема передаваемой информации за счет увеличения ее ценности. По-видимому, следующий этап развития системы отбора и подготовки космонавтов уже в ближайшей перспективе будет связан с решением именно этой актуальной проблемы.



## Характеристика современной системы отбора и подготовки космонавтов

Отличительными особенностями современной системы отбора и подготовки космонавтов является научная обоснованность, развитые программно-методическое обеспечение и система планирования, техническая база, способность эффективно адаптироваться под различные космические программы. Важнейшими принципами системы являются этапность и пролонгированность процессов отбора и подготовки космонавтов.

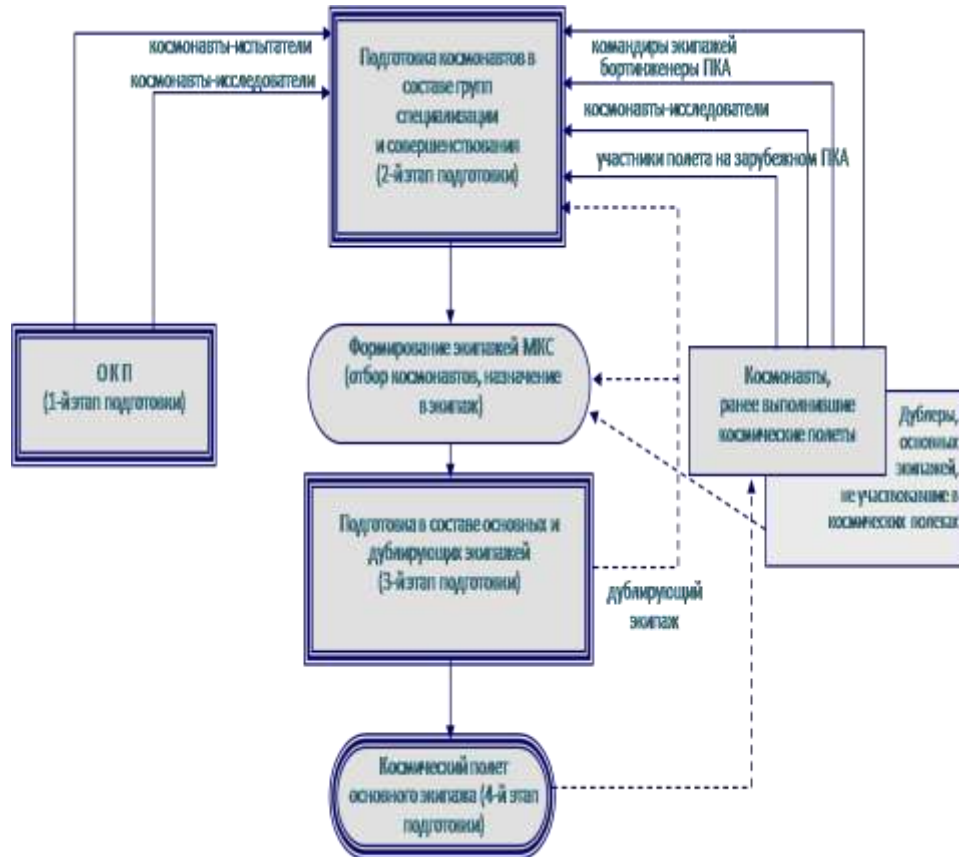
Принцип этапности предполагает наличие нескольких последовательных этапов подготовки космонавтов и пошаговую процедуру их отбора, включающую медицинский отбор, психологический отбор, образовательный отбор, изучение моральных качеств, оценивание способностей к профессиональной деятельности космонавта.



Структура современной системы отбора и подготовки космонавтов

Современная подготовка космонавтов состоит из следующих взаимосвязанных этапов:

- первый этап – общекосмическая подготовка кандидатов в космонавты;
- второй этап – подготовка космонавтов в составе групп специализации и совершенствования по типам космических кораблей или направлениям специализации;
- третий этап – подготовка космонавтов в составе утвержденных экипажей к конкретному полету;
- четвертый этап – подготовка экипажей на борту станции в процессе космического полета.



Структура этапов подготовки космонавтов

Принцип пролонгированности обеспечивает непрерывное изучение и развитие состояния профессионально важных качеств личности космонавта, начиная с первичного отбора кандидата в космонавты и до назначения его в конкретный экипаж. При этом охватываются все периоды и этапы подготовки космонавтов.

Современные технические средства позволяют в полной мере подготовить космонавтов по всем элементам космического полета.

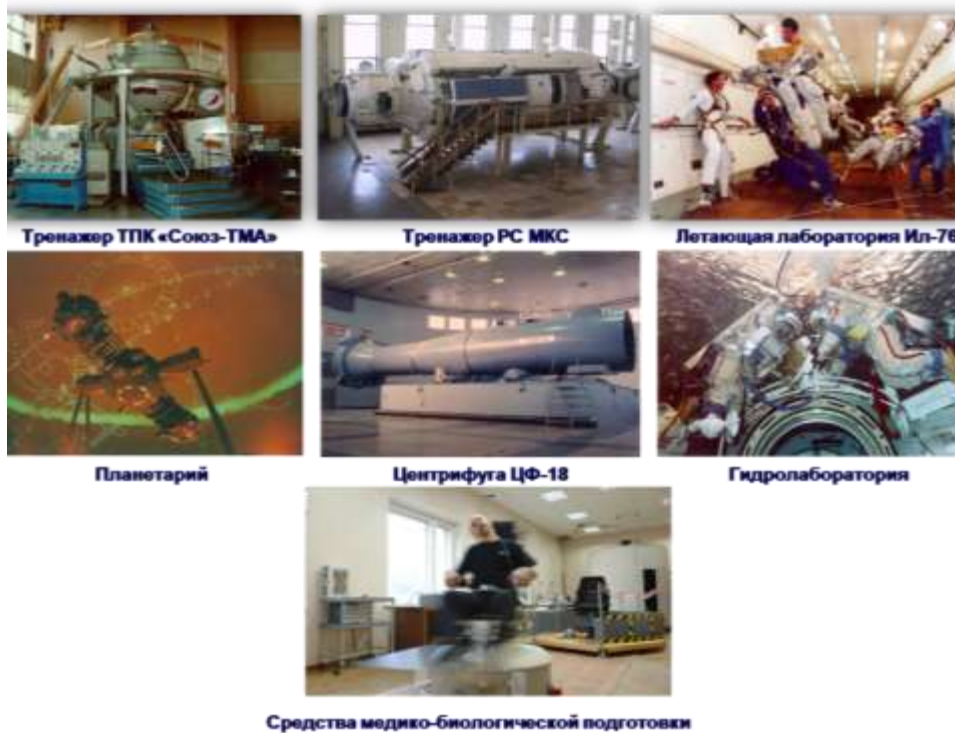
Специализированные и комплексные тренажеры транспортных кораблей «Союз» и орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции созданы на базе полномасштабных макетов реальных изделий, оснащены современной системой имитации внешней визуальной обстановки, реальным программным обеспечением, полным комплектом бортового оборудования.

В состав технических средств подготовки космонавтов Центра входит гидроработная с диаметром бассейна 23 метра и глубиной 12 метров, предназначенная для подготовки космонавтов к деятельности в открытом космическом пространстве в условиях моделируемой невесомости.

Центр располагает уникальной центрифугой с плечом в 18 метров, предназначенной для моделирования перегрузок, воздействующих на космонавта при выведении на орбиту и спуске в атмосфере Земли.

Для подготовки космонавтов используются летающие самолеты-лаборатории. Одна из них создана на базе самолета ИЛ-76 и служит для тренировок космонавтов в условиях кратковременной невесомости, проведения медико-биологических исследований и испытаний оборудования летательных аппаратов. Вторая создана на базе самолета ТУ-134ЛК и предназначена для подготовки космонавтов к проведению визуально-инструментальных наблюдений Земли из космоса.

К числу уникальных средств Центра относится планетарий для изучения звездного неба и отработки навыков космонавтов по астронавигации и астроориентации, позволяющий имитировать наблюдение звездного неба (около 9000 звезд) из кабины космического аппарата с учетом реального расположения небесных объектов на любой заданный момент времени, высоты орбиты и орбитального движения самого аппарата.



Технические средства подготовки космонавтов

Центр обладает достаточно совершенной медицинской базой, включающей разнообразные средства оценки состояния здоровья, вестибулярной и ортостатической подготовки, подготовки к воздействию перегрузок и измененного состава атмосферы, профилактики неблагоприятного воздействия факторов космического полета, физической подготовки и послеполетной реабилитации.

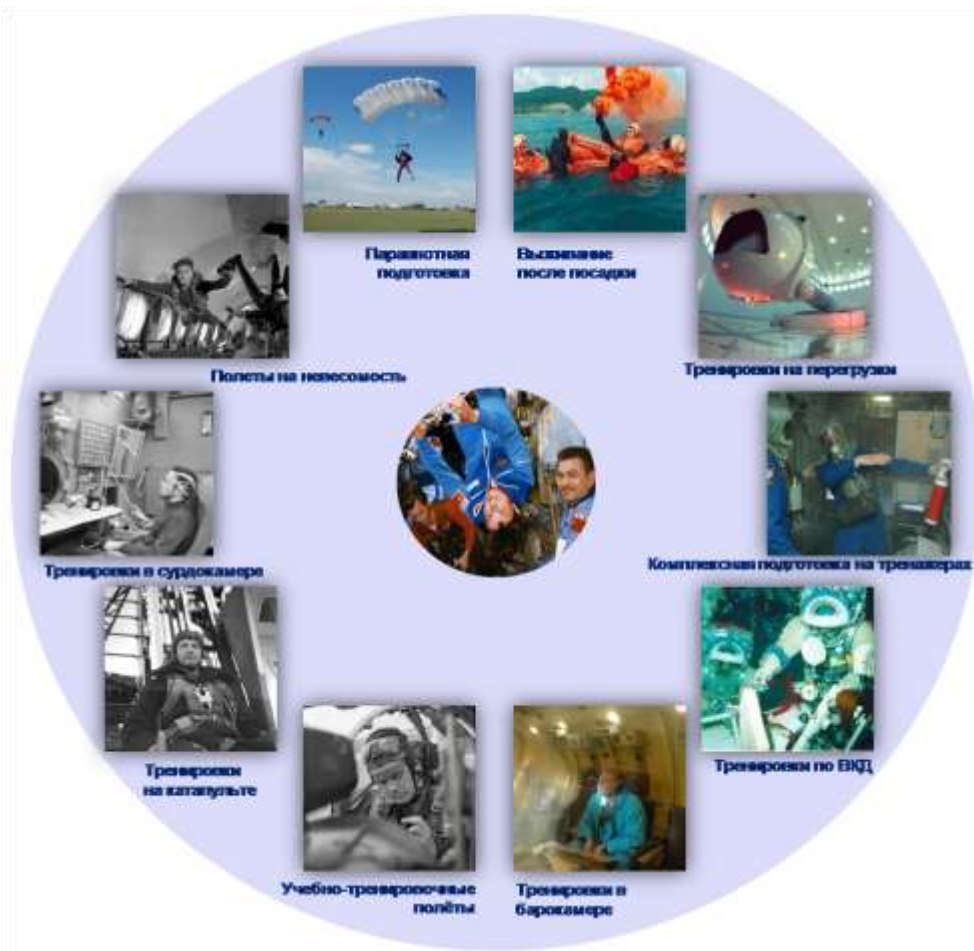
В комплексе медицинских мероприятий по сохранению здоровья и профессионального долголетия космонавтов наряду с отбором и подготовкой важная роль принадлежит реабилитационным мероприятиям после завершения космических полетов. Проблема восстановления здоровья и работоспособности космонавтов после космических полетов сегодня особенно актуальна в связи с увеличением длительности полетов, многократным участием космонавтов в полетах, а также в связи с участием в космических полетах космических туристов старшего возраста, имеющих возрастные особенности или отклонения в состоянии здоровья.

Несмотря на использование существующих средств и способов профилактики, факторы космического полета и в первую очередь длительное воздействие невесомости приводят к существенным морфологическим и функциональным изменениям в организме космонавтов. Встреча с гравитацией Земли, да еще через испытание перегрузками на этапе спуска корабля с орбиты, закономерно сопровождается чувством общей слабости, усталости, повышенной утомляемости, нарушением координации движений, неустойчивостью позы и походки, наклоном к обморокам. Все космонавты отмечают, что после длительных космических полетов в первые минуты и часы после посадки земное тяготение воспринимается ими как перегрузка в 2–3 единицы, что сопровождается ощущениями чрезмерного веса тела, рук, ног, головы. В этот период, в дополнение к описанным ощущениям, врачи диагностируют характерные послеполетные изменения в состоянии здоровья космонавтов. Стратегия специфических реабилитационных мероприятий после завершения длительных космических полетов сводится к максимальному ограничению гравитационной и двигательной нагрузки на начальной стадии после посадки с последующим постепенным их наращиванием. В настоящее время разработаны и опробованы эффективные технологии послеполетной реабилитации космонавтов. Это позволило ограничить длительность реабилитационного периода после длительного космического полета двумя-тремя неделями. При этом уже на пятые сутки реабилитации космонавты способны работать над техническим отчетом о выполнении программы космического полета.

Вследствие того, что деятельность космонавтов в космическом полете характеризуется большим разнообразием задач и, кроме того, подвержена воздействию множества факторов, которые необходимо учитывать при наземной подготовке к космическому полету, единый процесс подготовки космонавтов разделен на отдельные виды и разделы, имеющие свои специфические средства и методическое обеспечение.

Каждый раздел (вид) подготовки формирует определенные профессионально важные качества космонавтов и экипажа в целом, необходимые для выполнения программы космического полета. Некоторые разделы подготовки со временем становились неактуальными, например, тренировки по катапультированию.

Важным элементом российской системы отбора и подготовки космонавтов является персонал Центра. В его состав входят: управленческий персонал, научные сотрудники (в настоящее время в Центре работают 62 кандидата и 8 докторов наук), инструкторско-преподавательский и инженерно-технический состав, специалисты по подводным работам, медицинские работники, летный и аэродромно-технический состав, специалисты по экономической деятельности, административно-хозяйственный и производственный состав обеспечивающих подразделений Центра. Необходимо отметить, что специалистов по подготовке космонавтов в системе образования, существующей у нас в стране, не готовят. Поэтому на Центр возлагается также обязанность их обучения, переподготовки.



Виды и разделы подготовки космонавтов

### Кооперация СОПК с другими элементами космической инфраструктуры

Сложившаяся система отбора и подготовки космонавтов является необходимым элементом космической инфраструктуры, без которого невозможно осуществление пилотируемых полетов в космос. Она взаимодействует со всеми другими элементами на всех этапах жизненного цикла пилотируемых космических программ: формирования пилотируемых космических программ, проектирования и экспертизы космической техники, ее испытаний, выполнении космических полетов, оценки их результатов, создание научно-технических заделов по перспективным космическим программам и т.п. При этом основными функциями системы, в которых Центру отводится роль головной организации в ракетно-космической отрасли, являются отбор, профессиональная подготовка и послеполетная реабилитация космонавтов.

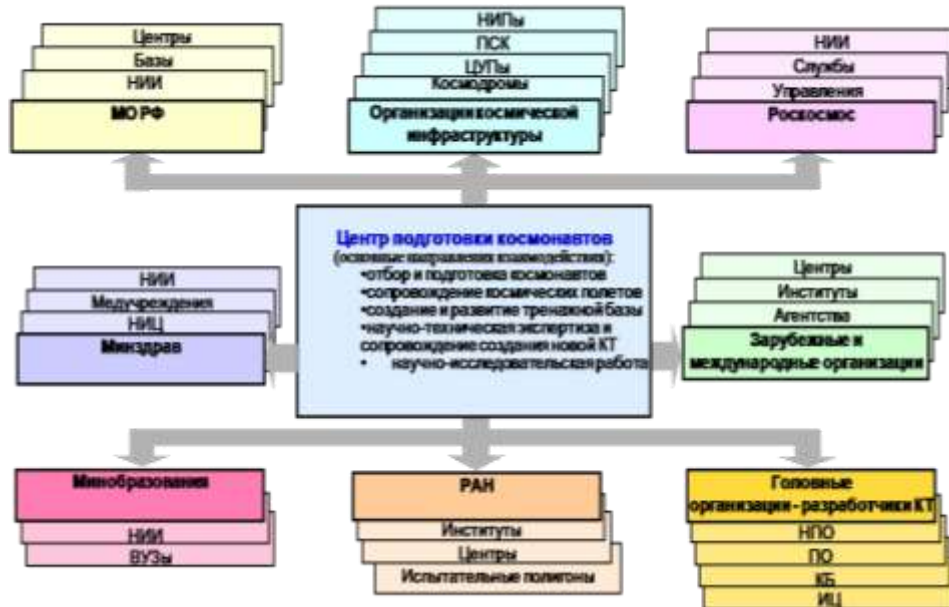
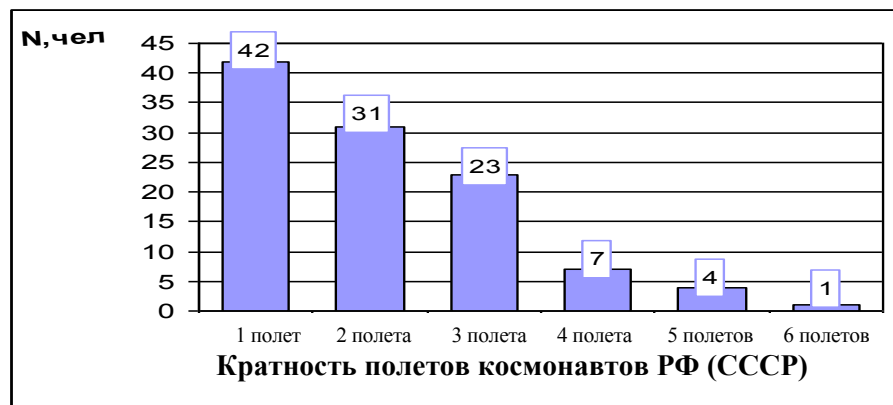


Схема взаимодействия Центра подготовки космонавтов с другими организациями и ведомствами

**Результаты выполнения подготовки космонавтов**

За прошедшие полвека отечественная система отбора и подготовки космонавтов обеспечила эффективное выполнение множества национальных и международных пилотируемых программ. К национальным программам относятся: «Восток», «Восход», «Союз», лунные программы 7К-Л1 и Н1-Л3, «Алмаз», «Буран», «Салют», «Мир». Среди международных программ следует выделить: ЭПАС, «Интеркосмос», «Евромир-95», «Евромир-97», «Мир-Шаттл», «Мир-НАСА», программу МКС.



Статистика по полетам человека в космос (на январь 2011 года)



На данный момент в мире всего насчитывается 517 космонавтов и астронавтов. Из них космонавтов РФ (СССР), выполнивших космические полеты, – 108 человек. На российских кораблях и станциях летало 79 зарубежных космонавтов и астронавтов из 28 стран.

Подготовка и выполнение 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 Маркус	Бразилия	Летчик-испытатель	35	1
Ансари Анюше	США	Бизнесмен	39	1
Эномото Дайсуке	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	
Лэнс Басс	США	Музыкант	23	
Гарвер Лори	США	Бизнесмен	41	
Йи Соён	Республика Корея	Сотрудник НТЦ	28	1
Ко Сан	Республика Корея	Сотрудник НТЦ	30	
Ричард Гэрриотт	США	Бизнесмен	47	1
Ник Халик	Австралия	Бизнесмен	37	
Ги Лалибирте	Канада	Бизнесмен, артист	50	1
Эстер Дайсон	США	Бизнесмен	58	
Барбара Барретт	США	Бизнесмен	60	

#### Непрофессиональные космонавты

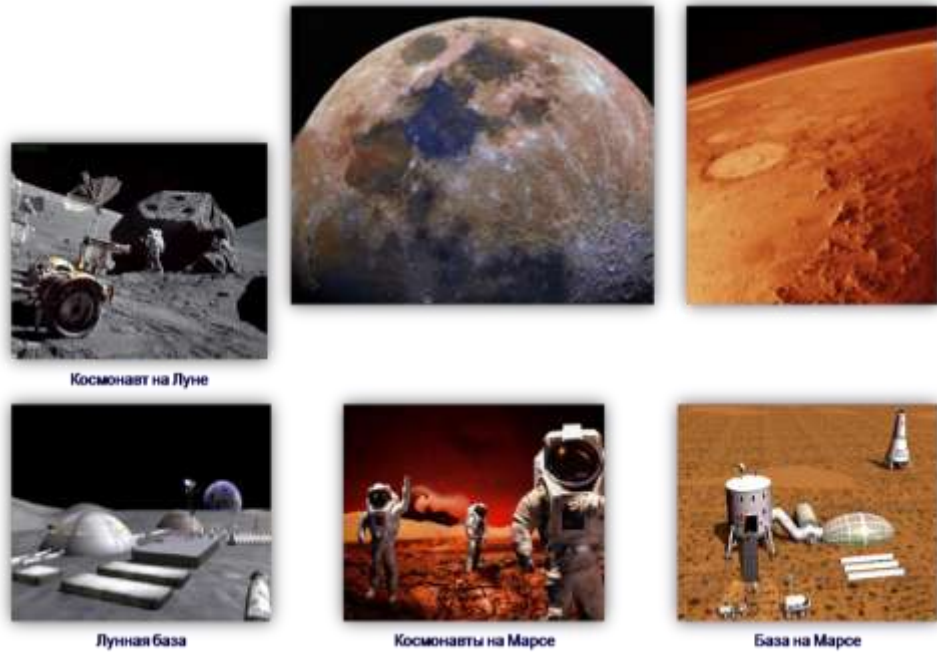
В течение 8 лет в ЦПК были подготовлены к полету в космосе 20 непрофессиональных космонавтов. Из них 10 выполнили космический полет на «Союзах» и Международной космической станции. Среди них – представители США, ЮАР, Бразилии, Малайзии, Республики Корея, Канады. Продолжительность полета каждого из них составляла от 8 до 11 суток. Американец Чарльз Симони побывал на МКС даже дважды.

#### Перспективные направления развития СОПК

Ведущие космические державы будущее пилотируемой космонавтики связывают с созданием новых транспортных систем и орбитальных сборочных комплексов для реализации перспективных космических программ, в том числе лунной и марсианской.

Решение этих задач немыслимо без непосредственной работы людей в космосе и на поверхности Луны. Пилотируемая экспедиция на Луну, целью которой является начало ее научно-промышленного освоения, является значительно более

сложной миссией по сравнению не только с околоземными орбитальными полетами, но и с ранее выполненными пилотируемыми полетами с кратковременными высадками на поверхность Луны. Это обусловлено условиями и особенностями полета и длительного пребывания на поверхности Луны и решаемыми космонавтами задачами. Потребуется существенное расширение и, возможно, ужесточение требований ко всем этапам отбора и подготовки космонавтов для полетов на Луну.



#### Луна и Марс

Специфика полета по лунной программе потребует формирования у членов экипажа умений и способностей к организации самостоятельной и творческой деятельности на борту ПКА, правильному принятию решений в условиях неопределенности и длительного отсутствия поддержки с Земли. Для обеспечения максимальной эффективности и надежности деятельности космонавтов потребуется решить в теоретическом и практическом аспектах задачу оптимального распределения обязанностей среди участников лунных экспедиций. Это вопрос выбора степени специализации и взаимозаменяемости участников экспедиций.

В целях дальнейшего развития системы отбора и подготовки космонавтов для перспективных межпланетных космических полетов потребуется решение ряда проблем, таких как:

- разработка новых концепций отбора и подготовки космонавтов для полетов в дальний космос;
- создание новых технических средств подготовки космонавтов;
- подготовка к производственной деятельности на Луне;
- обеспечение безопасности полетов человека в дальний космос и безопасности деятельности на планетах;



- разработка и реализация принципов и средств медицинского и психологического обеспечения полетов космонавтов в дальний космос;
- разработка и реализация концепций реабилитации космонавтов после полетов в дальний космос, принципов обеспечения профессионального долголетия космонавтов.

Потребуется разработка новых оптимальных программ подготовки, учитывающих противоречивые требования глубокой специализации и универсальности членов экипажа.

Необходимость сборки лунного комплекса на околоземной или окололунной орбитах, стыковки с лунным орбитальным кораблем после взлета корабля с Луны предъявляет особые требования к подготовке космонавтов по поиску, сближению и стыковке космических объектов в космосе.

Необходимость контроля движения комплекса по трассе Земля–Луна–Земля с помощью астронавигационных средств потребует дополнительной подготовки в изучении навигационных звезд и работы с астронавигационным оборудованием. Ввиду сложности и ответственности перелета с Луны на Землю, целесообразно будет ввести специализацию штурмана экипажа лунной экспедиции, подготовленного для контроля работы автоматической навигационной аппаратуры и осуществления автономной навигации в нештатных ситуациях. Для его обучения в состав программ теоретической подготовки необходимо будет ввести специальный курс космической навигации. Функциональные обязанности штурмана-космонавта могут быть совмещены с обязанностями пилота.

Полет по орбите искусственного спутника Луны на высотах 15–100 км, что необходимо для определения точки посадки, потребует навыков управления кораблем при совершенно других, по сравнению с околоземными, орбитальных скоростях и, соответственно, других условиях наблюдения подстилающей поверхности Луны.

Наличие пылевого грунта на поверхности Луны потребует при выборе места посадки выполнения зависания корабля над поверхностью Луны на высоте, включающей образование облака пыли. Базовые навыки, необходимые для управления кораблем при посадке на поверхность Луны в безвоздушном пространстве, можно выработать на тренажере-вертолете (еще лучше турболете) и наземном тренажере.

В настоящее время уже ведутся проработки вопросов адаптации существующих ТСПК, в частности, ГЛ и ЦФ, к лунным условиям. Исследуются вопросы создания специализированных тренажеров.

Особым является и вопрос подготовки космонавтов по ориентировке на поверхности Луны, так как ориентироваться по магнитному полю невозможно в связи с его отсутствием, а радиосвязь возможна только в пределах прямой видимости.

Немаловажным фактором является то, что при получении травм или возникновении декомпрессионной болезни у одного из членов экипажа первую медицинскую помощь, включая неотложную, должен оказывать другой член экипажа. Для этого на Земле необходимо пройти подготовку, которую сейчас проходят так называемые медицинские специалисты экипажа. Часть такой подготовки проводится в условиях клиники, где космонавты обучаются проведению сложных медицинских процедур и манипуляций. В конечном итоге специалисты экипажа должны самостоятельно оказывать медицинскую помощь.

Существенное, по сравнению с околоземными полетами, увеличение автономности и сложности межпланетных космических полетов особо остро ставит проблему подготовки космонавтов к обеспечению безопасности и надежности выполнения программ космических полетов. Подготовленный экипаж должен обладать способностью выполнять автономный полет в условиях воздействия множества разнообразных нештатных ситуаций.

В рамках НИР уже начаты исследования по системному анализу нештатных ситуаций, возникновение которых возможно на всех этапах межпланетного космического полета и которые могут оказаться экстремальными по степени воздействия на космонавтов. Выявление таких ситуаций позволит заблаговременно создать техническую базу и осуществить подготовку космонавтов, что повысит как безопасность космического полета, так и надежность решения целевых задач полета.

Вследствие многообразия и высокой неопределенности возможных нештатных ситуаций возникает необходимость дальнейшего развития научно-методической базы подготовки космонавтов, разработки новых методологических подходов к подготовке космонавтов к деятельности в нештатных ситуациях. Главная методологическая проблема подготовки космонавтов будет определяться как новыми задачами, так и огромными объемами информации, которую должны будут обрабатывать космонавты при возникновении нештатных ситуаций. По-видимому, разработка новых методологических подходов к подготовке космонавтов к деятельности в нештатных ситуациях уже в ближайшей перспективе будет связана с решением именно этой актуальной проблемы. Можно предположить, что решение этой проблемы будет связано с подходом к подготовке космонавтов, ориентированным на формирование способностей экипажей к деятельности в изменяющихся условиях. Это позволит экипажам творчески решать новые, ранее не встречавшиеся задачи.

За 50 лет своего развития советская и российская система отбора и подготовки космонавтов превратилась в зрелую, устоявшуюся систему, имеющую высокий авторитет не только у нас в стране, но и за ее пределами. В ходе реализации национальных и международных космических программ она приобрела способность эффективно адаптироваться под различные проекты. Для реализации перспективных космических программ освоения дальнего космоса потребуется дальнейшее развитие системы отбора и подготовки космонавтов.

## ПИЛОТИРУЕМЫЙ КОСМОС, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Г.Г. Райкунов

Докт. техн. наук Г.Г. Райкунов (ЦНИИ машиностроения)

Рассмотрены вопросы развития пилотируемой космонавтики, касающиеся реализации околоземных программ и разработки концепции лунных и марсианских программ. Для околоземного космического пространства рассмотрены вопросы наращивания МКС, создание перспективной пилотируемой транспортной системы и новой орбитальной станции, а также коммерческие космические программы. Показано, что исследование и возможное освоение Луны и Марса являются в настоящее время наиболее приоритетными задачами для большинства развитых космических держав. Приведены этапы программ исследования и освоения Луны и Марса, реализацию которых целесообразно осуществлять в рамках международного сотрудничества.

**Ключевые слова:** пилотируемый космос, околоземные программы, лунные программы, марсианские программы, коммерческие космические программы, Международная космическая станция (МКС), перспективная пилотируемая транспортная система, новая орбитальная станция, международное сотрудничество.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к тематике изучения и освоения космического пространства. Большинство зарубежных государств участвуют в различных прикладных и научных проектах по исследованию космоса, а ведущие космические державы и межгосударственные объединения – США, Европейский Союз, Китай, Индия, Япония имеют или разрабатывают долгосрочные программы изучения и освоения космического пространства.

В развитии пилотируемой космонавтики можно выделить следующие основные направления:

- реализация околоземной пилотируемой программы;
- разработка проектов реализации лунной пилотируемой программы;
- разработка концепций реализации марсианской пилотируемой программы.

Выдающимся достижением человечества явилось создание Международной космической станции (МКС). Вопрос о дальнейшей эксплуатации МКС после 2015 года явился основополагающим для участников проекта. 3 февраля 2010 года состоялось заседание Многостороннего совета по управлению МКС с участием российской делегации, на котором участники проекта единогласно подтвердили свою заинтересованность в достижении максимальной эффективности использования МКС. Принято принципиально важное решение о продлении эксплуатации МКС до 2020 года с целью накопления практического опыта длительного пребывания и работы человека в космосе, реализации программ изучения космического пространства, отработки будущих космических средств и технологий освоения космоса.

Новое политическое руководство США и администрация НАСА официально подтвердили свое согласие на продление эксплуатации МКС. Основные тезисы, которые были положены в основу официальной позиции, подробно прокомментированы в докладе В. Герстенмайера, уполномоченного администратора по космическим операциям НАСА, под названием «Выгоды Международной космической станции» [1]. Согласно положениям этого доклада, основными выгодами от МКС являются:

- изучение вопросов сборки, эксплуатации и обслуживания большой космической конструкции;
  - создание атмосферы в обществе, когда космические полеты становятся частью повседневной жизни, не утрачивая своей притягательности;
  - результаты международного сотрудничества, когда компромисс между национальными целями и общими устремлениями партнеров программы МКС в конечном итоге ведет к получению таких результатов, которые в противном случае просто не могут быть получены;
  - новые технологии обеспечения жизни и плодотворной работы людей в космосе, причем на этом пути создан крупнейший из когда-либо существовавших космический объект, для эксплуатации которого привлекаются многочисленные исследовательские и промышленные коллективы всех стран-партнеров МКС, преодолеваются сложности согласования национальных стандартов и организационных подходов;
  - создание новых возможностей для ускорения развития промышленности, поскольку станция позволяет вести промышленно-ориентированные исследования;
  - наличие возможностей оказания услуг частным компаниям;
  - стимулирование повышения качества образования и роста количества молодых людей, интересующихся космонавтикой.
- Особо выделена необходимость работ по таким направлениям, как:
- создание замкнутой системы жизнеобеспечения, позволяющей снизить на 80% потребности в доставке на МКС расходных компонентов системы жизнеобеспечения;
  - разработка автономных систем сближения и стыковки космических объектов;
  - создание роботизированных систем, управляемых с Земли и с борта МКС, которые способны на выполнение сложных операций;
  - создание сложной системы управления полетом станции, в которой задействованы более 50 бортовых компьютеров, большой объем программного обеспечения, интерфейсы, протоколы.

Среди партнеров по МКС (исключая Роскосмос) НАСА имеет самые большие ресурсы на станции. Программа научных исследований американского космического агентства состоит из двух частей. Первая часть – государственная. Ее главной задачей является решение проблем освоения космического пространства. Вторая часть программы – коммерческая. Ее задача – предоставление ресурсов МКС любым организациям, желающим провести научные исследования на МКС на коммерческой основе.

Исследования особенностей жизни и деятельности человека в условиях микрогравитации – одно из основных направлений американской программы. К этому направлению относятся эксперименты в области цитологии, физиологии, функционирования сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем организма, изучение воздействия радиации на человека, исследование поведения человека, находящегося в течение длительного времени в замкнутом пространстве в условиях невесомости. Такие эксперименты позволят подготовить будущих членов экипажей к следующему этапу освоения космического пространства, связанному с очень продолжительным полетом. Американскими астронавтами также проводятся опыты по клеточной биологии и биотехнологии, микробиологии, био-

логии растений. Большое место в программе НАСА занимают эксперименты, нацеленные на развитие космической техники (совершенствование систем космического корабля, подбор и изучение свойств конструктивных материалов, мониторинг окружающего пространства МКС).

Проведению экспериментов на борту МКС огромное внимание уделяет ЕКА [2]. На борту станции почти на постоянной основе работает европейский астронавт. Основные усилия европейских специалистов в настоящее время сосредоточены на эксплуатации экспериментального оборудования на борту европейского модуля МКС – «Колумбус». На борту модуля «Колумбус» размещены: установки лаборатории физики жидкости, аппаратура электромагнитной левитации лаборатории материаловедения; европейская выдвижная стойка; установки биологической лаборатории, европейские физиологические модули. Дополнительно на американском лабораторном модуле «Дестини» развернута европейская материаловедческая лаборатория. Успешный полет совершил европейский грузовой корабль снабжения ATV «Жюль Верн», состыковался и находится в составе МКС второй корабль «Иоганн Кеплер».

Ныне действующая европейская космическая программа по физическим наукам и циклу наук о жизни «ЭЛИПС-3» была утверждена в 2008 году. Программа преследует цели всемерного развития «экономики, построенной на знаниях» – то есть вовлечения максимально возможного количества университетских и промышленных исследовательских коллективов в космические исследования, налаживания процесса использования результатов космических экспериментов в наземных технологических процессах, что должно обеспечить преимущества европейской экономики перед конкурентами на мировом рынке.

Японские специалисты также стремятся максимально использовать возможности МКС [3]. Являясь партнером программы МКС, японское космическое агентство разработало национальный модуль «Кибо», на борту которого созданы условия для проведения широкого спектра гравитационных исследований. Созданы грузовые транспортные корабли HTV для снабжения МКС, которые уже совершили успешные полеты, есть планы сделать на основе HTV грузовозвращающий корабль. Значительные пакеты заявок японских исследовательских коллективов на проведение экспериментов на борту МКС дают основания японскому космическому агентству планировать поступательное развитие долгосрочной деятельности на станции. Отмечается, что результаты экспериментов важны не только для образовательного процесса и получения фундаментальных знаний, но уже используются при развитии существующих и при создании новых технологических процессов. При этом все чаще руководители агентства и страны высказываются в пользу создания собственных пилотируемых космических средств. Учитывая высокую степень развития наукоемких технологий в Японии, в скором времени японцы смогут составить конкуренцию в области пилотируемой космонавтики всем ведущим космическим державам.

Большую национальную программу пилотируемых исследований проводит Китай: сравнительно недавно был осуществлен выход тэйконавтов в открытый космос, запланирован эксперимент по стыковке космических аппаратов, в повестке дня стоит вопрос о создании национальной орбитальной станции прикладного назначения («Тяньгун-1»), рассчитанной на длительный автономный полет и периодическое пребывание на ней экипажей [4]. Главная цель Китая в околоземном космосе для пилотируемой космонавтики – создание полномасштабной инфраструктуры, позволяющей решать как современные, так и перспективные задачи.

Все основные зарубежные космические агентства с позитивной стороны рассматривают возможности дальнейшего использования МКС как орбитальной лаборатории. На борту МКС наряду с важными экспериментальными программами в области изучения и использования факторов космического полета проводятся исследования в обеспечение будущих проектов освоения Луны и планет – прежде всего, в направлениях космической биологии и медицины, создания перспективных систем жизнеобеспечения [2]. Страны ЕКА в рамках исследовательских работ изучают варианты создания собственной пилотируемой станции следующего после МКС поколения. Однако в настоящее время на официальном уровне в спектре задач, решаемых при помощи перспективных пилотируемых средств, нет таких, которые отличались бы в принципиальном плане от задач, уже решаемых сейчас на борту МКС.

Россия внесла огромный вклад в освоение космического пространства. Достаточно вспомнить первый полет искусственного спутника Земли, первый полет человека в космос, запуск универсальной ракетно-космической транспортной системы «Энергия» с кораблем многоразового использования «Буран», запуски и эксплуатацию орбитальных космических станций «Салют», «Мир», МКС. Российская Федерация реализует широкомасштабную пилотируемую программу в околоземном космическом пространстве, которая связана с развертыванием, эксплуатацией Международной космической станции и проведением на ее борту комплекса научно-прикладных исследовательских работ.

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2006–2015 гг. предполагается наращивание российского сегмента МКС, которое должно осуществляться в два этапа. В рамках первого этапа 10 ноября 2009 года к МКС запущен транспортный грузовой корабль-модуль с малым исследовательским модулем МИМ2 («Поиск»), затем 14 мая был запущен шаттл «Атлантис» с модулем МИМ1 («Рассвет»), а в 2012 году на околоземную орбиту с помощью ракеты-носителя «Протон» будет доставлен многоцелевой лабораторный модуль (МЛМ). Основным назначением модуля является решение задач научных исследований на РС МКС, а также предоставление рабочих мест для дополнительных членов экипажа МКС.

На втором этапе до 2016–2017 гг. [5] в состав РС МКС дополнительно к работающим модулям будут введены узловой модуль (УМ), который позволит проводить дальнейшее наращивание РС МКС: к агрегатам стыковки УМ будут пристыкованы научно-энергетические модули НЭМ-1 и НЭМ-2, которые значительно расширят возможности РС МКС по снабжению электроэнергией. Модуль УМ доставляется на МКС транспортным грузовым кораблем-модулем «Прогресс М-УМ»; модули НЭМ-1, НЭМ-2 будут доставляться на околоземную орбиту с помощью ракеты-носителя «Протон», затем после автономного полета – стыковаться с МКС.

Планируется также в 2015 году вывести на орбиту автономную орбитальную лабораторию «ОКА-Т» со сроком существования 5 лет, которая предназначена для проведения экспериментов по космической технологии и материаловедению. Лаборатория «ОКА-Т» будет периодически стыковаться с МКС и передавать на МКС образцы материалов, полученные в ходе автономного полета лаборатории, в которой будут созданы условия микрогравитации и минимального воздействия среды. Управление новыми модулями МКС и орбитальной лабораторией «ОКА-Т» в процессе автономного полета и полета в составе МКС будет осуществляться из ЦУПа ЦНИИмаша.

В 2008–2010 гг. РКК «Энергия» разработала материалы на перспективную пилотируемую транспортную систему нового поколения (ППТС), включающую пилотируемый транспортный корабль нового поколения (ПТК НП). Транспортный корабль и создаваемые на его основе корабли [6, 7] предназначены для обеспечения полетов по околоземной орбите для обслуживания орбитальной пилотируемой станции и возвращения грузов со станции, автономных исследовательских полетов по околоземной орбите, выполнения полетов к Луне, транспортно-технического обслуживания низкоорбитальной космической группировки.

Дальнейшее развитие российских пилотируемых космических программ после завершения в 2020 году эксплуатации МКС связано с созданием перспективной станции орбитального пилотируемого сборочно-эксплуатационного комплекса (ОПСЭК) [5], при этом на первом этапе допускается использование модулей МКС. ОПСЭК должна создаваться как многоцелевая орбитальная станция с целью использования космических средств в интересах решения целевых задач, отработки новых технических решений и технологий в области космической техники, науки и обеспечения программ освоения Марса и Луны.

В отличие от ранее создаваемых орбитальных станций, основной принцип построения ОПСЭК – обеспечение возможности полной замены любых модулей для поддержания непрерывной эксплуатации станции на протяжении неограниченного времени. Возможность замены модулей, выработавших свой срок эксплуатации или морально устаревших, позволяет постоянно содержать орбитальный комплекс в активном работоспособном состоянии и адаптировать его к решению актуальных в данный период и на перспективу задач. На каждом этапе, длительность которого определена в 15 лет, в составе ОПСЭК предусматривается использовать не менее шести модулей:

- 3 базовых модуля, которые решают следующие задачи: жизнеобеспечение и обитание экипажа, энергообеспечение, размещение рабочих мест для сменных целевых нагрузок, радиоканалы связи, управление ориентацией и т.п.;

- 2 узловых модуля, которые обеспечивают необходимое количество стыковочных портов для строительства ОПСЭК, а также связи между модулями;

- специализированный шлюзовой модуль для обеспечения работ в скафандрах в открытом космосе.

Сокращение сроков и стоимости создания ОПСЭК также должны достигаться путем оптимизации размерности модулей, максимальной унификации конструктивно-компоновочных схем, конструктивных элементов, бортовых систем и применяемых типов ракетносителей (РН). Вопросы унификации модулей ОПСЭК рассматриваются в комплексе с разработкой элементов для марсианской, лунной и других программ исследования и освоения космического пространства.

На втором этапе до 2031 года предполагается в состав ОПСЭК ввести три тяжелых модуля (до 40 т): базовый и два научно-энергетических модуля вместо модулей меньшей размерности первого этапа, отработавших свои ресурсы.

В 2011 году прекращается эксплуатация американских кораблей «Шаттл». После этого для полетов на околоземную орбиту NASA решило прибегнуть к услугам коммерческих предприятий. Запуск коммерческих космических кораблей США предполагается осуществлять в рамках программы COTS, учрежденной в 2005 году [8]. Первоначально программа планировалась как экспериментальная, предназначенная обеспечить проверку, смогут ли коммерческие предприятия создать транспортные космические средства и продемонстрировать их работу по доставке грузов на Международную космическую станцию. В рамках программы

COTS NASA был организован конкурс, победителями которого стали две сравнительно новые коммерческие компании: Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX) и Orbital Sciences Corporation. По результатам конкурса коммерческим фирмам было выделено финансирование на разработку транспортных космических средств и демонстрацию их возможностей. В результате для правительства обеспечивается низкая степень финансового риска, не предусмотрено никаких фондов поддержки или контрактов на дополнительные издержки. Более того, если коммерческая фирма не может завершить очередной этап работ в установленный срок, правительство имеет право на этом основании расторгнуть контракт. Кроме того, коммерческая фирма сама должна вкладывать свои средства в проект, поскольку фонда, выделяемого NASA, не достаточно для полного финансирования разработки и ее демонстрации. В обмен на это за фирмой-разработчиком остается право на интеллектуальную собственность.

Фирмой SpaceX разработана ракета-носитель «Falcon-9» и космический корабль «Dragon», фирмой Orbital Sciences Corporation разрабатывается ракета-носитель «Taurus II» и космический корабль «Cygnus». «Эти коммерческие транспортные средства будут доставлять от 40 до 70 процентов наших грузов на космическую станцию», – заявил В. Герстенмайер, подразумевая тот факт, что корабли «Шаттл» прекратят полеты после 2011 года и на смену им придут корабли «Dragon» и «Cygnus».

Первый пуск РН «Falcon-9» с габаритно-весовым макетом корабля «Dragon» состоялся 4 июня 2010 года. Следующий пуск с полноценным прототипом грузового корабля «Dragon» состоялся 8 декабря 2010 года.

Что касается запуска корабля «Cygnus» на РН «Taurus II», то он намечен на конец 2011 года. Корабль может доставлять на МКС до 2000 кг груза. «Cygnus», аналогично КА «Dragon», будет стыковаться с МКС при помощи роботизированного манипулятора SSRMS американского сегмента МКС. После доставки груза корабль отделяется от станции и сгорает в атмосфере над Тихим океаном.

Американская аэрокосмическая корпорация Boeing также объявила о готовности вступить в космическую гонку за право доставлять космонавтов на околоземные орбиты. Основой для коммерческих и туристических запусков на МКС и будущие орбитальные станции должен стать разрабатываемый в настоящее время многоразовый корабль-капсула Crew Space Transportation-100 (CST-100), рассчитанный на доставку на МКС экипажа до 7 человек в 2015 году. Корабль CST-100 – многоразовый (может совершать до 10 полетов), корабль может находиться на орбите до 7 месяцев, будучи пристыкованным к космической станции.

Изучение и освоение Луны и Марса за последние годы стало одним из приоритетных направлений проведения космических исследований для большинства развитых стран. В настоящее время отсутствуют конкретные государственные программы пилотируемых полетов на Луну и Марс, однако прорабатываются различные концепции реализации пилотируемых полетов.

За последние годы в результате автоматических орбитальных миссий «SELENE» (Япония), «Chang'e» (Китай), «Chandrayaan-1» (Индия), и «Lunar Reconnaissance Orbiter», LCROSS (США), которые стартовали в 2007–2008 гг., получены новые данные о Луне, в частности, о наличии на Луне водяного льда. Российские комплексные исследования Луны и окололунного пространства предполагается выполнить в процессе орбитальной экспедиции «ЛУНА-ГЛОБ» (2012 год), а доставку на Землю образцов лунного грунта из приполярного района или обратной стороны Луны – в процессе орбитальной экспедиции «ЛУНА-ГРУНТ» (2015 год).



Исследования Марса находятся в центре внимания НАСА. Кроме того, большинство зарубежных космических агентств (Европы, Японии, Китая) имеют или планируют свои миссии к Марсу. Эти миссии направлены на исследования поверхности и атмосферы Марса дистанционными методами с орбитальных аппаратов, либо с помощью посадочных аппаратов. В нашей стране исследования Марса продолжатся запуском в 2011 году космического аппарата «Фобос-Грунт». При дальнейших исследованиях Марса автоматическими средствами предполагается: создание сети малых станций в целях изучения атмосферы и климата Марса; доставка образцов грунта с Марса, что поможет ответить на вопрос о существовании настоящей или реликтовой жизни; проведение других исследований, необходимых для осуществления пилотируемых полетов на Марс.

В концепции исследования и освоения Луны и Марса можно выделить следующие этапы:

- первый – исследование автоматическими средствами;
- второй – создание пилотируемой орбитальной станции;
- третий – создание посещаемой базы;
- четвертый – создание постоянно обитаемой базы;
- пятый – организация промышленного производства.

Для пилотируемых полетов на первом этапе решаются задачи определения факторов и условий будущего пребывания космонавтов на Луне и Марсе, поиска и выбора мест посадки пилотируемых космических средств и размещения базы на поверхности Луны и Марса, а также должны доставляться элементы первичной инфраструктуры, необходимые для осуществления пилотируемых полетов (спутники-ретрансляторы, навигационные маяки и др.), осуществляться летная отработка элементов космической техники для пилотируемых полетов.

На втором этапе выполняются одиночные пилотируемые полеты с целью реализации целевых программ, не связанных с базой на поверхности Луны и Марса, а также отработка необходимых технических средств для напланетных операций экипажа. Первые пилотируемые полеты могут проходить и без посадки на поверхность Луны и Марса. На орбите искусственного спутника Луны или Марса развертываются лунная или марсианская орбитальные станции, состав которых может наращиваться до нескольких модулей. Для Луны орбитальная станция может также располагаться в точках Лагранжа системы Земля–Луна. В составе орбитальной станции могут находиться резервные корабли и резервные запасы топлива и других ресурсов, что может существенно повысить безопасность пилотируемых полетов на Луну и Марс. Начинаются пилотируемые полеты с посадкой на Луну и Марс. Проводятся подготовительные работы к развертыванию лунной или марсианской базы: подтверждение места ее развертывания, организация связи с Землей и с орбитальной станцией, организация навигации на поверхности Луны или Марса.

На третьем этапе осуществляется развертывание первичной посещаемой лунной или марсианской базы и оснащение ее оборудованием с последующим увеличением числа модулей базы, наращиванием целевой нагрузки и энергоснабжения. Эта база предназначена для кратковременного пребывания космонавтов. В связи с необходимостью ее посещения и снабжения возникает постоянно действующее транспортное сообщение между Землей и Луной или Марсом. Расходуемые запасы пополняются за счет доставки их с Земли.

На четвертом этапе для длительного пребывания космонавтов на Луне или Марсе посещаемая база развивается до постоянно действующей базы. Создается

радиационное убежище или жилые модули засыпаются необходимым слоем грунта, создается энергетический модуль (на базе ядерного реактора) для обеспечения базы электроэнергией. В связи с этим становится возможным получение расходуемых запасов жизнеобеспечения и компонентов ракетного топлива за счет производства их из местного сырья. Таким образом, возможен переход к следующему этапу – организации производства на поверхности Луны или Марса.

Промышленное производство на Луне или Марсе на пятом этапе требует доставки и развертывания производственного оборудования на поверхности Луны или Марса. Производственная программа потребует доставки дополнительных модулей для базы и целевого оборудования, а также дальнейшего наращивания средств электроснабжения. После начала производственного этапа расходуемые материалы, получаемые на Луне или Марсе, постепенно будут замещать материалы, доставляемые с Земли. А в дальнейшем, возможно, возникнет потребность в средствах для регулярной доставки на Землю или в космос продукции лунного или марсианского производства. В дальнейшем можно предполагать расширение промышленного использования Луны или Марса и их ресурсов в интересах человечества и создание лунных или марсианских поселений (колонизация Луны или Марса).

Для реализации концепции пилотируемых полетов на Луну или Марс требуется создание: транспортной системы, наземной, окололунной и околомарсианской инфраструктуры, лунной и марсианской напланетных баз. Все это требует больших экономических затрат, поэтому реализацию концепции целесообразно осуществлять в рамках тесного международного сотрудничества.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] W.H.Gerstenmaier. Benefits of the International Space Station. Report “Sustainable Utilisation of the ISS Beyond 2015”. 14 October 2009, IAC 2009, Daejeon, Republic of Korea, pp. 9–21.
- [2] Martin Zell. ESA’s Research and Technologies in the ELIPS Program. Presentation at the Life and Physical Sciences Workshop, CSA/Montreal, 3–5 March 2008, Martin Zell. Presentation on MAKS-2009, August 2009.
- [3] [http://www.jaxa.jp/projects/iss\\_human/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/iss_human/index_e.html);  
[http://www.jaxa.jp/projects/iss\\_human/kibo/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/iss_human/kibo/index_e.html);  
[http://www.jaxa.jp/projects/iss\\_human/research/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/iss_human/research/index_e.html)
- [4] [http://www.spacechina.com/english/products\\_013\\_details.shtml?recno=69447](http://www.spacechina.com/english/products_013_details.shtml?recno=69447)
- [5] В.А. Лопота. Космическая миссия поколений XXI века. Общероссийский научно-технический журнал «Полет», № 7, 2010.
- [6] <http://www.cybersecurity.ru/space/67717.html>
- [7] Н.А. Брюханов. На смену славно потрудившемуся «Союзу». Инженерная газета «ИНДУСТРИЯ» № 25–26 (1491–1492), 2009.
- [8] Журнал «Новости космонавтики», № 11, 2008; № 12, 2009; № 2, 2010; № 2, 2011.  
<http://www.spacex.com/>;  
<http://www.spacex.com/falcon9.php>;  
<http://www.spacex.com/dragon.php>, <http://www.orbital.com/>

## ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

В статье рассматриваются 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, планирование полетных операций, Главная оперативная группа управления, наземный комплекс управления, Центр управления полетами.

### Введение

Космос – новая сфера человеческой деятельности, которая открывает дорогу к неисчислимым, в том числе и нетрадиционным, источникам сырья, энергии, стимулирует интеграцию стран и народов, способствует решению глобальных задач обеспечения жизни на Земле. С самого зарождения практической космонавтики она стала оказывать решающее влияние на политику «космических» держав и международные отношения. Если в 60-е годы XX столетия только два государства – СССР и США – занимались освоением космоса, то в настоящее время в освоении космического пространства прямо или косвенно участвуют более 130 стран. В странах, использующих достижения практической космонавтики, открываются новые возможности решения актуальных проблем в области астрономии, астрофизики, народного хозяйства, экономики, информатизации, навигации, управления движением, биологии, медицины и т.д.

Рост активности в освоении космического пространства и приобщение все большего числа государств к космическому сообществу стали устойчивыми тенденциями мирового развития, что оказывает положительное влияние на обеспечение международной безопасности и укрепление стратегической стабильности в мире. Специфические факторы космического пространства (безграничность, глубокий вакуум, невесомость, огромные скорости перемещения космических объектов и т.д.) превращают его в принципиально отличную от суши и моря сферу деятельности, предъявляя особые требования к созданию, развертыванию и использованию на Земле и в космосе космической техники и достижений практической космонавтики. Поэтому в современных условиях космическая деятельность ведущих космических держав стала одним из ключевых факторов развития мирового сообщества.

Проникновение в космос стало одним из величайших свершений не только XX века, но и второго тысячелетия истории земной цивилизации. При этом общепризнанно, что роль России в развитии мировой космонавтики является поистине уникальной. Здесь были заложены теоретические и философские основы космической деятельности, выполнены важнейшие инженерно-технические разработки, открывшие путь к практическому использованию беспилотных и пилотируемых космических аппаратов. Первый искусственный спутник Земли 4 октября 1957 года и полет Юрия Алексеевича Гагарина 12 апреля 1961 года сделали нашу страну великой космической державой. И с началом практического освоения космического пространства стали бурно разрабатываться основы управления космическими аппаратами (КА) и обеспечения безопасности космических полетов.

### 1. Общие принципы управления полетами космических аппаратов

В достижении целей, ставящихся перед любой космической программой, определяющую роль играет эффективная эксплуатация космических аппаратов и комплексов, относящихся к данной программе.



Рис. 1. Основные объекты управления полетом

Понятие «эксплуатация космических аппаратов и комплексов» включает в себя следующие основные составляющие:

- управление полетом КА с обеспечением требуемой надежности работы КА и безопасности его экипажа;
- выполнение транспортных операций кораблями типа «Союз ТМА» и «Прогресс М»;
- материальное снабжение орбитальной станции, ее обслуживание и ремонт, удаление отходов и отслужившего оборудования;
- координирование доработки и дооснащения бортовых систем и наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ);
- подготовка предложений по совершенствованию технологии выполнения полета и управления им.

Среди указанных компонентов процесса эксплуатации управление полетом является одним из наиболее трудоемких и сложных процессов. При этом особо ответственным и трудным этапом являются летные испытания космического аппарата, когда он сам как объект управления, а также система управления его полетом, еще не отработаны в натурных условиях и их поведение может сопровождаться различными нештатными ситуациями (НшС).

В настоящее время основными объектами управления в отечественной космонавтике являются пилотируемый комплекс российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) с обслуживающими его кораблями «Союз ТМА» и «Прогресс М», а также разгонные блоки и автоматические КА. Ведутся разработки технологии управления полетом перспективных космических аппаратов и ближайшие из них – это пилотируемый корабль нового поколения (ПТК НП).

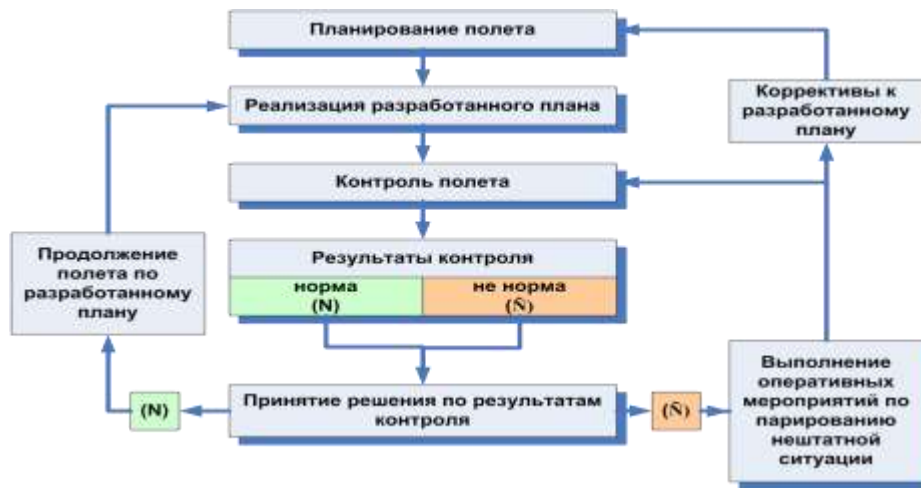


Рис. 2. Структура процесса управления полетом космического аппарата

Процесс управления полетом КА в общем виде имеет структуру, представленную на рисунке 2. В число задач, решаемых при управлении полетом, входят:

- обеспечение надежного выполнения последовательности смены состояний КА, требуемой для достижения цели полета;
- обеспечение движения КА по требуемой орбите (траектории);
- обеспечение безопасности экипажа, его здоровья и работоспособности;
- поддержание работоспособности систем и конструкции КА в целом;
- обеспечение выполнения целевой программы, например, проведение научно-прикладных исследований и экспериментов на борту КА;
- обнаружение и парирование аномальных ситуаций, препятствующих выполнению заданной программы полета.

Необходимо отметить, что основными приоритетами управления пилотируемыми полетами являются:

- максимально возможная безопасность экипажа;
- живучесть КА в целом и его сегментов, в частности;
- выполнение программы полета в полном объеме.

Управление *пилотируемыми космическими аппаратами* осуществляется с использованием трех основных взаимосвязанных управляющих звеньев (рис. 3):

- наземный комплекс управления (НКУ), основным интеллектуальным ядром которого является Главная оперативная группа управления (ГОГУ), располагающаяся в Центре управления полетами (ЦУП) и включающий в себя наземные измерительные пункты (НИП);
- автоматический бортовой комплекс управления (БКУ);
- экипаж космического аппарата.



Рис. 3. Основные составляющие системы управления полетом пилотируемых космических аппаратов

Существующая отечественная концепция управления полетом предполагает, что основные функции управления должны выполняться совместно наземным и бортовым комплексами, чтобы по возможности освободить экипаж от этой работы для решения им целевых задач. Тем не менее, космонавты располагают необходимыми средствами и подготовлены к самостоятельному управлению в основных операциях и в ситуациях, требующих обеспечения его безопасности. Естественно, в системе управления полетом *автоматических космических аппаратов* экипаж отсутствует. Распределение функций между управляющими звеньями в системе управления полетом представлено в таблице 1.

Таблица 1

Функции управляющих звеньев	НКУ	Экипаж	БКУ
1. Разработка новых полетных операций	+	(+)*	
2. Планирование полета	+	(+)*	
3. Выдача на бортовые системы МКС управляющих воздействий (УВ)	+	+	+
4. Управление системами МКС в типовых операциях и непрерывный контроль параметров состояния МКС			+

Продолжение таблицы 1

Функции управляющих звеньев	НКУ	Экипаж	БКУ
5. Периодический контроль параметров состояния МКС	+	+	
6. Обнаружение детерминированных аномальных ситуаций и реагирование на них	(+)*	(+)*	+
7. Обнаружение недетерминированных аномальных ситуаций (АС) и реагирование на них	+	+	
8. Оценка полета, выработка и принятие решений	+	+	

**Примечание:** (\*) Скобки указывают на то, что данное звено не является основным в реализации рассматриваемой функции, а выполняет вспомогательную роль.

Ярким примером сложнейшего комплекса управления полетом служит система управления полетом Международной космической станции (рис. 4).

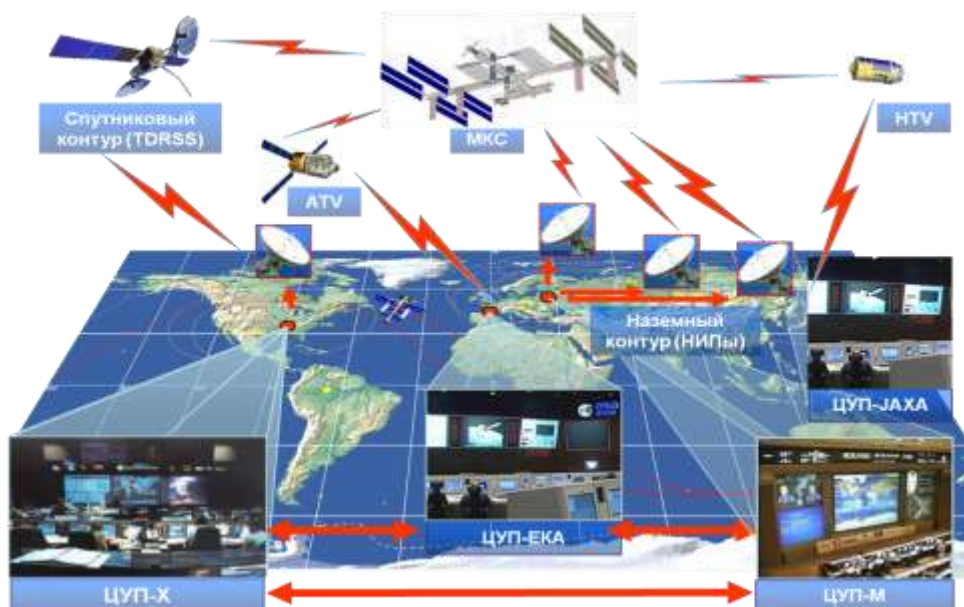


Рис. 4. Система управления Международной космической станцией

При этом сложность управления космическим полетом зависит от следующих факторов (см. табл. 2):

- количество операций, выполняемых космическим аппаратом;
- количество управляющих воздействий на бортовые системы;
- количество наблюдаемых параметров, характеризующих функционирование космического аппарата;
- сложность баллистической схемы полета;
- многообразие правил планирования полета;
- количество алгоритмов обработки и анализа наблюдаемых параметров;
- количество нештатных ситуаций.

Таблица 2

ПКА	Количество выполняемых операций	Количество управляющих воздействий	Количество телеметрических параметров	Особенности управления полетом
«Восток» 1961	5	48	400	Управление одиночным объектом
«Союз» 1966	30	256	1000	Управление одиночным объектом
«Мир» 1986	500	4096	14 000	«Суточное» управление различными объектами
МКС 1998	5000	>8000	30 000	Распределенное управление из ЦУПа-Х и ЦУПа-М
МКС 2009	94 000	>12 000	более 50 000	Распределенное управление из нескольких центров

При рассмотрении и исследовании системы управления космическими полетами целесообразно выделить следующие основные составляющие:

1. Планирование полетных операций.
2. Моделирование полетных операций.
3. Летные испытания, эксплуатация и анализ бортовых систем космических аппаратов и орбитальных комплексов.
4. Методическое обеспечение действий экипажа.
5. Реализация программы полета и управление бортовыми системами по КРЛ.
6. Наземные радиотехнические комплексы управления и связи.
7. Особенности управления целевыми нагрузками.
8. Подготовка к управлению полетом.

## 2. Планирование полетных операций

Планирование космического полета – одна из отправных точек его практической реализации. В связи с этим разработка плана, начинаемая еще на этапе проектирования, представляет собой основу процесса управления полетом. Управление полетом должно осуществляться в строгом соответствии с принятым к исполнению планом, поскольку именно номинальный план, т. е. план, в котором фактические характеристики КА и условия полета приняты в пределах расчетных значений или установленных статистических норм, предполагает гарантированное выполнение целевого назначения полета.

Вместе с тем очевидно, что номинальный план с высокой степенью вероятности может оказаться неадекватным фактическим условиям полета. Данное об-



стоятельство заставляет предусмотреть в методологии планирования, по крайней мере, два направления возможных коррекций плана.

*Во-первых*, уже при разработке исходного плана определяют наиболее сложные с точки зрения управления полетом этапы. Для них заблаговременно разрабатывают резервные варианты выполнения. Этому направлению в дополетный период уделяется существенное внимание, поскольку наличие заранее отработанных элементов резервных планов способно значительно повысить надежность управления.

*Во-вторых*, предусматривают оперативное планирование, осуществляемое непосредственно в процессе полета и ориентируемое на учет текущей информации об условиях его протекания.

Ситуации, требующие оперативного планирования в ходе полета, могут складываться вследствие непредвиденного изменения внешней обстановки либо при возникновении отказов в системах КА и элементах НКУ. Оперативная корректировка или разработка плана полета необходима и в том случае, если в ходе полета меняются задачи, решаемые КА, или уточняется программа работы его целевой аппаратуры, или выявляется необходимость коррекции либо изменения орбиты КА. План, доработанный в процессе полета, может предусматривать возвращение к исходному номинальному варианту, если это возможно и целесообразно (см. рис. 2).

Для формирования исходного и оперативного планов применяют одни и те же методы. Однако существенным отличием оперативного планирования от дополетного является ограниченное время его выполнения, иногда и дефицит времени. Чтобы избежать ошибок планирования в таких условиях, стараются использовать типовые элементы плана, заранее разработанные и проверенные. Для повышения надежности применяют автоматизированные способы формирования плана, а оперативно разработанный план до начала выполнения проверяют на моделирующих стендах.

Планирование космического полета, в конечном счете, заключается в установлении состава и временной последовательности операций, приводящей к достижению целей полета, а также в определении порядка координированной работы всех служб и средств системы управления в ходе выполнения операций.

Следует заметить, что с планированием космического полета связан ряд важнейших предметов коллективной деятельности. И это, прежде всего:

1. Решение задач, относящихся к баллистическому обеспечению.
2. Определение правил и ограничений исполнительного планирования.
3. Сбор и формализация данных по планированию.
4. Планирование использования ресурсов и работы бортовых систем орбитального комплекса.
5. Определение «окон» выполнения научных экспериментов.
6. Организация рационального режима труда и отдыха космонавтов (РТО).
7. Назначение приоритетов полетным операциям.
8. Разработка плана полетных операций, позволяющих выполнить цели и задачи программы космического полета в целом.

Основные этапы планирования полета российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) могут быть представлены следующим образом (см. рис. 5):



Рис. 5. Этапы планирования полета РС МКС

Таким образом, в процессе планирования полета осуществляется распределение полетных операций и работ по времени. Это делается с учетом большого объема правил и ограничений, например: в пределах располагаемых ресурсов; только в те периоды, в которые имеются условия для их выполнения; без нарушений установленного режима труда и отдыха космонавтов; некоторые операции должны выполняться при наличии возможности их контроля с Земли и т.д.

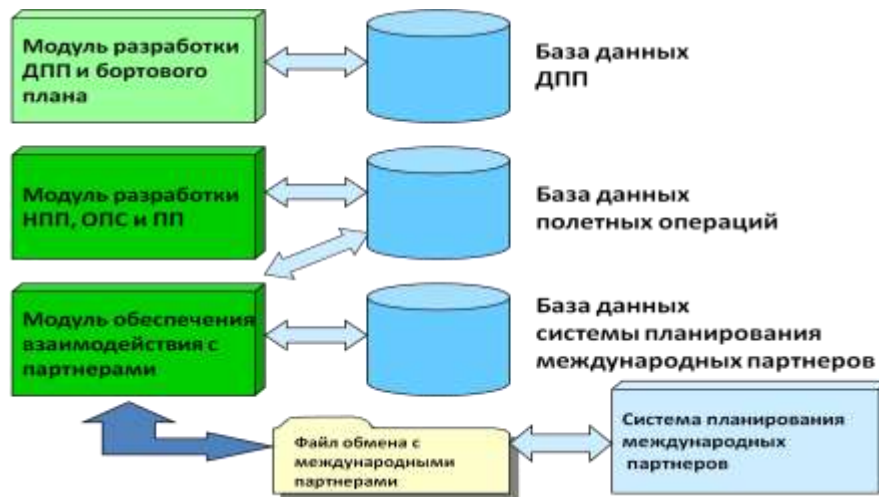


Рис. 6. Общая структура автоматизированной системы планирования полета РС МКС (НПП – номинальный план полета; ПП – план полета; ОПС – общий план полета (сопровождения); ДПП – детальный план полета)

Чтобы удовлетворить поставленным требованиям, специалистам ГОГУ приходится решать целый ряд сложных, часто противоречивых, задач, связанных с определением приоритетов полетных операций при невозможности выполнить их в желаемые сроки или изыскивать допустимое время их проведения. Поэтому планирование полета в настоящее время выполняется персоналом ГОГУ с использованием разработанной автоматизированной системы планирования (АСП), представленной на рис. 6.

Идея автоматизации планирования заключается в том, чтобы с помощью вычислительных средств осуществлять те процедуры процесса, для которых логика выполнения и необходимые данные могут быть достаточно просто и надежно формализованы. Выполнение процедур, требующих для своего решения большого объема разнообразных исходных данных, сложной логики обработки, эвристического подхода к поиску приемлемого варианта решения, целесообразно предоставить специалистам по управлению полетом. При этом некоторая часть процесса планирования может выполняться системой автоматически, а основная работа по планированию полета будет проводиться персоналом группы планирования (ГП) ГОГУ в интерактивном режиме. Поэтому более наглядно технологию планирования с использованием АСП можно представить в следующем виде (см. рис. 7):



Рис. 7. Структура автоматизированной системы планирования РС МКС

Однако длительная эксплуатация АСП выявила ряд ее недостатков, которые с дальнейшим развитием российского сегмента МКС и ростом количества полетных операций могут снизить качество и надежность планирования полета. Среди существующих недостатков АСП следует отметить:

- база данных полетных операций в настоящее время переполнена дублирующей информацией;
- файлы обмена с международными партнерами, формируемые существующей системой, устарели и не содержат всего перечня необходимой информации;

- автономность модулей системы не позволяет автоматизированно отслеживать изменения и проводить анализ выполнения программы полета на различных стадиях планирования;
- отсутствует модуль формирования бортового детального плана в графическом формате;
- отсутствует модуль проведения анализа выполнения программы полета;
- не реализованы типовые процедуры планирования, подлежащие формализации;
- интерфейс пользователя в существующей системе очень неудобен, для работы с одним планом приходится пользоваться различными программами, что существенно замедляет работу.

В связи с этим в настоящее время ведется разработка новой автоматизированной системы планирования полетом РС МКС, ввод в штатную эксплуатацию которой намечен на декабрь 2012 года (см. рис. 8). Данная система предполагает интеграцию с аналогичными АСП международных партнеров по МКС.

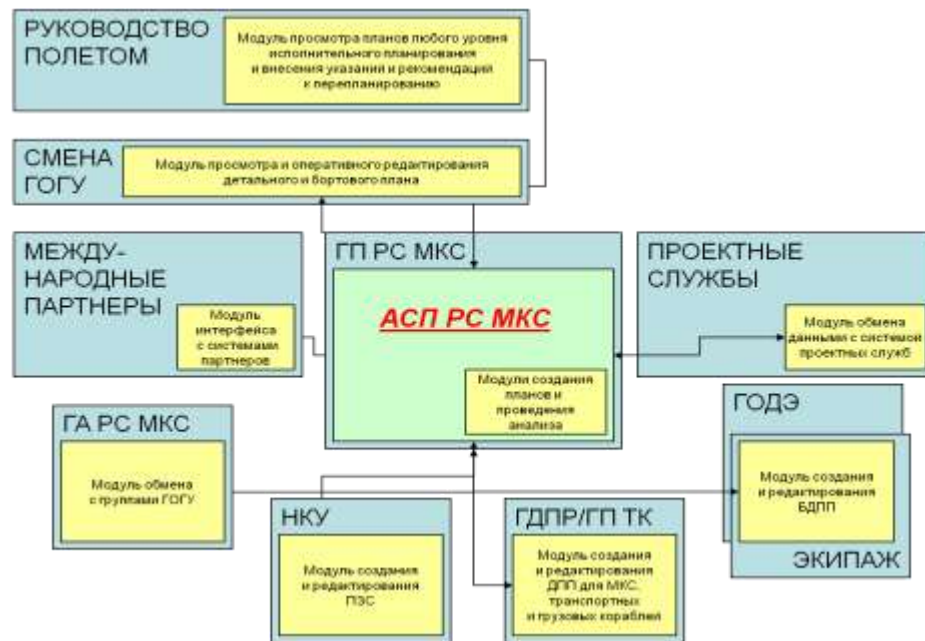


Рис. 8. Структура разрабатываемой АСП РС МКС  
 (ГП РС МКС – группа планирования РС МКС; ГА РС МКС – группа анализа РС МКС; НКУ – наземный комплекс управления; ГДПР – группа детального планирования и реализации; ГП ТК – группа планирования транспортным кораблем; ГОДЭ – группа обеспечения действий экипажа; ПЗС – план задействования средств; ДПП – детальный план полета; БДПП – бортовой ДПП)

При планировании полета пилотируемого КА необходимо учитывать все факторы, влияющие на выполнение задач и безопасность экипажа. К числу таких факторов относят:

- обеспечение условий возможно более полной наблюдаемости и управляемости данного КА путем соответствующего планирования сеансов связи КА с НКУ и режимов работы его радиосистем;
- соблюдение требований к режиму труда и отдыха экипажа;
- расход ресурсов, сбалансированный с их располагаемым объемом за счет выбора рациональных режимов работы бортовых систем, типа и последовательности выполнения операций, решающих задачи планируемого периода полета;
- состояние бортовых систем и конструкции КА, влияющее на выполнение планируемых операций;
- медицинское состояние экипажа, определяющее возможности выполнения планируемых операций и в некоторых случаях предполагающее лечебные и профилактические мероприятия;
- результаты проведенной части полета, несоответствие которых требует принятия мер, компенсирующих этот фактор;
- внешние условия полета, влияющие на возможность выполнения или на ожидаемые результаты планируемых полетных операций.

Ввиду указанных особенностей процесс планирования полета современных КА в настоящее время не представляется возможным полностью формализовать для автоматического выполнения. Возможна автоматическая разработка только некоторых компонентов плана. Поэтому планирование полета проводится подготовленным персоналом с помощью вспомогательных технических средств и программного обеспечения, образующих систему автоматизированного планирования полета.

Следует заметить, что в процессе планирования полета, чтобы не выйти за пределы принятых ограничений (например, по энергопотреблению, расходам топлива двигательной установки, совместимости планируемых операций), разрабатываемые планы должны проверяться посредством математического моделирования.

*Продолжение следует*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соловьев В.А. Управление космическими полетами: учеб. пособие: в 2 ч. / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский – Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
- [2] Соловьев В.А., Станиловская В.И. Разработка и практическое внедрение методов планирования полетных операций при оперативном управлении орбитальными комплексами // Труды XXXVII чтений им. К.Э. Циолковского – Калуга, 2002. С. 95–102.
- [3] Рабочие материалы научных исследований Благова В.Д., Матюшина М.М., Коваленко А.А., Скурского Ю.А.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГКНПЦ  
ИМЕНИ М.В. ХРУНИЧЕВА  
ПО КОНЦЕПТУАЛЬНЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ РЕАЛИЗАЦИИ  
ПЛАНЕТНЫХ МИССИЙ.**

А.И. Кузин, С.Н. Лозин, А.А. Нестеренко, В.Ю. Юрьев,  
В.Г. Власенко, И.А. Соболев, Д.В. Морозов

Докт. техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки России А.И. Кузин; канд. техн. наук С.Н. Лозин; канд. техн. наук А.А. Нестеренко; канд. техн. наук В.Ю. Юрьев; канд. техн. наук В.Г. Власенко; канд. техн. наук И.А. Соболев; Д.В. Морозов (ГКНПЦ имени М.В. Хруничева, г. Москва)

Сформулированы основные этапы концепций исследования и освоения Луны и исследования Марса, предлагаемой ГКНПЦ им. М.В. Хруничева. Приведены схемы экспедиций к Луне и Марсу. Рассмотрены состав и характеристики космических средств для реализации лунной и марсианской пилотируемых программ. Проведен сравнительный анализ вариантов реализации перспективных пилотируемых программ.

**Ключевые слова:** исследование и освоение Луны, исследование и освоение Марса, полеты к планетам, пилотируемая экспедиция, пилотируемый космический комплекс.

*«...Наша цель – не много коротких посещений, а скорее – длительное, и, в конечном счете – самообеспечивающееся, поддерживаемое автоматическими системами, обитание человека вне Земли».*

*(The Global Exploration Strategy.  
The Framework for Coordination, 2007)*

Современное состояние мировой космонавтики характеризуется следующими основными особенностями.

В первую очередь, современное состояние мировой космонавтики характеризуется ростом членов «космического клуба» и в заинтересованности стран – членов «космического клуба» в развитии национальных и международных пилотируемых программ, включая и пилотируемые планетные миссии. Лунные пилотируемые программы имеют США и Китай, исследовательские лунные программы реализуются в Японии и Индии. «Возвращение» человека на Луну можно ожидать в 2024–2025 годах. Эти сроки, в случае отсутствия излишних шагов, как например, создания еще одного околоземного корабля, пока являются реальными и для России.

Во-вторых, это развитие международной кооперации и международных космических программ, в том числе и крупномасштабных пилотируемых.

В-третьих – начало практического объединения государственного и частного потенциалов для обеспечения пилотируемых программ. Наиболее ярко эта тенденция выражается в развитии такого направления, как космический туризм.

ГКНПЦ имени М.В. Хруничева обладает богатым опытом в осуществлении пилотируемых космических программ. Начиная с 60-х годов предыдущего столетия и по настоящее время ГКНПЦ имени М.В. Хруничева принимало и принимает непосредственное участие в создании пилотируемых ОС «Салют», «Алмаз»,

транспортного корабля снабжения (ТКС), ОС «Мир», МКС. В последнее десятилетие был проведен ряд научно-исследовательских работ, посвященных выработке стратегии развития пилотируемой космонавтики, результаты которых кратко представлены в данной статье.



Рис. 1. Развитие пилотируемых программ

### Исследование и освоение Луны

Программа исследования и освоения Луны принципиально может быть представлена в следующей последовательности.

Этап 1. Исследование Луны автоматическими средствами и подготовка к пилотируемым полетам. На этом этапе решаются задачи определения факторов и условий будущего пребывания космонавтов на Луне. Производится поиск и выбор мест посадки пилотируемых космических средств и размещения базы на поверхности планеты. Доставляются элементы первичной инфраструктуры, необходимые для осуществления пилотируемых полетов (спутники-ретрансляторы, навигационные маяки и пр.), осуществляется летная отработка элементов космической техники для пилотируемых полетов.

Этап 2. Создание лунной орбитальной станции, пилотируемые полеты на лунную орбитальную станцию и с посадкой на Луну. На втором этапе начинают выполняться одиночные пилотируемые полеты с целью реализации целевой программы, не привязанной к базе на поверхности Луны, а также отработка необходимых технических средств для напланетных операций экипажа. Первые пилотируемые полеты могут проходить и без посадки на поверхность Луны. На ОИСЛ разворачивается лунная орбитальная станция (ЛОС), состав которой может наращиваться до нескольких модулей. В составе ЛОС могут находиться резервные



корабли и резервные запасы топлива и других ресурсов, что существенно повысит безопасность пилотируемых полетов на Луну. Начинаются пилотируемые полеты с посадкой на Луну. Проводятся подготовительные работы к развертыванию лунной базы: подтверждение места ее развертывания, организация связи и навигации на поверхности Луны. Длительность пребывания космонавтов на поверхности Луны на этом этапе достигает нескольких суток.

Этап 3. Развертывание посещаемой лунной базы. На данном этапе осуществляется развертывание первичной посещаемой лунной базы (ЛБ) на поверхности и оснащение ее оборудованием с последующим увеличением числа модулей базы, наращиванием целевой нагрузки и энергоснабжения. Эта база предназначена для кратковременного (до двух недель) пребывания космонавтов. В связи с необходимостью ее посещения и снабжения возникает постоянно действующее транспортное сообщение между Землей и Луной. Расходуемые запасы пополняются за счет доставки их с Земли.

Этап 4. Создание постоянно обитаемой лунной базы. Для длительного пребывания космонавтов на Луне посещаемая база развивается до постоянно действующей лунной базы. Создается радиационное убежище или жилые модули засыпаются необходимым слоем лунного грунта, создается энергетический модуль (на базе ядерного реактора) для обеспечения базы электроэнергией как днем, так и лунной ночью. В связи с этим становится возможным получение расходуемых запасов жизнеобеспечения и компонентов ракетного топлива за счет производства их из местного сырья. Таким образом, возможен переход к следующему этапу – организации производства на поверхности Луны.

Этап 5. Начало использования ресурсов Луны. Промышленное производство на Луне требует доставки на поверхность Луны и развертывание производственного оборудования. Лунная производственная программа потребует доставки дополнительных модулей базы и целевого оборудования, а также дальнейшего наращивания средств электроснабжения. После начала производственного этапа расходуемые материалы, получаемые на Луне, постепенно будут во все большей степени замещать материалы, доставляемые с Земли. А в дальнейшем, возможно, возникнет потребность в средствах для регулярной доставки на Землю или в космос продукции лунного производства.

В дальнейшем можно предполагать расширение промышленного использования Луны и лунных ресурсов в интересах человечества и создание лунных поселений (колонизация Луны). Возможно, что следующими практически решаемыми задачами станут:

- разведка и добыча полезных ископаемых – сырьевой базы для местной промышленности и околоземной промышленной зоны;
- развертывание производства ракетного топлива (кислород, водород, алюминий) и конструкционных материалов из местного сырья, производство газов искусственной атмосферы для обитания экипажа;
- создание лунных электростанций для энергообеспечения как лунных, так и орбитальных, а, возможно – и наземных производственных комплексов с использованием солнечной и термоядерной энергии;
- производство термоядерного топлива ( $^3\text{He}$ ), в том числе и в качестве источника энергии двигательных установок космических комплексов для полетов к планетам;



– создание лунных поселений-колоний и развитие полномасштабного производства строительных и конструкционных материалов (Fe, Si, Ti, Al и др.) с использованием местного сырья;

– изготовление конструкций космической техники и робототехники и т.д.

Все перечисленные этапы развития лунной пилотируемой программы предусматривают формирование постоянной лунной инфраструктуры (ЛОС, ЛБ) и регулярные полеты транспортных средств. При этом реализуется множество однотипных циклов транспортных операций.

Выше описана достаточно обширная программа, которая может реализовываться и в более упрощенном виде.

### Космические средства для реализации лунной пилотируемой программы

На рис. 2 представлена схема лунной пилотируемой экспедиции, реализованная с использованием ракет-носителей грузоподъемностью 21 т, 25–35 т и 60 т.

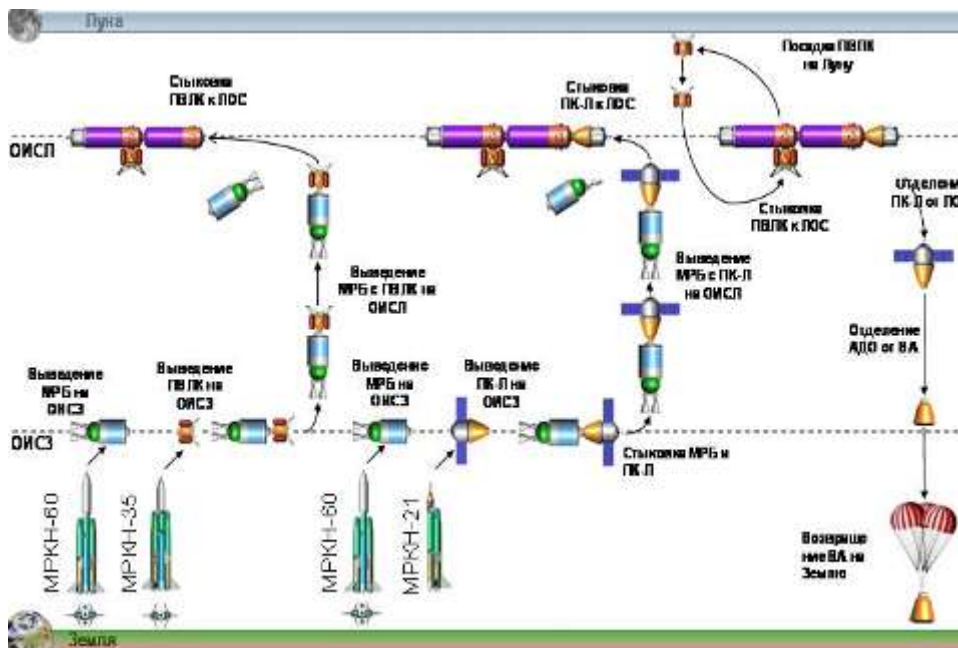


Рис. 2. Схема лунной пилотируемой экспедиции

Для реализации первых пилотируемых экспедиций и создания посещаемой базы на поверхности Луны представляется необходимым разработать следующие космические средства: пилотируемый корабль для полетов на окололунную орбиту, модуль окололунной станции, посадочно-взлетный корабль, межорбитальный ракетный блок.

1. Пилотируемый корабль для полетов на окололунную орбиту (ПК-Л) предназначен для доставки экипажа на окололунную орбиту или на окололунную орбитальную станцию. Выведение ПК-Л на околоземную орбиту осуществляется с

помощью РН грузоподъемностью порядка 20 т. На ОИСЛ осуществляется стыковка ПК-Л с межорбитальным буксиром (МРБ), который осуществляет выведение корабля на отлетную траекторию к Луне и последующее торможение в окрестностях Луны с выходом на ОИСЛ. Согласно предварительным проработкам, ПК-Л имеет основные характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики ПК-Л

Экипаж	4 чел.
Срок существования	14 сут.
Обитаемый объем	18 м <sup>3</sup>
Масса	19,6 т
Запас характеристической скорости	1900 м/с

2. Модуль лунной орбитальной станции (ЛОС). Предназначен для обеспечения длительного пребывания экипажа на ОИСЛ, выполнения исследовательских работ на окололунной орбите, в случае необходимости – обеспечения экстренной эвакуации экипажа с лунной поверхности. Согласно предварительным проработкам, модуль ЛОС может иметь следующие основные характеристики:

Таблица 2

Основные характеристики модуля ЛОС

Экипаж:	– кратковременное пребывание	до 4 чел
	– длительное пребывание	2 чел
Объем		120 м <sup>3</sup>
Масса		18 т

3. Посадочно-взлетный лунный корабль (ПВЛК) предназначен для доставки экипажа и ограниченного количества грузов с окололунной орбиты в заданный район на поверхности Луны и обратно, а также обеспечения пребывания экипажа на поверхности Луны на протяжении промежутка времени до 6 суток. Согласно предварительным проработкам, ПВЛК может иметь следующие основные характеристики:

Таблица 3

Основные характеристики ПВЛК

Экипаж	3 чел.
Срок автономного существования	14 суток
Обитаемый объем	14 м <sup>3</sup>
Масса	29,8 т

Отдельные элементы конструкции ПВЛК могут после доработки использоваться в конструкции посадочно-взлетного марсианского корабля (ПВМК).

4. Межорбитальный ракетный блок (МРБ) предназначен для выведения полезных грузов на высокоэнергетические орбиты и прежде всего для доставки

элементов лунного пилотируемого комплекса на траекторию перелета к Луне и последующего их выведения на ОИСЛ.

Основные характеристики различных вариантов МРБ, полученные в результате предварительных проработок, приведены ниже.

Таблица 4

Основные характеристики МРБ

РН для выведения МРБ	РН-60
Схема сборки	Двухпусковая схема
Состав КГЧ РН для МРБ	МРБ
Мпг, выводимого буксиром на ОИСЛ, кг	25200
Доставляемый на ОИСЛ полезный груз	ЛОС; ГК для снабжения ЛОС
Начальная масса буксира с проставкой, кг	61930
Масса рабочего топлива буксира, кг	53530
Тяга маршевой ДУ, тс	40
Запас характеристической скорости, м/с	4310

### Элементы лунной напланетной инфраструктуры

Лунная база I этапа является посещаемой и в начальной конфигурации состоит из двух модулей и двух платформ:

- служебно-шлюзового модуля;
- жилого модуля;
- целевой платформы;
- энергетической платформы (на данном этапе на основе солнечных батарей).

Кроме того, в состав лунной базы входят планетоходы и строительная техника.

Район базирования на первом этапе – околоэкваториальные районы видимой стороны Луны:

- пребывание экипажа на базе до двух недель (световой день);
- стартовые окна для выведения на экваториальную ОИСЛ с целью стыковки с орбитальными элементами транспортной системы для исследования и освоения Луны каждые 2 часа;
- постоянная непосредственная связь с Землей;
- достаточно широкие возможности выбора места базирования.

Поскольку на I этапе предусматривается пребывание космонавтов на Луне в течение светового дня, предусматривается консервация элементов лунной базы до прибытия следующей экспедиции.

Лунная база II этапа является постоянно обитаемой и предназначена для обеспечения постоянного пребывания экипажа на Луне. Предполагается использование лунных ресурсов для обеспечения жизнедеятельности и транспортных операций.

На этапе функционирования постоянно обитаемой лунной базы идет подготовка промышленного использования Луны. Долговременная лунная база вклю-

чают в свой состав обитаемые, научные, ресурсные и энергетические модули, оборудованные посадочные площадки для ПВЛК, средства управления полетом КА в окололунном пространстве, мобильные средства для изучения Луны, в перспективе – оборудование для производства расходуемых ресурсов, включая кислород, воду, компоненты топлива для ПВЛК и т.д.

На последующих этапах, с развитием окололунной инфраструктуры и с переходом к использованию ядерных энергоустановок, ограничения на место расположения лунных баз и длительность пребывания на них экипажа будут сниматься.

Элементы напланетной техники, созданные и отработанные в ходе создания лунной базы, в дальнейшем могут использоваться в марсианской программе.

### **Исследование Марса**

Основные цели проведения первых пилотируемых экспедиций на Марс могут представляться следующими:

- обеспечение посадки экипажа на поверхность Марса и его возвращение на Землю;
- демонстрация возможности присутствия и работы человека на Марсе;
- проведение научных исследований Марса, включая сбор марсианских образцов, с максимальным использованием преимуществ, предоставляемых присутствием человека;
- оценка возможности долгосрочного присутствия человека на Марсе.

Программа создания первого марсианского пилотируемого комплекса может формироваться с учетом базовых технологий длительных экспедиций, разработанных на этапах реализации околоземной и лунной программ и с использованием созданного конструкторско-технологического задела.

Марсианская исследовательская программа, очевидно, будет реализовываться в виде серии экспедиций с посадкой экипажа в различные районы поверхности Марса и с формированием там исследовательских баз. При этом первые экспедиции будут предназначены в том числе для испытаний техники и изучения условий протекания пилотируемого полета. Они могут иметь фрагментарный характер и проходить полностью или частично в автоматическом режиме.

Что касается выделения этапов исследования и освоения Марса, то по сравнению с лунной программой все выглядит более неопределенно. Ввиду этого в первом приближении приемлемым будет выделить этапы исследования и освоения Марса по аналогии с выделением этапов исследования и освоения Луны. Состав основных этапов исследования и освоения Марса представим следующим образом.

Этап 1. Исследования Марса и подготовка околопланетной и напланетной инфраструктуры автоматическими средствами. На данном этапе проводится исследование геологии и климата районов будущих баз, подготовка средств навигации и связи на поверхности планеты и на околопланетной орбите. На данном этапе возможна доставка резервного жилого модуля и резервной взлетной ступени в рамках заключительного этапа ЛКИ МПК.

Этап 2. Единичные пилотируемые полеты на Марс. Развертывание исследовательской базы на поверхности Марса (возможно и на ОИСМ), оснащение ее оборудованием с последующим наращиванием объема базы (добавление новых модулей), целевой нагрузки и энергоснабжения. Первоначально эта база предназначена для кратковременного (до 2–3 месяцев) пребывания космонавтов. В связи

с необходимостью ее посещения и снабжения возникает регулярное транспортное сообщение между Землей и Марсом. Расходуемые запасы первоначально пополняются за счет доставки их с Земли, с постепенным переходом на местные ресурсы по мере технологической готовности. Предполагается унификация элементов марсианской и лунной баз, а также необходимых транспортных средств (луноходы и марсоходы), электростанция и др.

Этап 3. Создание постоянно действующих марсианских баз. Ввиду большой стоимости проведения марсианских экспедиций, срок пребывания космонавтов на поверхности Марса будет наращиваться достаточно быстро. Возможно, уже вторая-третья экспедиция будет иметь продолжительность пребывания на Марсе  $\approx 420$  суток. На этом этапе становится целесообразным получение расходуемых запасов жизнеобеспечения и возможно компонентов ракетного топлива для взлетных ступеней за счет производства их из марсианского сырья. Таким образом, осуществляется постепенный переход к следующему этапу – организации производства на поверхности Марса, для чего требуется доставка на поверхность и развертывание производственного оборудования.

Этап 4. Колонизация Марса и развертывание промышленного производства на поверхности планеты. В настоящее время планов промышленного освоения Марса в интересах человечества не существует. В то же время при рассмотрении вариантов реализации марсианских экспедиций часто рассматривается возможность производства компонентов топлива и расходных материалов СЖО из местных ресурсов.

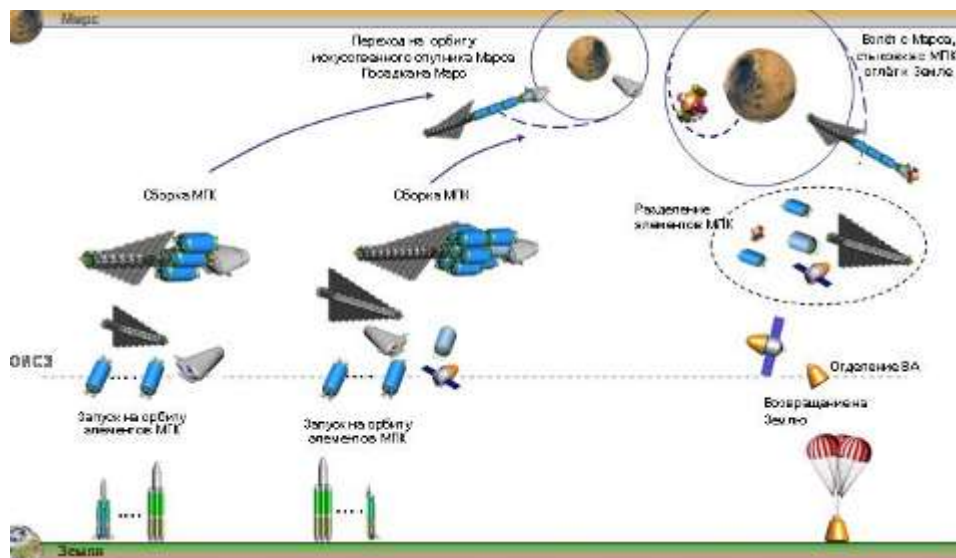


Рис. 3. Схема марсианской пилотируемой экспедиции

### Космические средства для реализации марсианской пилотируемой программы

Общий вид марсианского пилотируемого корабля на основе двухрежимного ЯРД представлен на рис. 4.

В состав марсианского пилотируемого корабля входят следующие основные элементы:

- межпланетный обитаемый модуль;
- посадочно-взлетный марсианский корабль;
- корабль возвращения на Землю;
- энергодвигательный комплекс.

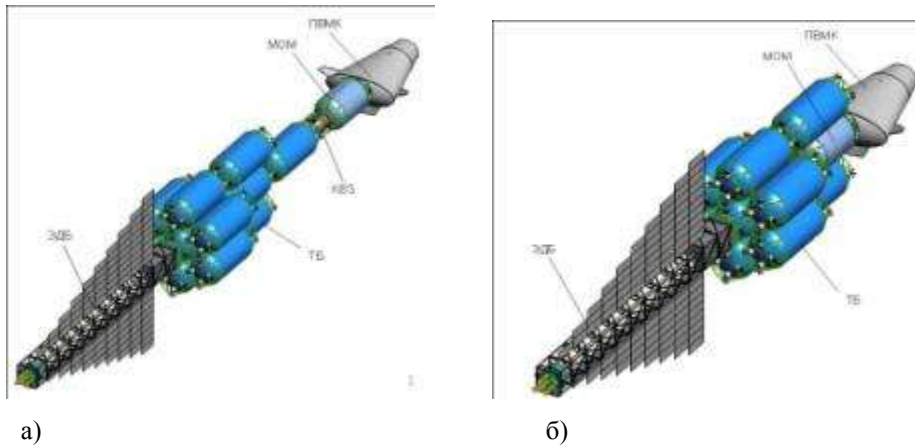


Рис. 4. Общий вид марсианского пилотируемого корабля на основе двухрежимного ЯРД (а – экспедиция с 30-суточным пребыванием на поверхности Марса; б – экспедиция с 420-суточным пребыванием на поверхности Марса)

В табл. 5 представлены основные характеристики МПК на основе двухрежимного ЯРД.

Таблица 5

Основные характеристики МПК на основе двухрежимного ЯРД

№ п/п	Характеристика	Значение	
1	Дата пуска	04.09.2037	25.11.2041
2	Продолжительность пребывания на Марсе, сут.	30	420
3	Начальная масса МОМ, <i>t</i>	53.2	52.5
4	Начальная масса ПММК, <i>t</i>	49.0	54.9
5	Начальная масса КВЗ, <i>t</i>	15.0	15.0
6	Масса ЭДК без топливных блоков, <i>t</i>	80.0	80.0
7	Топливо	водород	
8	Масса топлива, <i>t</i>	467.6	379.4
9	Начальная масса МПК, <i>t</i>	719.8	626.8
10	Полное время экспедиции, сут., в т.ч.	760	960

**Посадочно-взлетный марсианский корабль (ПВМК)**

ПВМК предназначен для обеспечения спуска экипажа и доставляемого полезного груза на поверхность Марса, взлета с поверхности Марса, стыковки с МПК на орбите ОИСМ, а также для обеспечения жизнедеятельности и работы экипажа на поверхности Марса во время экспедиции. Согласно предварительным проработкам, ПВМК может иметь следующие основные характеристики (табл. 6):

Таблица 6

Основные характеристики вариантов ПВМК

№ п/п	Характеристика	ПВМК на 30 сут.	ПВМК на 420 сут.
1	Начальная масса, <i>m</i> – посадочной ступени – взлетной ступени	49.0 12.590 25.730	54.9 13.340 25.730
2	Количество членов экипажа, чел.	4	4
3	Срок автономного существования с экипажем, сут. – в обитаемом отсеке взлетной ступени – в жилом модуле	2 30	2 420
4	Масса компонентов топлива, <i>m</i> , в том числе – посадочной ступени – взлетной ступени	26.250 6.730 19.520	27.000 7.480 19.520
5	Тяга маршевой двигательной установки, <i>тс</i> – посадочной ступени – взлетной ступени	30.0 20.0	30.0 20.0
6	Удельный импульс маршевой двигательной установки, <i>с</i> – посадочной ступени – взлетной ступени	330 330	330 330

При спуске в атмосфере Марса ПВМК находится внутри аэродинамического щита, который выполнен в форме несущего корпуса. Компонировочная схема ПВМК с аэродинамическим щитом представлена на рис. 5. Принципиальная схема посадочно-взлетного марсианского корабля представлена на рис. 6. Схема функционирования ПВМК показана на рис. 7.

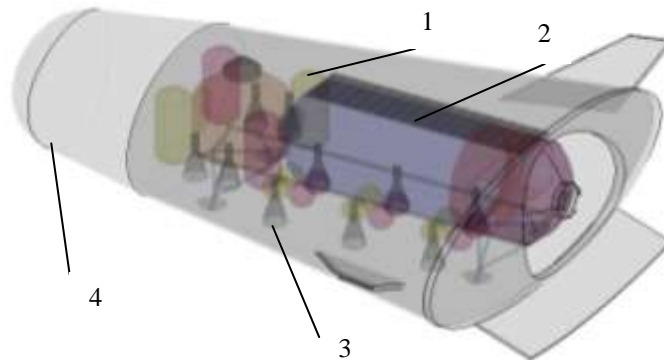


Рис. 5. Компоновочная схема ПВМК с аэродинамическим щитом (1 – взлетная ступень; 2 – жилой модуль; 3 – посадочная ступень; 4 – аэродинамический щит)

При подлете к Марсу ПВМК в составе МПК выходит на опорную орбиту высотой 500 км. После осуществления послеполетной расконсервации, проверки функционирования бортовых систем и принятия решения о высадке, члены экипажа переходят в ПВМК. ПВМК осуществляет разделение с МПК, ориентацию, выдачу тормозного импульса и сход с опорной орбиты. На высоте 1 км от поверхности Марса ПВМК сбрасывает тормозной аэродинамический щит и дальнейшую посадку осуществляет с использованием ДУ посадочной ступени.

После посадки на поверхность Марса члены экипажа переходят в жилой модуль, где проживают в течение всего срока пребывания на Марсе. Пребывание на Марсе осуществляется в течение 30 суток. В варианте экспедиции с продолжительностью пребывания на поверхности Марса 420 суток космонавты проживают как в жилом модуле ПВМК, так и в других модулях, входящих в состав марсианской напланетной базы.

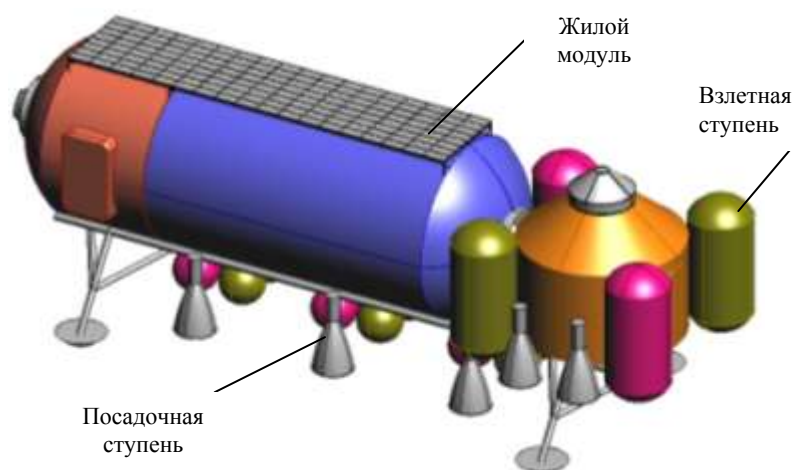


Рис. 6. Принципиальная схема ПВМК на поверхности Марса



После окончания срока пребывания на поверхности члены экипажа переходят во взлетную ступень и осуществляют старт с поверхности Марса. Взлетная ступень выходит на опорную орбиту, стыкуется с МПК, после чего члены экипажа переходят в жилой модуль МПК.

Грузовой посадочный марсианский корабль (ГПМК) предназначен для доставки груза с ОИСМ на поверхность Марса. Подобно МПВК, он находится внутри аэродинамического щита, выполненного в форме несущего корпуса.

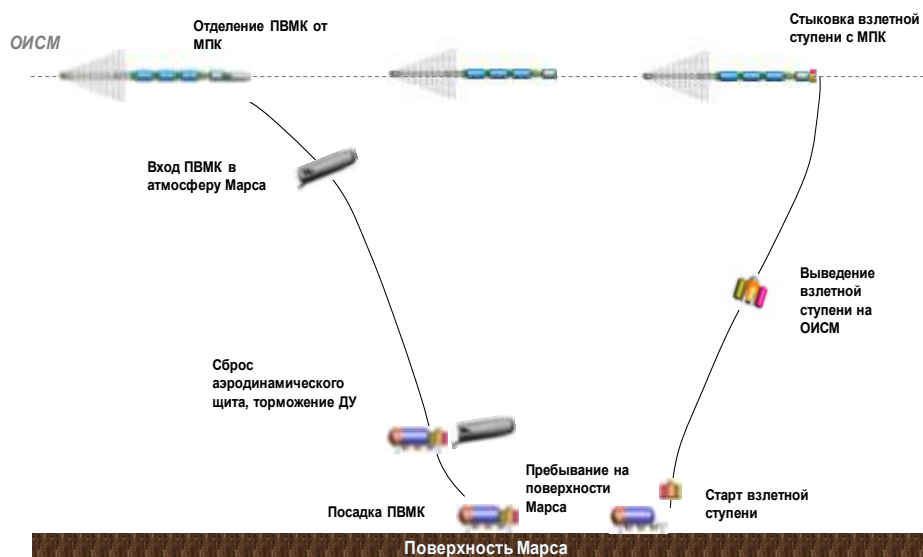


Рис. 7. Схема функционирования ПВМК

Компоновочная схема ГПМК с аэродинамическим щитом представлена на рис. 8.

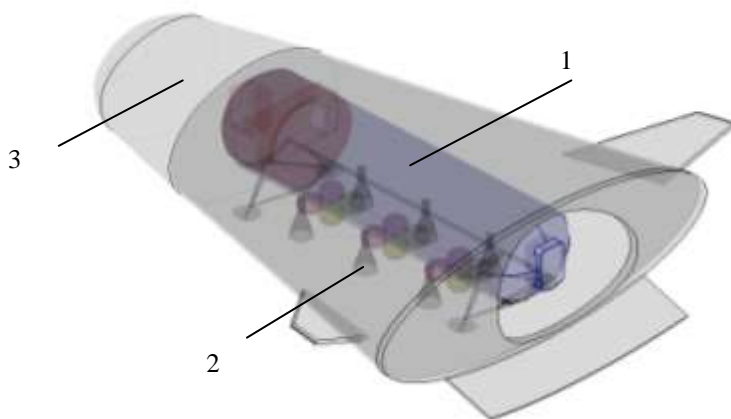


Рис. 8. Компоновочная схема ГПМК с аэродинамическим щитом (1 – грузовой модуль; 2 – посадочная ступень; 3 – аэродинамический щит)

Общий вид грузового посадочного марсианского корабля на поверхности Марса представлен на рис. 9.

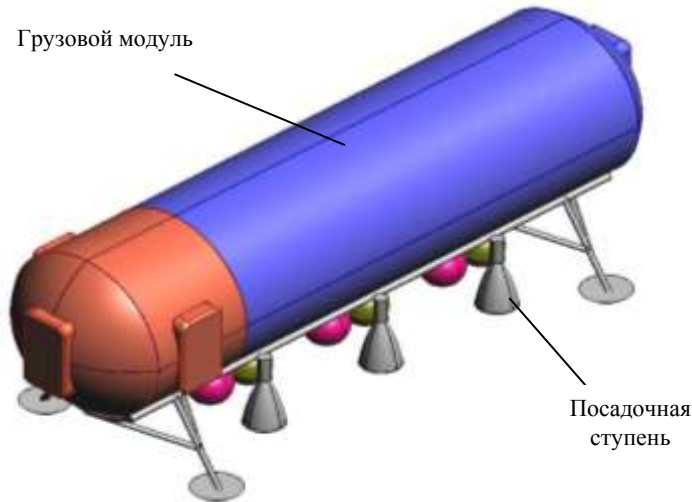


Рис. 9. Общий вид ГПМК на поверхности Марса

В ходе общих проработок рассматривались следующие варианты ГПМК:

- ГПМК с резервной взлетной ступенью (ГПМК-I);
- ГПМК без использования грузового модуля (ГПМК-II);
- ГПМК с использованием грузового модуля (ГПМК-III).

Основные характеристики вариантов ГПМК представлены в табл. 7.

Схема функционирования ГПМК на примере ГПМК-II показана на рис. 10 и в целом она аналогична схеме функционирования ПВМК.

Таблица 7

Основные характеристики вариантов ГПМК

№ п/п	Характеристика	ГПМК-I	ГПМК-II	ГПМК-III
1	Начальная масса на отлетной траектории, $m$ , в том числе: – посадочной ступени	54.900	54.900	54.900
		12.330	12.330	12.330
2	Масса груза, $m$	10.890	38.270	36.620
3	Масса компонентов топлива, $m$ , в том числе: – посадочной ступени – взлетной ступени	27.000	7.480	7.480
		7.480	7.480	7.480
		19.520	–	–
4	Тяга маршевой двигательной установки, $mc$	30.0		
5	Удельный импульс маршевой двигательной установки, $c$	330		
6	Потребный запас характеристической скорости, $m/c$	350		

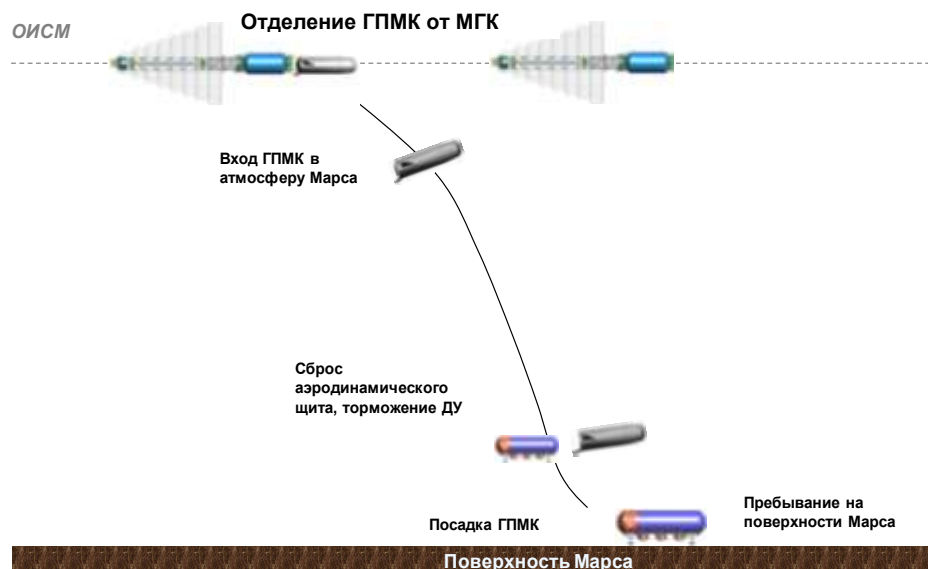


Рис. 10. Схема функционирования ГПМК (на примере ГПМК-II)

### Корабль возвращения на Землю (КВЗ)

КВЗ предназначен для обеспечения возврата экипажа и полезного груза после окончания марсианской экспедиции. В состав КВЗ входят следующие основные элементы:

- возвращаемый аппарат, предназначенный для размещения экипажа на участках выведения, стыковки с другими космическими объектами, возвращения экипажа и грузов на Землю;
- унифицированный агрегатно-двигательный отсек, предназначенный для ресурсного обеспечения возвращаемого аппарата на всех участках полета, кроме участков спуска в атмосфере Земли и приземления, и для обеспечения динамических операций в процессе космического полета.

В табл. 8 представлены основные характеристики корабля возвращения на Землю.

Таблица 8

Основные характеристики корабля возвращения на Землю

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Стартовая масса (КГЧ), $t$	до 22
2	Начальная масса (на орбите отделения от РН), $t$	до 15
3	Количество членов экипажа, чел.	6
4	Объем герметичных отсеков на одного члена экипажа, $m^3$ , не менее	3.0
5	Удельный импульс маршевой двигательной установки, $c$	300
6	Потребный запас характеристической скорости, $m/c$	400

### **Сравнительный анализ вариантов концепций исследования и освоения космического пространства**

Существуют различные точки зрения на то, в какой принципиальной последовательности реализовывать лунную и марсианскую пилотируемые программы. Традиционная точка зрения предполагает сначала осваивать Луну, а затем Марс. Данная последовательность характеризуется наращиванием сложности решаемых задач, т.к. сложность лунной пилотируемой программы существенно ниже сложности марсианской пилотируемой программы. Другая точка зрения предполагает сначала создать космические средства для марсианской экспедиции, начать реализацию марсианской пилотируемой программы и затем приступить к освоению Луны с использованием технического задела, созданного в рамках марсианской программы. Оба варианта планетных исследований имеют свою логику и смысл, свои плюсы и минусы. В исследованиях ГКНПЦ имени М.В. Хруничева проведен сравнительный анализ указанных подходов на базе оценки технико-экономических характеристик для прогнозного периода с 2015 по 2050 годы.

Рассмотрены три варианта концепции исследования и освоения космического пространства, в которых рассматриваются: пилотируемая программа исследования и освоения Луны и пилотируемая программа исследования и освоения Марса. Предполагается, что каждая из программ, начавшись в рассматриваемый промежуток времени, продолжается до конца рассматриваемого периода – 2050 года. Особенности вариантов в следующем.

Вариант 1 – предполагает, что рассматриваемые программы не связаны между собой технологическими и техническими ограничениями и развиваются независимо. С 2025 года реализуются пилотируемые полеты по лунной программе, с 2035–37 года – пилотируемые полеты по марсианской программе.

Вариант 2 – предполагает, что космическая программа изучения и освоения Луны следует первой (начало пилотируемых полетов предполагалось с 2025 года), а затем следует пилотируемая марсианская программа (с 2035–2037 года), причем обе программы развиваются на единой конструктивно-технологической базе. В частности, на единой конструктивной и технологической базе с рациональной степенью унификации разрабатываются все пилотируемые и грузовые корабли, орбитальные модули и модули напланетной инфраструктуры.

Вариант 3 – предполагает, что в качестве первоочередной, с 2035 года решается задача исследования и освоения Марса, а затем с 2042 года, на разработанной технической и технологической базе, решается задача исследования и освоения Луны.

Для оценки стоимостных характеристик каждого из вариантов применен сметно-калькуляционный метод на основании экономических и технических нормативов с использованием экспертных оценок, а также индексации сложившихся затрат. В состав затрат включены затраты на разработку, изготовление, наземную и орбитальную эксплуатацию каждого элемента космической инфраструктуры.

Результаты сравнительного анализа вариантов концепций исследования и освоения Луны представлены на диаграммах на рис. 11, 12.

Как следует из приведенных диаграмм, минимум суммарных затрат достигается, если программа исследования и освоения Луны будет развиваться по второму варианту.

Объясняется это несколькими обстоятельствами. Во-первых, использование марсианского транспортного комплекса, даже в упрощенной конфигурации для лунной программы, значительно удорожает лунную программу. Во-вторых, летную отработку элементов марсианского пилотируемого комплекса, включая посадочно-взлетный корабль, корабль возвращения, модули напланетной базы, напланетные транспортные средства и т.п., возможно и рационально провести в рамках лунной программы, в противном случае последует значительное удорожание марсианской программы.

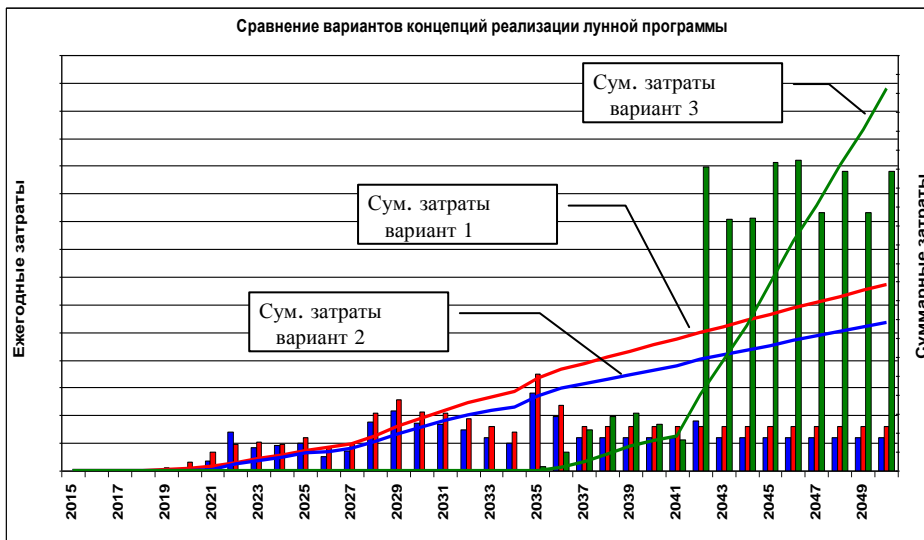


Рис. 11



Рис. 12

Сравнительный анализ рассмотренных вариантов концепций исследования и освоения космического пространства показывает, что наиболее рациональным является вариант изучения и освоения космического пространства, предполагающий изучение и освоение Луны, а затем Марса при том, что космические средства создаются с учетом взаимного влияния на единой и развивающейся конструктивно-технологической базе с рациональной степенью унификации.

Анализ технико-экономических характеристик показывает, что затраты на реализацию перспективных пилотируемых программ столь значительны, что их трудно представить без международной кооперации даже для самой экономически мощной страны.

## О СТРАТЕГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Л.М. Зеленый

Акад. РАН Л.М. Зеленый (Института космических исследований РАН)

К сожалению, отечественная космическая программа, прежде всего в части проведения научных исследований, находилась, особенно последние два десятилетия, в некоем «полуразобранном состоянии» и только сейчас наблюдаются некоторые положительные подвижки. Вместе с тем, Россия продолжает оставаться серьезной космической державой и постепенно укрепляет свои позиции в мировой космонавтике.

**Ключевые слова:** солнечная система, лунная база, «Фобос-Грунт», «Резонанс», «Венера-Д», МКС, «Марс-NET».

По количеству космических стартов Россия прочно удерживает первое место. Однако большая часть из них – это коммерческие старты или запуски для поддержания функционирования Международной космической станции.

В течение ряда последних лет всю российскую научную программу «закрывали» выполнявшиеся на спутниках Министерства обороны и американских КА Wind эксперименты Санкт-Петербургского физтеха «Конус-А» по исследованию всплесков космического гамма-излучения; наблюдения потоков античастиц с борта природоохранного аппарата «Ресурс-ДК» с помощью спектрометра «Памела»; участие наших ученых в исследованиях Луны, Марса и Венеры с европейских и американских автоматических станций и, наконец, использование 25% наблюдательного времени международной астрофизической обсерватории «Интеграл», выделенного России в уплату за выведение обсерватории в космос РН «Протон».

Лишь в 2009 году Россия впервые за многие годы запустила в космос небольшую серию вновь разработанных спутников: солнечный «Коронас-Фотон», метеорологический «Метеор-М», научно-образовательные «Университетский – Татьяна-2» и «УгатуСат». Большинство из них оказались короткоживущими. «Коронас-Фотон» стартовал 21 января, в июле-августе в его работе начались сбои, а в декабре он перестал выходить на связь. «Татьяна-2» проработала в космосе только пять месяцев.

Известные радикальные перемены в стране в 90-х годах прошлого века отодвинули и реализацию многих проектов, работы по которым были начаты еще в конце 80-х. В первую очередь это касается астрофизических обсерваторий серии «Спектр».

Но, несмотря на тяжелое экономическое положение в стране, особенно в 1990-е годы, институтам Российской академии наук и научно-исследовательским, конструкторским и промышленным организациям ракетно-космической отрасли в целом удалось сохранить накопленный в советские времена интеллектуальный, производственный и кадровый потенциал. Поэтому очень важен фактор преемственности и использования накопленного задела, хотя многие технологии потребуются существенно улучшить. Это очень сложная задача, которую нам предстоит решить, формируя программу на следующие 20 и даже 30 лет. Тем более, что другие страны в основном уже определились по своим национальным космическим программам, как пилотируемым, так и автоматическим. России только предстоит это сделать и, прежде всего, обозначить определенную нишу в планируемых исследованиях.

Несомненно, основное внимание должно быть уделено исследованиям Солнечной системы. Сейчас нет и вряд ли появятся в ближайшей перспективе явные физические идеи организации миссии к другим звездам. Тем важнее для нас понять, как образовалась Солнечная система и входящие в нее планеты, а также изучить особенности излучения Солнца во всех диапазонах и динамику истекающих из него потоков плазмы, их влияния на Землю.

Сейчас мы являемся свидетелями начала в буквальном смысле новой эпохи в исследованиях экзопланет. Американская обсерватория «Кеплер», запущенная в 2009 году, открыла уже более тысячи планетных систем у других звезд. Сравнительное изучение их характеристик позволит лучше понять, как образовалась и эволюционировала наша Солнечная система.

Как и любая планета с магнитным полем, Земля имеет свою магнитосферу – область пространства, в которой поведение плазмы определяется этим полем. Задача современных космических плазменных исследований – как можно более детально изучить взаимосвязь всех элементов магнитосферы, в том числе явлений различных масштабов, от макро- до микроуровней. Этому будет посвящен один из ближайших российских проектов – «Резонанс». По сути, он представляет собой продолжение исследований, начатых в международном проекте «Интербол», но на качественно новом уровне. Проект многоспутниковый. Две пары спутников будут выведены на специальные орбиты, двигаясь по которым, они смогут длительное время находиться в окрестности одной и той же силовой трубки магнитного поля (такие орбиты называются магнитосинхронными). Другой особенностью проекта будет размещение на спутниках сложного комплекса антенн, что позволит вести наблюдения во всем диапазоне колебаний в плазме.

Сегодня в космосе разворачивается нечто подобное космической гонке, которая имела место в 1960–70-е годы. Объектом этой гонки стала, как и в те годы, Луна. Китай уже объявил о намерении высадить на ее поверхность космонавтов. Ведутся в этом направлении работы в США, Японии. Обострившийся интерес к Луне в какой-то степени объясняется последними результатами ее исследований, выполненных, в частности, американцами с непосредственным участием российских ученых. Созданный в ИКИ РАН прибор ЛЕНД показал наличие на Луне больших запасов воды. А это уже важно в плане создания на нашем естественном спутнике каких-то обитаемых поселений.

Все, что сегодня делается в космосе, можно разделить на два основных направления: исследование (наука) и освоение. С точки зрения освоения интерес представляют лишь Луна и Марс. Пока же в ныне действующей отечественной программе присутствуют только два достаточно четко очерченных проекта лунных исследований – «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс». Последний предполагается реализовать совместно с индийскими коллегами. Как и в проекте «Луна-Глоб», основное внимание в нем будет уделяться исследованиям полярных областей Луны.

Продолжением сегодняшней лунной программы может стать использование Луны как естественного исследовательского полигона. В частности, там может быть построен автоматический радиотелескоп, состоящий из отдельных приемников низкочастотного электромагнитного излучения, равномерно распределенных по лунной поверхности.

Сегодня международным сообществом в рамках КОСПАР (Научный совет по космическим исследованиям) активно обсуждается проект международной лунной базы. Россия должна принять участие в этих работах. Конечно, есть определенные предпосылки и для освоения природных ресурсов Луны, в том числе с участием человека. Но, по-видимому, это дело будущего.



Представляется, что главный упор в планируемых на ближайшие годы российских проектах должен быть сделан на исследования, не имеющие аналогов в космических программах других стран, включая США, Европу, Японию. Так, реализация одного из приоритетных отечественных научных проектов – «Фобос-Грунт» – предусматривает перелет космического аппарата к Марсу, посадку на марсианский спутник Фобос, взятие там образца грунта и его доставку на Землю.

Считается, что спутник Марса в известной степени сохранил свойства реликтового вещества – того «строительного материала», из которого когда-то образовались Солнце и планеты. Получив протовещество Солнечной системы, ученые смогут судить о ее эволюции за все время существования. На Фобосе, после отправки грунта на Землю, останется долгоживущая станция, которая продолжит изучение марсианского спутника, мониторинг климата самого Марса и исследования около-марсианского пространства.

Несмотря на большой интерес научного сообщества к Марсу, ничего подобного российскому проекту другие страны даже не планируют.

Перед отечественными разработчиками была поставлена задача создать для реализации проекта «Фобос-Грунт» инновационный комплекс с высоким уровнем новизны его систем, приборов и научной аппаратуры. Базой для него должен был послужить унифицированный многоцелевой модуль, позволяющий решать различные фундаментальные и прикладные задачи перспективных исследований. И эта задача была выполнена. С целью большей надежности успешной реализации проекта запуск космического аппарата был перенесен с 2009 на 2011 год.

Федеральной космической программой (ФКП 2006–2015) предусмотрен также очень интересный проект «Венера-Д» (Д – означает «долгоживущий»). Речь идет о создании комплекса для детальных исследований венерианской атмосферы и самой планеты в течение достаточно длительного времени. Предполагается, что научная аппаратура посадочного аппарата будет сохранять работоспособность в условиях высоких температур и давления в течение нескольких часов, а может быть и дней. Для сравнения, посадочные аппараты предыдущих венерианских станций «жили» на Венере не более полутора часов.

Рассматривается возможность совмещения российской миссии «Венера-Д» с европейской программой исследований этой планеты. Задача совместного проекта – комплексные исследования атмосферы, облаков и взаимодействия атмосферы с поверхностью с целью лучшего понимания эволюции Венеры и ее климата и сопоставление с аналогичными процессами на Земле и других планетах.

В свою очередь, нами предложен ряд приборов для европейской миссии к Меркурию «Бепи-Коломбо». В частности, российско-японская камера для исследований тончайшей, скорее условной атмосферы (экзосферы) этой планеты в линиях натрия.

Активно обсуждается также проект посадочного аппарата для десантирования на юпитерианский спутник Европа, на котором под толстым слоем льда обнаружен океан соленой воды. Это будет вторая после Марса возможность обнаружить какую-то внеземную органику.

Россия обладает здесь определенными конкурентными преимуществами. Мы имеем хороший опыт технологий мягкой посадки, производства тяжелых ракет-носителей и в особенности двигателей для них. Неплохо развиты технологии радиоизотопных источников и электрических ракетных двигателей.

В 1970-е годы автоматическая станция «Луна-16» обеспечила первую успешную доставку на Землю лунного грунта. Сейчас, как уже упоминалось, ведется

активная работа над техникой доставки грунта с марсианского спутника Фобоса. Однако остается еще множество нерешенных проблем. Одна из них – очень высокая радиация в окрестностях Юпитера. Да и лететь до Европы далеко и долго.

С точки зрения поисков внеземной жизни достаточно привлекательным объектом Солнечной системы представляется и Марс.

Сегодня о Марсе известно довольно много. Определенную роль в этом сыграли исследования, выполненные на отечественных космических аппаратах. Достаточно удачным был проект «Фобос-2» в начале 1980-х годов. В частности, он дал очень много интересных данных о плазменной оболочке планеты.

В настоящее время активно обсуждается вопрос о пилотируемой марсианской экспедиции. Ее сторонников достаточно много, но в то же время постепенно приходит понимание того, насколько сложным, дорогостоящим и далеко небезопасным будет это мероприятие. За более чем полувековую историю космонавтики человечество научилось неплохо забрасывать грузы в космос и создавать там масштабные сооружения. К Красной планете придется отправить махину массой не менее 500 т. Для обеспечения ее перелета очевидно понадобится ядерный двигатель. Если полет на Марс выполнять на традиционных «химических» реактивных двигателях, масса собранного на околоземной орбите экспедиционного корабля была бы в разы большей.

Вместе с тем, можно привести немало примеров печальных происшествий, связанных с реализацией в прошлом как советских, так и американских ядерных программ в космосе. Их следствием стали международные договоренности о запрете запуска спутников с ядерными энергоустановками на борту. Тем не менее, в России работы по созданию ядерной энергодвигательной установки уже начались. Серьезная проблема, которую нужно будет как-то решать, связана и с радиационной обстановкой при перелете к Марсу, после посадки космонавтов на его поверхность и дальнейшего их пребывания там.

У Марса слабое магнитное поле и очень сильная эрозия атмосферы. Поэтому солнечные и галактические космические лучи практически беспрепятственно достигают поверхности планеты и выбивают из нее так называемые вторичные нейтроны. Измерения, выполненные российским прибором ХЕНД в рамках проекта «Марс-Одиссей» (НАСА), показали, что после солнечных вспышек поток нейтронов возрастает в несколько раз, и средств защиты от него нет, за исключением разве что «закопаться» на какую-то глубину под поверхностью планеты.

Эксперименты, которые ведутся последнее время в Институте медико-биологических проблем по имитации полета на Марс, можно отнести в большей степени к психологической подготовке миссии на Красную планету. Ведь воспроизвести невесомость и, самое главное, космическую радиацию в земных условиях невозможно.

Пилотируемая космонавтика испытывает сегодня кризис цели и Марс для нее – это постановка достаточно отдаленной задачи, которая обеспечит ей своеобразную поддержку, в том числе финансовую, на достаточно длительный период. В то же время, если принять сегодня марсианское пилотируемое направление как приоритетное, появится опасность, что цели достигнуть не удастся, актуальные космические исследования в интересах фундаментальной науки будут на многие годы заблокированы, а выделенные деньги бесконтрольно потеряны.

Главное сейчас – это состыковать программы освоения Марса с программой его исследований. Любой проект пилотируемой экспедиции должен предусматривать

предварительное развертывание на планете исследовательских, со временем постоянно действующих, автоматических станций.

Пока в российской программе прописано несколько «марсианских» проектов. Это «Фобос-Грунт», о котором уже говорилось, «Марс-NET» и доставка на Землю образцов грунта планеты.

Проект «Марс-NET» – это 8–10 метеостанций, рассредоточенных по поверхности Марса для проведения климатических измерений, изучения радиационной обстановки и сейсмической активности. С ЕКА ведутся переговоры по взаимному согласованию исследовательских марсианских программ, в частности объединению проектов «Марс-NET» и «Экзо-Марс».

Прибор, созданный в ИКИ РАН, выиграл конкурс на участие в проекте NASA MSL (Mars Science Laboratory) 2009 (Большой долгоживущий марсоход). Российский эксперимент «Динамическое альbedo нейтронов» позволит локально определять содержание водорода – одной из составляющих воды – в грунте, подобно тому, как это делал прибор ХЕНД, также созданный в ИКИ, с борта американской станции «Марс-Одиссей».

Исследованию Марса, безусловно, значительно поможет изучение и освоение Луны. Я полагаю, что два этих направления должны гармонично дополнять друг друга.

Луне принадлежит явный приоритет как потенциальному источнику материальных ресурсов для Земли и в возможности создания на ее поверхности долговременной базы, в том числе для контроля над различными процессами на Земле. Изучение Марса может дать ключевую информацию для понимания биосферных и климатических процессов на Земле.

Сегодня мы наблюдаем три принципиально различных сценария развития климата на планетах: два катастрофических – на Венере с ее плотной и горячей атмосферой и на Марсе, наоборот, с очень разреженной атмосферой, практически полностью потерянной, и земной – где-то посередине.

Что касается перспектив пилотируемой космонавтики, то ареной ее деятельности, по крайней мере в ближайшие годы, по-видимому, так и останутся околоземные орбиты. 12 лет назад здесь началось сооружение Международной космической станции. Ряд экспертов полагает, что сама идея ее создания носила больше политический, чем научный характер. С мая 2009 года численность экипажей МКС возросла до шести человек. Европа и Япония к настоящему времени полностью дооборудовали свои элементы станции. США планируют завершить строительство своего сегмента в 2011 году. Дооснащение российского сегмента (РС МКС) возобновилось только в 2009 году и, очевидно, будет закончено в лучшем случае лишь к 2015 году: на завершение строительства было недозаложено почти две трети необходимых средств.

Выполнение на РС МКС исследований условно можно разделить на два основных типа: направленные на развитие и совершенствование собственно космической техники и отработку технологий пилотируемых космических полетов и реализуемые в интересах фундаментальной и прикладной науки. Второе направление по объему исследований существенно уступает первому.

Ожидается, что ситуация может измениться после введения в эксплуатацию многофункционального лабораторного модуля (МЛМ). Планируется также пристыковка к станции двух научно-энергетических модулей. Для возврата с МКС результатов исследований намечено создание «грузовозвращаемого» корабля. Изучается возможность дополнительного размещения исследовательской аппара-

туры на кораблях «Прогресс»: на его внешней поверхности, в зоне стыковочного агрегата, внутри негерметичного и грузового отсеков. Однако проблемой остается дефицит времени на выполнение космонавтами научных исследований и экспериментов. В лучшем случае, за счет автоматизации ряда рутинных процедур и совершенствования стратегии обслуживания бортовых систем можно будет повысить продуктивность работы космонавтов в два-два с половиной раза, то есть увеличить время их полезной деятельности до 10–15% от полетного времени.

Вывод, который можно сделать, по-видимому несколько неожидан – очевидно, время гигантских орбитальных пилотируемых комплексов завершается. Им на смену должны прийти компактные высокоавтоматизированные станции, не требующие от космонавтов множества операций по поддержанию их нормального функционирования. Рабочее время космонавтов таких станций будет расходоваться, в основном, на выполнение целевых – научных задач.

Представляется, что одним из аспектов использования пилотируемых околоземных космических станций в будущем может стать создание технологий заключительных операций по инсталляции КА, включая процедуры сборки, развертывания элементов конструкции, выполнение комплексов электрических и радиотехнических испытаний. Это позволит снизить требования к конструкции КА за счет «комфортной» доставки отдельных блоков в космос и существенно повысить показатели надежности за счет предстартового контроля систем непосредственно на борту орбитальной станции. Если когда-то и начнет создаваться марсианский экспедиционный комплекс, то, очевидно, он будет строиться именно по такой схеме.

Развитием этой технологии может стать создание на базе пилотируемой космической станции орбитального центра обслуживания околоземных КА: выполнение их профилактического ремонта, модернизации, пополнения запасов расходимых материалов. Одной из перспективных задач для орбитальной пилотируемой станции могло бы стать и создание специальной лаборатории по стерилизации материалов, доставляемых на Землю с других объектов Солнечной системы, с промежуточным карантинном в этой лаборатории.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

А.М. Шалагин, Б.С. Долговесов, И.В. Белаго

Чл.-корр. РАН А.М. Шалагин; канд. тех. наук Б.С. Долговесов; И.В. Белаго  
(Институт автоматки и электрометрии СО РАН)

В статье представлены системы виртуальной реальности, созданные в разные годы в Институте автоматки и электрометрии СО РАН для практического применения в тренажерах ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» для подготовки космонавтов по программам ОС «Мир» и МКС. Показано перспективное направление в развитии СВР – это использование в обучающих системах технологии интегрированной виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** системы виртуальной реальности, космические тренажеры, интегрированная виртуальная реальность.

12 апреля 1961 года впервые в мире на орбиту вокруг Земли был выведен космический корабль-спутник «Восток», пилотируемый летчиком-космонавтом СССР Юрием Алексеевичем Гагариным. Это стало началом пилотируемой космонавтики. В пилотируемой космонавтике одним из основных средств подготовки космонавтов являются космические тренажеры (КТ), в структуре которых важное место занимают системы имитации внешней визуальной обстановки на всех этапах полета (выведение на орбиту, стыковка корабля с орбитальным пилотируемым комплексом, задачи орбитального полета, а также возвращение экипажа на Землю).

С развитием компьютерной графики появилась возможность замены использовавшихся ранее для тренажеров имитаторов визуальной обстановки с физическими моделями и телевизионными камерами на имитаторы с математическим моделированием визуальной обстановки. Это так называемые системы виртуальной реальности (СВР), где визуальная обстановка формируется методами компьютерного синтеза трехмерных сцен. Современные компьютерные технологии обеспечивают широкие возможности моделирования в реальном масштабе времени динамических сюжетов визуальной обстановки и универсальность тренажерных СВР. Особенно это важно при моделировании сценариев развития внештатных ситуаций, отработка выхода из которых занимает 80% от всей подготовки космонавта [1]. Появилась возможность имитировать различные состояния атмосферы, погодные явления, световые эффекты, тени и т. д.

С начала 80-х годов XX века начинается активное сотрудничество Института автоматки и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН) с Центром подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина по созданию СВР для космических тренажеров. На базе разработок института по формированию и отображению высокореалистичных виртуальных сцен в реальном масштабе времени создано несколько поколений СВР (от одноканальных до многоканальных с расширенными функциональными возможностями) для практического применения в имитационно-тренажерных комплексах ЦПК имени Ю.А. Гагарина и РКК «Энергия» имени С.П. Королёва. Системы успешно эксплуатировались при подготовке космонавтов орбитальной станции «Мир», а затем – по программе Международной космической станции (МКС). За создание систем «Аксай» и «Альбатрос» коллектив разработчиков отмечен Дипломами имени Ю.А. Гагарина.

В 1981–1985 гг. в ИАиЭ создается образец трехканальной СВР «Акса́й» для целевого использования в тренажерах Центра подготовки космонавтов. Это была первая в СССР профессиональная система для космического тренажера. Создан комплекс программных средств, поддерживающий систему от этапа создания до работы в составе тренажера ЦПК имени Ю.А. Гагарина. При создании системы «Акса́й» были учтены и рекомендации космонавтов, передавшие свой летный и космический «визуальный» опыт. Система «Акса́й» успешно эксплуатировалась при подготовке космонавтов по программе космической станции «Мир». За создание системы «Акса́й» коллектив разработчиков награжден Дипломом имени Ю.А. Гагарина.

Работы по совершенствованию СВР были продолжены. Разрабатываются новые структурные решения и алгоритмы формирования изображений, ориентированные на создание СВР с меньшими аппаратными затратами (по сравнению, например, с «Аксаем»), но с возможностью расширения по производительности и по набору функций в зависимости от решаемых задач. Эти разработки вызвали интерес в ЦПК имени Ю.А. Гагарина, где начинается процесс модернизации тренажерного парка. Визит в ИАиЭ представителей Центра – заместителя начальника управления по научно-исследовательской и испытательной работе космонавта Ю.Н. Глазкова, космонавта А.А. Леонова и командира технической части И.Н. Почкаева – подтвердил дальнейшее сотрудничество в области создания СВР для тренажерных комплексов.

Для ЦПК имени Ю.А. Гагарина в период 1986–1990 гг. на отечественной элементной базе создается ряд СВР «Альбатрос» (рис. 1), в которых использовались специализированные графические устройства. Система «Альбатрос» [2] обеспечивала выполнение таких функций, как визуализация подвижных объектов, текстурирование, имитация атмосферных эффектов и различного рода источников света.



Рис. 1. Общий вид системы «Альбатрос»



Рис. 2. Общий вид трехканальной системы «Ариус»

С появлением высокоинтегрированной элементной базы разрабатывается СВР нового поколения «Ариус» (рис. 2), где в качестве основного вычислительного ядра используются программируемые цифровые сигнальные процессоры [3].

В основу разработки этой системы положены такие принципы, как открытость архитектуры, программируемость на всех уровнях вычислений, однотипность структурных модулей, позволяющая легко изменять конфигурацию системы. На базе данной разработки создается ряд СВР с различными модификациями для решения задач специализированных тренажеров подготовки космонавтов по программе космической станции «Мир», а затем и МКС (рис. 3). Функции этих систем значительно расширены. Это имитация различных средств наблюдения с характерными для них эффектами (дисторсионные искажения, расфокусировка и т.д.), моделирование различного времени суток и состояния атмосферы. Имитация приборов наблюдения (рис. 4) – одна из функций СВР в тренажерах для подготовки экипажей к визуальной оценке различных стадий полета транспортного корабля (полет по траектории, сближение и стыковка с МКС и т.д.), а также для визуальной оценки поверхности Земли с МКС по соответствующим приборам наблюдения.



Рис. 3. Виртуальная сцена сближения транспортного корабля с МКС

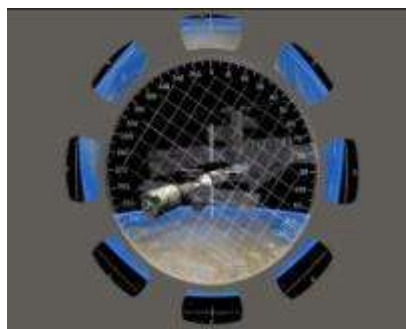


Рис. 4. Компьютерная модель прибора ВСК-4

Системы «Ариус» явились базой для перехода на стандартные графические акселераторы, что определило дальнейшее развитие и совершенствование СВР с учетом новых задач тренажерных комплексов. За счет программируемости на всех уровнях обработки данных такие системы универсальны и легко адаптируются для решения различных тренажерных задач. Это очень важно в связи с растущими требованиями к подготовке космонавтов по мере совершенствования космических транспортных кораблей и расширения функциональности МКС.

На сегодняшний день проведена модернизация СВР различных тренажеров ЦПК имени Ю.А. Гагарина. В качестве компьютерных генераторов изображений используются многопроцессорные акселераторы нового поколения, высокая производительность которых и программная реализация многих функций позволит полностью удовлетворить современные требования к функциональности и качеству визуальной обстановки в современных тренажерах.

Здесь можно отметить еще одно перспективное направление в развитии СВР – это использование в обучающих системах технологии интегрированной виртуальной реальности (ИВР). Данная технология, получившая развитие в ИАиЭ СО РАН, предполагает не только пассивную демонстрацию компьютерных моделей пространственных объектов, явлений и процессов, но и активное «присутствие» лектора (преподавателя) в предметной виртуальной среде с непосредственным взаимодействием с моделями изучаемых объектов и акцентирующего внимание

на проблемных аспектах изучаемого материала [4]. Такой подход представления учебного материала приближает процесс обучения к традиционному (присутствие преподавателя в аудитории), что является существенным фактором повышения интереса и степени усвояемости учебного материала, особенно при изучении сложных устройств, механизмов и динамики их поведения. Системы на основе ИВР могут быть использованы в учебных классах при обучении космонавтов и персонала оперативных групп. Изучение на виртуальных моделях компоновки орбитальных станций, отработка на виртуальных моделях процесса создания лабораторий в космосе, сборки сложных конструкций в космосе и т.д. – вот не полный перечень тематических примеров, которые наглядно могут быть продемонстрированы в интерактивном режиме (рис. 5).



Рис. 5. Пример использования ИВР: совмещенное изображение виртуальной модели функционально-грузового блока «Заря» МКС и лектора для наглядной интерактивной демонстрации

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.vesti.ru/doc.html?id=431125>
- [2] Долговесов Б.С. Семейство компьютерных систем визуализации «Альбатрос» // Автометрия, 1994, № 6. С. 3.
- [3] Вяткин С.И., Долговесов Б.С. и др. Архитектурные особенности системы визуализации реального времени на основе сигнальных процессоров // Автометрия, 1999, № 1. С. 110.
- [4] Долговесов Б.С. и др. 3D графика реального времени: от тренажеров до виртуальных студий // Труды 15-й Междунар. конф. по компьютерной графике и ее приложениям Графикон-2005 (Новосибирск, 20–24 июня 2005). Новосибирск, ИВММГ СО РАН, 2005. С. 44.



## ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫЕ КРИСТАЛЛЫ И ЖИДКОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В.Е. Фортов, О.Ф. Петров, В.И. Молотков, А.М. Липаев, В.Н. Наумкин,  
Г. Морфилл, Х. Томас, А.В. Ивлев, А.Г. Храпак, С.А. Храпак, М. Швабе,  
Т. Хагль, П.А. Сабуров, М.С. Кудашкина, А.И. Иванов

В.Е. Фортов, О.Ф. Петров, В.И. Молотков, А.М. Липаев, В.Н. Наумкин, А.Г. Храпак, С.А. Храпак (Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва)  
Г. Морфилл, Х. Томас, А.В. Ивлев, М. Швабе, Т. Хагль, С.А. Храпак (Институт внеземной физики Общества М. Планка, г. Гархинг, Германия)  
П.А. Сабуров (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок)  
М.С. Кудашкина (Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв)  
А.И. Иванов (Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, г. Королёв)

В статье дан краткий обзор результатов исследования физики пылевой плазмы в условиях микрогравитации с помощью уникальных установок «Плазменный кристалл-3» и «Плазменный кристалл-3 Плюс». Продемонстрирована возможность исследования явлений в сильнеидеальной трехмерной плазменно-пылевой системе на кинетическом уровне. При воздействии внешнего низкочастотного электрического поля в пылевой плазме наблюдается структурный фазовый переход от изотропной системы к электрореологической плазме, аналогичной электрореологической жидкости. Приведены сведения о переходе жидкость-кристалл в большой, содержащей более миллиона сильнозаряженных пылевых частиц, трехмерной плазменно-пылевой системе.

**Ключевые слова:** пылевая плазма, микрогравитация, плазменно-пылевая структура, фазовый переход, парная корреляционная функция, сила ионного увлечения, видеоизображение.

С середины 90-х годов наблюдается бурный рост исследований низкотемпературной плазмы с макроскопическими частицами (пылевой плазмы). Сильно возросший интерес к этой области физики плазмы вызван открытием кристаллизации в системе сильнозаряженных пылевых частиц в лабораторных условиях в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда [1], и тлеющего разряда постоянного тока [2]. Повышенный интерес к изучению пылевой плазмы связан также с широким использованием технологий плазменного напыления и травления в микроэлектронике, при производстве тонких пленок и наночастиц [3,4]. В настоящее время пылевая плазма является бурно развивающейся областью исследований, включающей в себя вопросы физики плазмы, гидродинамики, кинетики фазовых переходов, а также прикладные проблемы (плазменные технологии, создание новых материалов). Большой объем полученной к настоящему времени новой научной информации о явлениях в пылевой плазме содержится в недавних обзорах и монографиях [5–8].

Свойства пылевой плазмы значительно многообразнее свойств обычной многокомпонентной плазмы электронов и ионов. Пылевые частицы являются центрами рекомбинации плазменных электронов и ионов, а иногда и источником электронов за счет фотоэмиссии, вторичной электронной эмиссии или термоэмиссии. В силу этого пылевая компонента может существенно влиять на ионизационное равновесие. Вследствие большого заряда, который приобретают пылевые час-

тицы микронного размера в плазме, их потенциальная энергия взаимодействия велика, и неидеальность системы пылевых частиц реализуется намного легче, чем неидеальность электрон-ионной подсистемы.

Пылевая плазма является эффективным инструментом для исследования фундаментальных свойств сильнонеидеальной плазмы, что обусловлено такими особенностями, как относительная простота получения, наблюдения и управления параметрами, малые времена релаксации к равновесию и отклика на внешние возмущения. Имеется возможность проводить измерения с прямым определением функции распределения пылевых частиц по координатам и импульсам, позволяя исследовать многие процессы на кинетическом уровне, что поможет в понимании явлений в других системах, где проведение кинетических измерений невозможно.

Критическим фактором в формировании плазменно-пылевых образований в лабораторных исследованиях на Земле является гравитационная сила. В большинстве случаев в лабораторных экспериментах реально достижимы достаточно тонкие, так называемые «двух с половиной» ( $2\frac{1}{2}D$ ) мерные или просто двумерные ( $2D$ ) пылевые структуры. Это вызвано тем, что действующая на пылевую частицу сила тяжести может быть скомпенсирована только в узких областях (приэлектродный слой пространственного заряда в ВЧ разряде или страта в разряде постоянного тока) за счет большой напряженности имеющегося там электрического поля. В условиях микрогравитации для достижения левитации пылевых частиц нет необходимости в наличии сильного электрического поля. В лабораторных условиях на Земле невозможно изучение поведения массивных пылевых частиц большого размера, структур, образующихся в результате ультрафиолетового облучения и др. Поэтому сразу же после экспериментального обнаружения «плазменного кристалла» ставился вопрос о необходимости проведения исследований в условиях микрогравитации.

В ОИВТ РАН совместно с РКК «Энергия» в 1998–2000 гг. был выполнен ряд пионерских экспериментов по исследованию пылевой плазмы в условиях микрогравитации на борту орбитальной космической станции «МИР»: получены данные о пылевой плазме, индуцированной ультрафиолетовым излучением Солнца, и о пылевой плазме тлеющего разряда постоянного тока.

В Институте внеземной физики (ИВФ) Общества М. Планка (Германия) в 1997–1998 гг. выполнены эксперименты по исследованию пылевой плазмы ВЧ емкостного разряда в условиях микрогравитации при выполнении параболических полетов (ускорение  $10^{-2} g$ ) и в ходе двух ракетных экспериментов ( $10^{-6} g$  в течение 6 минут).

В начале 1998 года было принято решение о проведении совместного российско-германского эксперимента «Плазменный кристалл» на борту российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) в соответствии с Программой научных исследований Росавиакосмоса. Постановка и подготовка эксперимента осуществлялась ИТЭС РАН и ИВФ (Германия) при активном участии Ракетно-космической корпорации «Энергия».

Аппаратура «Плазменный кристалл-3» (ПК-3) состоит из экспериментального блока, размещенного внутри герметичного закрытого контейнера, компьютера «Телесайенс» с видеоманитофоном, комплекта кабелей и принадлежностей [9].

Основным элементом аппаратуры является вакуумная плазменная камера (рис. 1).

Вакуумная плазменная камера состоит из двух стальных квадратных плит и стеклянной вставки квадратного сечения. На одной из плит предусмотрен вакуум-

ный порт для подключения вакуумной системы для вакуумирования камеры, для наполнения камеры газом и для поддержания заданного давления. На каждой из плит смонтированы дисковые электроды для создания радиочастотного разряда. В каждый электрод вмонтировано по устройству для инъекции пылевых частиц в плазму. На электроды подается переменное напряжение высокой частоты (13,56 МГц). Величиной напряжения можно управлять в широких пределах и, тем самым, мощностью, вкладываемой в разряд. В ходе экспериментов напряжения, прикладываемые к ВЧ электродам, составляли от 10 до 50 В.



Рис. 1. Вакуумная плазменная камера

Для обеспечения предварительного вакуума в установке используется открытый космос. Турбомолекулярный насос обеспечивает высокий вакуум. Рабочие давления в ходе экспериментов составляли от 10 до 100 Па. Запас рабочей среды (аргона) хранится в баллоне емкостью 1 л.

Для наблюдения плазменно-пылевых структур в системе установлено две ПЗС камеры с объективами и два полупроводниковых лазера. Поле зрения одной камеры показано на рис. 1 и составляет 2,8 x 2,1 см. Поле зрения второй камеры составляет одну треть от поля зрения первой камеры и расположено в левой верхней части ее поля зрения. Лазерный луч сформирован в плоский пучок толщиной 150 мкм, высотой около 25 мм. Таким образом, полупроводниковый лазер освещает срез пылевой структуры. Второй лазер смонтирован симметрично первому на случай, если основной лазер выйдет из строя. Вся оптическая система, включая две ПЗС камеры и два полупроводниковых лазера, смонтирована на подвижной плите, которую можно перемещать вдоль оси ПЗС камер при помощи шагового двигателя, сканируя таким образом различные срезы плазменно-пылевой структуры. Если скорость сканирования достаточно низкая, а плазменно-пылевая структура стабильна, то можно восстановить трехмерную картину пылевого облака.

Управление параметрами эксперимента и регистрация видео- и цифровой информации, полученной в ходе эксперимента, обеспечивалось компьютером «Телесайенс».

Эксперименты выполнялись космонавтами в соответствии с программой экспериментов, бортовой документацией, радиограммами с Земли и переговорами с постановщиками, находившимися в Центре управления полетами (ЦУП), во

время сеансов радиосвязи. Часть экспериментов контролировалась с Земли в режиме реального времени, когда был возможен сброс видеоинформации в ЦУП.

Первые эксперименты с использованием аппаратуры ПК-3 были выполнены космонавтами С. Крикалёвым и Ю. Гидзенко 3 марта 2001 года. В период функционирования установки до 2005 года было выполнено 13 экспериментальных сессий.

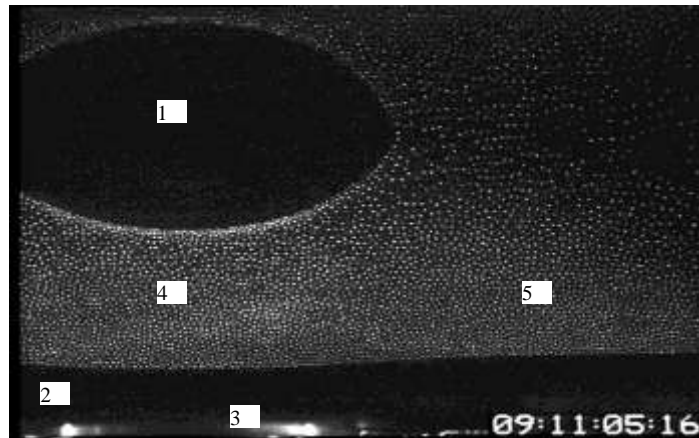


Рис. 2. Видеоизображение плазменно-пылевой структуры (частицы диаметром 6,8 мкм)

В данной статье коснемся лишь некоторых результатов экспериментов. На рис. 2 представлено видеоизображение вертикального сечения плазменно-пылевой структуры для макрочастиц диаметром 6,8 мкм. Характерной особенностью, присущей многим наблюдавшимся образованиям, является наличие войда – зоны 1 (рис. 2), свободной от отрицательно заряженных пылевых частиц, расположенной в центральной части. Размеры войда зависят от вводимой в разряд мощности, давления нейтрального газа и размера макрочастиц. Основными силами, действующими в области войда являются электростатическая сила, сила ионного увлечения (ионный дрег) и термофоретическая сила [10]. С увеличением вводимой мощности размеры войда увеличиваются, с увеличением давления также наблюдается тенденция возрастания размера войда. Другой зоной, свободной от пылевых частиц, является зона приэлектродного двойного электрического слоя 2 (рис. 2). Напряженность электрического поля в приэлектродном слое максимальна у электрода 3 (рис. 2). Начиная с некоторого значения напряженности поля, создаются условия для формирования плазменно-пылевой структуры. В условиях микрогравитации пылевые частицы заполняют весь межэлектродный плазменный промежуток, за исключением областей 1 и 2 (рис. 2). В лабораторных условиях пылевая компонента заполняет всего лишь несколько слоев вблизи нижнего электрода.

В области 4 (рис. 2) вокруг вертикальной оси плазменной камеры наблюдается формирование хорошо упорядоченной плазменно-пылевой структуры – трехмерного плазменного кристалла. В периферийной зоне 5 (рис. 2) наблюдаются вихревые движения заряженных частиц, отличающиеся от вихрей в лабораторной пылевой плазме на Земле.

В случае стабильной плазменно-пылевой структуры при определенной скорости ее сканирования возможно восстановление горизонтальных сечений пылевого облака. Рис. 3 демонстрирует результаты такого восстановления структуры трех нижних слоев в центральной части плазменно-пылевого образования. Анализ полученных сечений обнаруживает [9] наличие объемно-центрированной решетки (bcc), гранецентрированной решетки (fcc) и структуры с гексагональной плотной упаковкой (hcp). В условиях микрогравитации впервые экспериментально подтверждены теоретические расчеты и обнаружено формирование структур как с гранецентрированной (fcc), так и с объемно-центрированной (bcc) решетками.

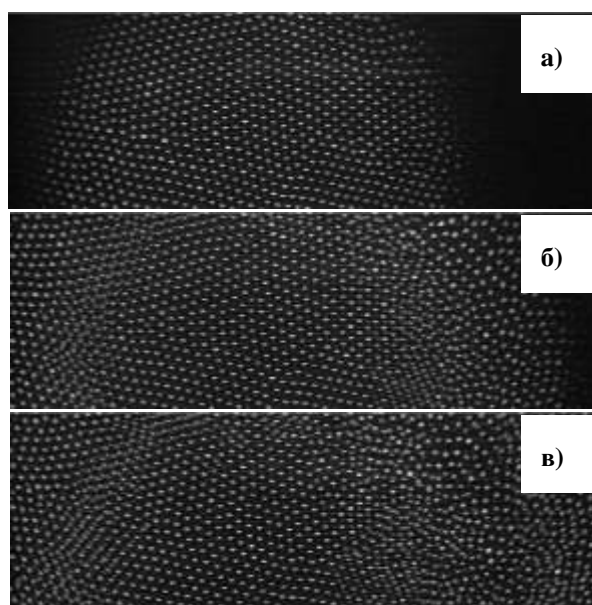


Рис. 3. Горизонтальные сечения трех нижних слоев (*a* – самый нижний слой, *б* и *в* – второй и третий слои) в центральной части плазменно-пылевого образования (частицы диаметром 6.8 мкм; давление аргона 50 Па)

Рис. 4 иллюстрирует положение частиц в указанных трех слоях в трех различных зонах. Представленные изображения получены путем последовательного наложения символов, обозначающих частицы в соответствующих слоях на плоскость рисунка (• – обозначает частицы из самого нижнего слоя, \* – частицы из следующего слоя, + – из третьего верхнего слоя). Рис. 4 демонстрирует существование структур различного типа: левый рисунок свидетельствует о наличии объемно-центрированной решетки (bcc), центральный демонстрирует гранецентрированную решетку (fcc) и правый показывает структуру с гексагональной плотной упаковкой (hcp), когда третий верхний слой повторяет самый нижний первый. Следует заметить, что ранее в лабораторных экспериментах на Земле в пылевой плазме вч разряда были обнаружены только (fcc) и (hcp) структуры, что не соответствовало расчетам методом молекулярной динамики, согласно которым в случае, когда параметр неидеальности  $\Gamma$ , равный отношению потенциальной энергии кулоновского взаимодействия между соседними частицами к их кинетической

температуре  $T$ , превышает единицу, существуют (fcc) и (bcc) плазменно-пылевые структуры. Таким образом, в условиях микрогравитации впервые экспериментально подтверждены теоретические расчеты и обнаружено формирование структур как с гранецентрированной (fcc) так и с объемно-центрированной (bcc) решетками.

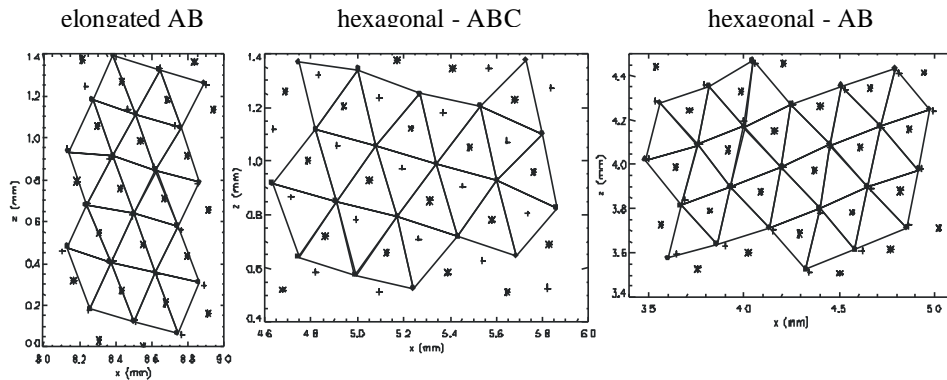


Рис. 4. Положение пылевых частиц в трех горизонтальных слоях

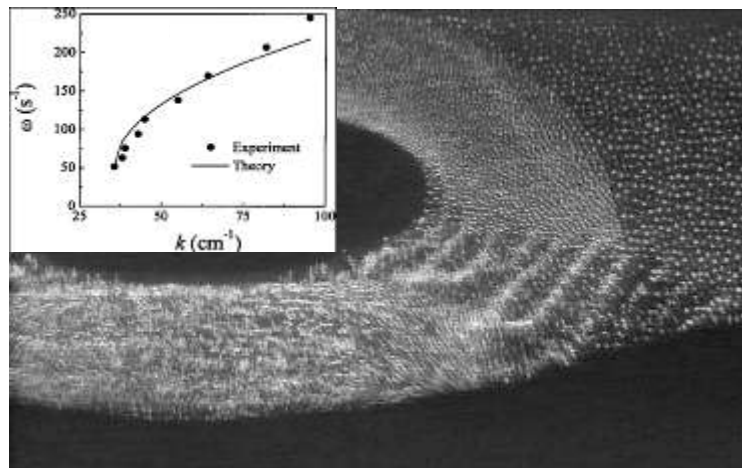


Рис. 5. Видеоизображение плазменно-пылевого образования для смеси частиц диаметром 3.4 и 6.8 мкм (давление аргона 12 Па; размер кадра 28 x 21 мм; наложенная частота 22 Гц)

Рис. 5. демонстрирует видеоизображение плазменно-пылевого образования, полученного в эксперименте с возбуждением пылеакустических колебаний. Для возбуждения волн, подаваемое на электроды плазменной камеры вч напряжение модулировалось напряжением низкой частоты, которая изменялась в диапазоне от 0.5 до 100 Гц. Варьирование частоты модулирующего напряжения позволяет получить зависимость длины волны от частоты, т.е. дисперсионную зависимость, и провести сопоставление результатов экспериментов с теорией пылезвуковых волн. Вставка на рис. 5 показывает экспериментальные значения (точки) и

теоретическую зависимость. Такие эксперименты имеют диагностическую направленность, так как согласование с теорией позволяет сделать заключение о параметрах плазменно-пылевой среды (радиус экранирования, заряд пылевой частицы). На рис. 5 приведено вертикальное сечение плазменно-пылевого образования.

На рис. 6 приведена фазовая диаграмма и нанесены экспериментальные точки для случаев, представленных на рис. 5 (кружки) и рис. 3 (треугольники).

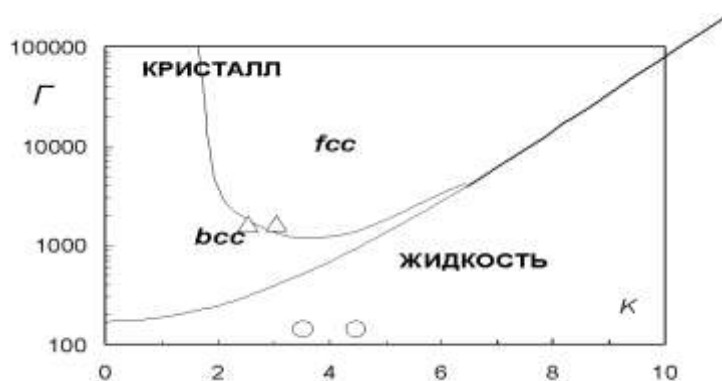


Рис. 6. Фазовая диаграмма дебаевской системы, полученная с помощью численного моделирования ( $K$  – структурный параметр (параметр решетки) – отношение межчастичного расстояния к длине экранирования [5])

Одной из основных сил, воздействующих на пылевые частицы в плазме, является сила ионного увлечения, которая обусловлена передачей импульса от движущихся ионов заряженным пылевым частицам. Эксперименты в условиях микрогравитации показали, что эта сила ответственна за формирование свободной от пылевых частиц зоны в центре плазменной камеры [10, 11]. Возникновение этой области обусловлено действием на пылевые частицы силы ионного увлечения, превышающей силу электрического поля в некоторой области вблизи центра разряда, в результате чего пылевые частицы выталкиваются из центральной зоны. Эксперименты позволили пересмотреть теоретическую модель расчета силы ионного увлечения и добиться количественного согласия с экспериментальными данными [7]. Было продемонстрировано [11], что при уменьшении концентрации ионов и электронов (уменьшение амплитуды высокочастотного напряжения), когда отношение  $F_i/F_e$  ( $F_i$  – сила ионного увлечения,  $F_e$  – электрическая сила) становится меньше единицы, пылевые частицы заполняют весь объем межэлектродного пространства плазменной камеры. В этом случае появляется возможность исследовать большие квазиизотропные плазменно-пылевые образования, что невозможно в лабораторных условиях при наличии гравитации.

Краткие итоги работы на установке ПК-3 можно сформулировать следующим образом:

– впервые получены сведения о формировании трехмерных упорядоченных структур сильнозаряженных пылевых частиц с различной степенью анизотропии. Обнаружено сосуществование структур с гранецентрированной решеткой (fcc), объемно-центрированной (bcc) и гексагональной плотной упаковкой (hcp), в частности, предсказываемая теорией bcc-фаза впервые наблюдалась экспериментально;

- продемонстрирована возможность изучения низкочастотных волн сжатия пылевой компоненты и использования возбуждаемых волн для диагностики плазмы;
- обнаружена низкочастотная неустойчивость границы плазма – пылевая плазма;
- впервые наблюдалось формирование нелинейной волны плотности пылевой компоненты;
- детальное исследование формирующейся в ряде экспериментов чисто плазменной зоны дало важную информацию о силах, действующих в пылевой плазме, что привело к пересмотру теории силы ионного увлечения;
- получены новые данные о транспортных свойствах пылевой плазмы, о коагуляции пылевых частиц, формировании пограничных зон, росте новых частиц;
- обнаружена аномальная кристаллизация трехмерной пылевой подсистемы при ступенчатом уменьшении давления.

Опыт работы на установке ПК-3 стал основой для создания установки «ПК-3 Плюс», значительно усовершенствованной [12].

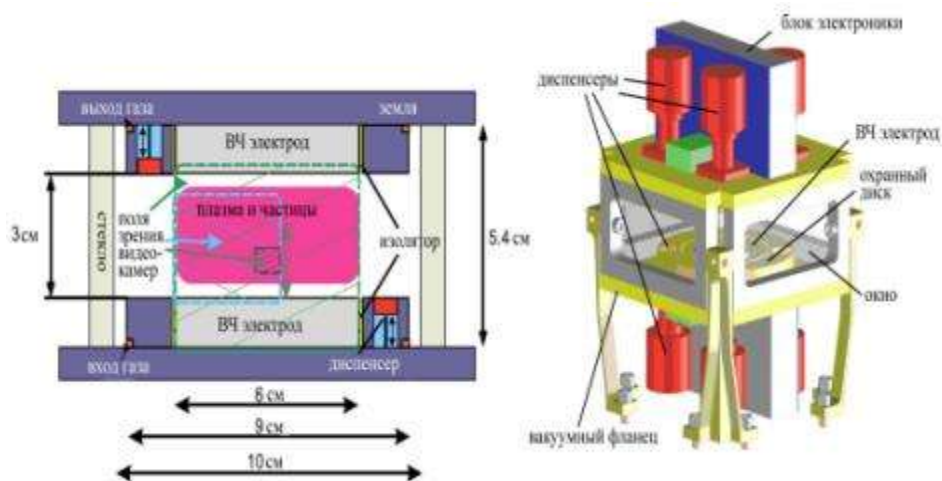


Рис. 7. Схема плазменной камеры и трехмерное изображение камеры с диспенсерами

В «ПК-3 Плюс» используется хорошо сбалансированная электродная система, обеспечивающая равномерное распределение плазмы с идентичными слоями объемного заряда на обоих электродах. Это необходимо для получения равномерного распределения микрочастиц в условиях микрогравитации. Схема плазменной камеры установки «ПК-3 Плюс» приведена на рис. 7. Плазменная камера состоит из стеклянной кюветы кубической формы с квадратным сечением. Верхний и нижний фланцы представляют собой металлические плиты. В их состав входят высокочастотные электроды, электрические и вакуумные соединения. Электроды – цилиндрические пластины из алюминия диаметром 6 см. Расстояние между электродами составляет 3 см. Электроды окружены заземленными экранами шириной 1,5 см, включая три диспенсера микрочастиц на каждой стороне.

Оптическая система регистрации пылевых частиц состоит из лазерного диода с цилиндрической оптикой для формирования лазерного «ножа», перпендику-



лярного поверхности электрода, и видеокамер, фиксирующих с различным разрешением отраженный под  $90^\circ$  свет. Камеры и лазеры смонтированы на горизонтальной подвижной плите, обеспечивающей заданную глубину сканирования пылевой плазмы.

Использование установки «ПК-3 Плюс» позволяет получить новые сведения о свойствах пылевой плазмы. Как уже отмечалось, область, свободная от микрочастиц, образующаяся в центре разряда, препятствует получению однородной и изотропной плазменно-пылевой системы. В «ПК-3 Плюс» закрытие центральной зоны возможно выполнить тремя способами: 1) уменьшением мощности высокочастотного разряда до минимально возможных значений; 2) использованием симметричного газового потока; 3) воздействием внешним низкочастотным электрическим полем. Последний способ был использован для осуществления фазового перехода от изотропной жидкостной плазменно-пылевой системы к так называемой электрореологической плазме [13].

Взаимодействие между заряженными макрочастицами в пылевой плазме, индуцированное внешним переменным электрическим полем, идентично межмолекулярному взаимодействию в электрореологических (ЭР) (дипольных) жидкостях. Реологические свойства таких жидкостей могут изменяться под воздействием внешнего электрического поля: в слабых полях они представляют собой «нормальные» жидкости, а в полях выше некоторого критического ведут себя как твердые тела или как очень вязкие жидкости. При использовании пылевой плазмы аналогичный физический процесс может быть исследован на наиболее фундаментальном – кинетическом – уровне, используя низкочастотные поля. В выполнявшихся исследованиях к электродам, находящимся под воздействием высокочастотного напряжения, было приложено синусоидальное напряжение частотой  $100 \text{ Гц}$  с амплитудой от  $13,3 \text{ В}$  до  $32,8 \text{ В}$  с шагом варьирования в  $2,2 \text{ В}$ . При малых полях заряженные пылевые частицы образуют неидеальную плазменно-пылевую систему в жидкостной фазе с ближним порядком. При возрастании поля и достижении определенного порогового значения происходит переориентация частиц, увеличивается их упорядоченность и формируются цепочечные структуры. Переход является изотропным и полностью обратимым.

Частота  $f$  внешнего переменного электрического поля, воздействующего на плазменно-пылевую систему в этих экспериментах, должна лежать в пределах:

$$f_{dust} \ll f \ll f_{ion}, \quad (1)$$

где  $f_{dust}$  – плазменно-пылевая частота,  $f_{ion}$  – ионная плазменная частота.

В этом случае ионы практически мгновенно реагируют на изменение поля, а пылевые частицы не реагируют. Как показывает анализ, заряженные пылевые частицы взаимодействуют между собой идентично взаимодействию диполей в обычных ЭР жидкостях с дипольным моментом:

$$d = 0,65 Q \lambda v_{ion} / v_{th}, \quad (2)$$

где  $Q$  – заряд частицы,  $\lambda$  – ионный дебаевский радиус,  $v_{ion}$  – скорость дрейфа в электрическом поле,  $v_{th}$  – тепловая скорость ионов.

Таким образом, можно изменять межчастичное взаимодействие, изменяя величину скорости дрейфа ионов при варьировании амплитуды внешнего низкочастотного напряжения.

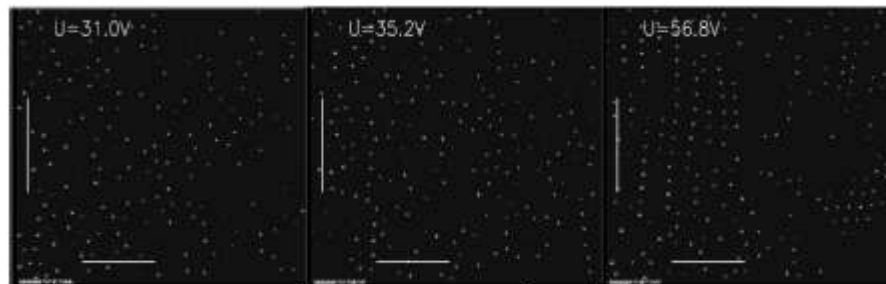


Рис. 8. Видеоизображения, полученные камерой большого увеличения в эксперименте по структурному фазовому переходу (давление аргона  $10 \text{ Па}$ ; частицы диаметром  $6,8 \text{ мкм}$ ; частота внешнего поля  $100 \text{ Гц}$ ;  $U$  – двойная амплитуда внешнего напряжения)

Рис. 8 демонстрирует результаты экспериментов по формированию ЭР плазмы, т.е. состояние, когда в плазменно-пылевой системе увеличивается упорядоченность, и формируется цепочечная структура. Эксперименты выполнялись при давлении аргона  $10 \text{ Па}$  с частицами  $6,8 \text{ мкм}$ . Параметры эксперимента:  $\lambda = 0,05 \text{ мм}$ , концентрация пылевой компоненты  $n = 3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$ , температура ионов  $T_{ion} = 0,03 \text{ эВ}$ . Частота внешнего поля составляла  $100 \text{ Гц}$ , что удовлетворяет соотношению (1). В экспериментах с частицами диаметром  $14,9 \text{ мкм}$  в соответствии с уравнением (2), поскольку возрастает заряд частиц, переход к цепочечным структурам происходит при меньшей величине внешнего напряжения.

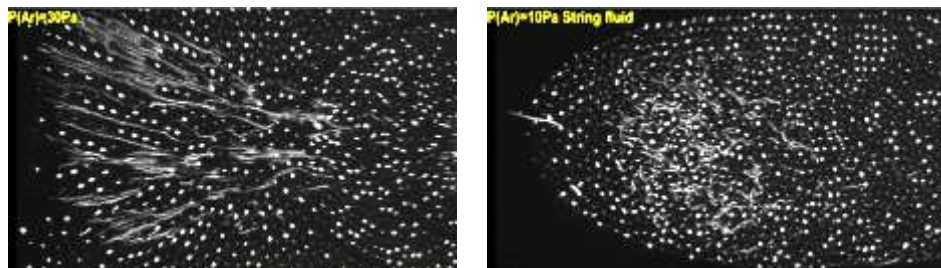


Рис. 9. Проникновение частиц диаметром  $3,4 \text{ мкм}$  в структуру из частиц диаметром  $9 \text{ мкм}$  в плазме аргона (слева – давление  $30 \text{ Па}$ , видно формирование проходов и цепочек (lane formation); справа – давление  $10 \text{ Па}$ , плазменно-пылевая система под действием низкочастотного поля, проходы и цепочки не формируются)

Другое интересное явление – взаимопроникновение двух облаков частиц различного размера. В этих экспериментах первоначально формируется структура, состоящая из частиц диаметром  $14,9$ ,  $9,19$  или  $6,8 \text{ мкм}$ . Затем в сформированную структуру с левой стороны камеры инжектируются частицы диаметром  $3,4 \text{ мкм}$ . Здесь используется удачное расположение диспенсера с частицами  $3,4 \text{ мкм}$ : ось диспенсера находится в плоскости, освещаемой лазерным ножом. Частицы  $3,4 \text{ мкм}$  проникают в стабильную структуру больших частиц и движутся к центру плазменной камеры. Во внешней зоне, когда скорость проникающих частиц достаточно велика, наблюдается формирование проходов и цепочек (lane formation). Рис. 9 (левый) иллюстрирует это явление. Демонстрируемый кадр по-

лучен суперпозицией последовательных изображений: малые частицы идентифицируются в виде длинных треков, большие частицы отображаются как точки. Ясно видно, что проникновение малых частиц ведет к формированию цепочек. Большие частицы также структурируются в цепочки и образуют проходы. Формирование таких структур наблюдается в природе, когда два потока частиц движутся навстречу друг другу под действием некоторой силы. Наблюдаемое явление представляет собой неравновесный переход, зависит от особенностей и динамики взаимодействия частиц и представляет интерес для различных областей физики. В случае экспериментов с пылевой плазмой в условиях микрогравитации возможно разрешить движение отдельной частицы и исследовать динамику перехода. Были выполнены также эксперименты для случая, когда плазменно-пылевая система из больших частиц находилась в состоянии электрореологической плазмы под воздействием низкочастотного электрического поля частотой 255 Гц.

Рис. 9 (правый), полученный также суперпозицией последовательных изображений, демонстрирует, что при этих условиях отмеченного выше перехода не наблюдается. По-видимому, причиной такого поведения двух потоков (бинарной пылевой плазмы) является более сильное межчастичное взаимодействие.

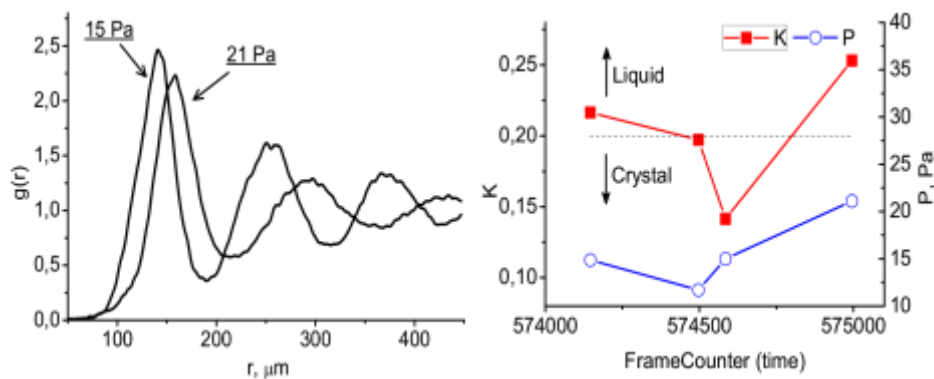


Рис. 10. Слева – парные корреляционные функции; справа – изменение параметра  $K$  и давления со временем. Эксперимент без воздействия внешнего поля

Экспериментальная установка «ПК-3 Плюс» позволяет провести исследование перехода жидкость–кристалл в большой (более миллиона сильнозаряженных пылевых частиц) трехмерной плазменно-пылевой системе. В этом эксперименте первоначально формировалась структура из частиц диаметром 1,55 мкм при давлении аргона 30 Па. Затем давление уменьшалось до 10 Па и далее увеличивалось до 22 Па. Время цикла составляло 5 минут. В повторном аналогичном цикле изменения давления проводилось сканирование пылевой структуры на глубину 4,8 мм при скорости перемещения платформы с камерами 0,6 мм/с. Помимо этого два других цикла изменения давления были выполнены при наложении внешнего низкочастотного поля частотой 255 Гц и амплитудой 19,8 В. Был выполнен анализ степени упорядоченности плазменно-пылевой системы с помощью парной корреляционной функции  $g(r)$ . На рис. 10 (левый) в качестве примера приведены функции  $g(r)$  для двух значений давления. Рис. 10 (правый) демонстрирует изменение параметра  $K = g_{min}/g_{max}$ , где  $g_{min}$  – первый минимум  $g(r)$  и  $g_{max}$  – первый максимум  $g(r)$ , от давления. Как известно, параметр  $K$  является одной из характеристик сте-

пени упорядоченности и в диапазоне  $K$ , равном 0,2, существует граница кристаллического и жидкостного состояний. Значения  $K$ , полученные в данном эксперименте (рис. 10), свидетельствуют о наблюдении перехода от плазменного кристалла к плазменной жидкости. Из полученных данных следует, что при снижении давления до  $10 \text{ Па}$  плазменно-пылевая система кристаллизуется. После кристаллизации давление увеличивалось до  $22 \text{ Па}$ . При повышении давления наблюдается плавление плазменно-пылевой системы. Наблюдаемое поведение большой трехмерной плазменно-пылевой системы противоположно поведению двумерной плазменно-пылевой системы [14].

Следует отметить, что аналогичное изменение степени упорядоченности наблюдается и в случае воздействия внешнего низкочастотного (НЧ) поля. Значения межчастичного расстояния и плотности пылевой компоненты соответствуют эксперименту без воздействия внешнего поля. На рис. 11 в качестве иллюстрации приведены видеоизображения пылевых структур при различном давлении аргона.

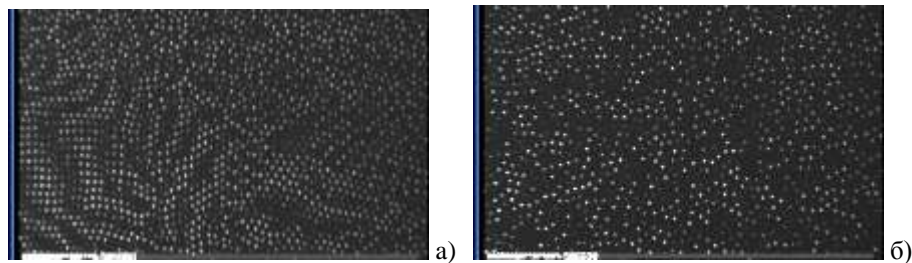


Рис 11. Видеоизображения, иллюстрирующие плавление плазменного кристалла с ростом давления при наложенном внешнем НЧ поле (частицы диаметром  $1,55 \text{ мкм}$ )  
а) давление аргона  $11,3 \text{ Па}$ ; б) давление аргона  $21 \text{ Па}$

В заключение отметим, что в данной статье кратко отражены лишь некоторые результаты исследования физики пылевой плазмы в условиях микрогравитации. Эксперименты на уникальной установке «ПК-3 Плюс» продолжаются по следующим направлениям: упорядоченные структуры в трехмерной пылевой плазме в слабом электрическом поле; поиск фазовых переходов кристалл – жидкость – газ в трехмерной изотропной плазменно-пылевой системе; структурные фазовые переходы в трехмерной пылевой плазме при внешних воздействиях; линейные и нелинейные волны в трехмерной пылевой плазме, в том числе ударные волны; плазменно-пылевые неустойчивости.

С 2001 по 2010 год в проведении экспериментов «Плазменный кристалл» на борту МКС участвовали космонавты: С.К. Крикалёв, Ю.П. Гидзенко, У. Шеперд, Ю.М. Батулин, Т.А. Мусабаев, Ю.И. Усачев, М.В. Тюрин, В.Н. Дежуров, Ю.И. Онуфриенко, К. Энъере, К.М. Козеев, С.Е. Трещев, В.Г. Корзун, Н.М. Бударин, Ю.И. Маленченко, А.Ю. Калери, Г.И. Падалка, С.Ш. Шарипов, В.И. Токарев, П.В. Виноградов, Т. Райгер, Ф.Н. Юрчихин, О.В. Котов, С.А. Волков, О.В. Кононенко, Ю.В. Лончаков, А.А. Скворцов. Авторы статьи выражают им глубокую благодарность за безукоризненно выполненную работу.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Thomas, G. E. Morfill, V. Demmel et al, Phys. Rev. Lett. 73, 652 (1994).  
[2] А.М. Липаев, В.И. Молотков, А.П. Нефедов, и др., ЖЭТФ 112, 2030 (1997).

- [3] G.S. Selwyn, in *The Physics of Dusty Plasmas*, ed. by P.K. Shukla, D.A. Mendis, and V.W. Chow, World Scientific, Singapore (1996), p. 177.
- [4] A. Bouchoule and L. Boufendi, *Plasma Sources Sci. Technol.* 3, 292 (1994).
- [5] В.Е. Фортов и др. *Успехи Физических Наук*, 174, № 5, 495 (2004).
- [6] О.С. Ваулина, О.Ф. Петров, В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, С.А. Храпак, *Пылевая плазма: эксперимент и теория*. М: Физматлит, (2009), 316 с.
- [7] *Complex and Dusty Plasmas: From Laboratory to Space* / Edit. by Fortov V.E. and Morfill G.E. Publisher: CRC Press, (2009), 418 pp.
- [8] V.E. Fortov et. al. *Physics reports-review section of physics letters*, 421 (2005).
- [9] A.P. Nefedov et. al. *New journal of physics*, 5, 33 (2003).
- [10] M. Kretschmer et. al. *Physical Review E*, 71, 056401 (2005).
- [11] A.M. Lipaev et. al. *Physical review letters*, 98, 265006 (2007).
- [12] H.M. Thomas et. al. *New journal of physics*, 10, 033036 (2008).
- [13] A.V. Ivlev et. al. *Physical review letters*, 100, 095003 (2008).
- [14] H.M. Thomas, G.E. Morfill, *Nature*, 379, 806, (1996).

## ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

Б.И. Крючков, И.Г. Сохин

Докт. техн. наук, профессор Б.И. Крючков; канд. техн. наук, доцент И.Г. Сохин (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматривается эволюция научно-методической базы (НМБ) подготовки космонавтов. Научно обоснованный анализ этапов становления и тенденций развития научно-методической базы подготовки космонавтов представляет интерес для прогнозирования облика комплекса подготовки космонавтов для перспективных космических полетов.

**Ключевые слова:** научно-методическая база, подготовка космонавтов, информационная сложность деятельности космонавтов, компетентность.

Среди основных составных частей комплекса подготовки и реабилитации космонавтов (КПРК), таких, как отряд космонавтов, персонал, технические и учебные средства подготовки, особое место занимает научно-методическая база (НМБ) подготовки космонавтов. НМБ подготовки космонавтов представляет собой совокупность теоретических положений и практических рекомендаций, полученных в результате научных исследований и эмпирического опыта решения проблем подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов. Элементами НМБ подготовки космонавтов являются общие идеи, принципы и положения, понятийный аппарат, методы и методики решения задач, показатели и критерии оценки качества деятельности космонавтов и качества их подготовленности. В ходе эволюции КПРК ее НМБ совершенствуется и в своем развитии проходит ряд уровней. Каждый последующий уровень НМБ определяется освоенными инновационными технологиями подготовки, приводящими к количественному и качественному скачку в развитии производительных сил КПРК. От уровня развития НМБ зависит то, какие задачи могут быть решены комплексом подготовки космонавтов, и какое качество их подготовленности может быть гарантировано. Поэтому НМБ подготовки космонавтов является главным информационным ресурсом, определяющим эффективность функционирования КПРК. Для прогнозирования облика комплекса подготовки космонавтов для перспективных космических полетов представляет интерес научно обоснованный анализ этапов становления и тенденций развития научно-методической базы подготовки космонавтов. Следует отметить, что этапы становления НМБ КПРК совпадают с этапами формирования научной школы подготовки космонавтов.

Создание и становление НМБ подготовки космонавтов неразрывно связаны с Центром подготовки космонавтов, носящим имя Ю.А. Гагарина. Системный характер научных исследований при решении актуальных проблем и задач подготовки космонавтов обуславливал необходимость коллективного творческого труда ученых, инструкторско-преподавательского состава, медицинского персонала, других категорий сотрудников Центра и смежных организаций. В создании каждого из направлений научно-методической базы подготовки космонавтов принимали участие наиболее авторитетные и квалифицированные специалисты Центра и других научно-исследовательских организаций. Под их руководством формировался творческий коллектив, создавались исследовательская, лабораторная, экс-

периментальная и испытательная базы, проводились исследования, осуществлялась реализация их результатов.

Рассматривая ретроспективно развитие Центра, нужно отметить, что создание НМБ подготовки космонавтов шло поэтапно, с охватом все новых типов ПКА, расширением перечня учитываемых факторов в ответ на требования практики выполнения пилотируемых космических полетов. На каждом новом этапе развития пилотируемой космонавтики практика выдвигала проблемы и вопросы, которые являлись главным стимулом для совершенствования НМБ подготовки космонавтов. НМБ КПК со временем приобретала все новые качества, связанные с возрастанием активной роли космонавта на борту космических аппаратов.

Этапы формирования НМБ комплекса подготовки космонавтов определялись потребностями пилотируемых космических программ. Каждое новое поколение ПКА выдвигало новые требования к деятельности экипажей, требовало разработки новых методик, с помощью которых можно было бы решать новые задачи отбора, подготовки и послеполетной реабилитации космонавтов. При этом необходимо было учитывать новые усложненные возможности ПКА, решать задачи по формированию облика тренажеров для подготовки экипажей ПКА, искать наиболее эффективные способы тренировок космонавтов на тренажерах, методы медико-биологической подготовки и многое другое. Поэтому в качестве основания для классификации этапов формирования НМБ КПК будем рассматривать революционное изменение ее научно-методической базы, обусловленное принципиальным усложнением деятельности экипажей ПКА при реализации пилотируемых космических программ.

Главной тенденцией развития пилотируемых космических программ являлось увеличение продолжительности космических полетов. С увеличением продолжительности космических полетов усложнялась деятельность экипажей ПКА как по количеству выполняемых функций, так и по их сложности. На рисунке 1 представлен график роста продолжительности космических полетов космонавтов по мере развития космической техники. Революционное увеличение длительности космических полетов обусловлено началом пилотируемых полетов на орбитальных станциях «Салют» в 1971 году, «Салют-6» в 1977 году, «Салют-7» в 1982 году, «Мир» в 1986 году, МКС в 2000 году.



Рис. 1. Увеличение длительности космических полетов по годам

С увеличением продолжительности космических полетов происходило усложнение деятельности космонавтов. Усложнение деятельности экипажей ПКА связано с экспоненциальным увеличением количества информации, которую должен обрабатывать экипаж при управлении ПКА. На рисунке 2 представлен график динамики роста количества информации, обрабатываемой совместно экипажем, бортовым комплексом ПКА и наземным контуром управления при реализации программ космических полетов.

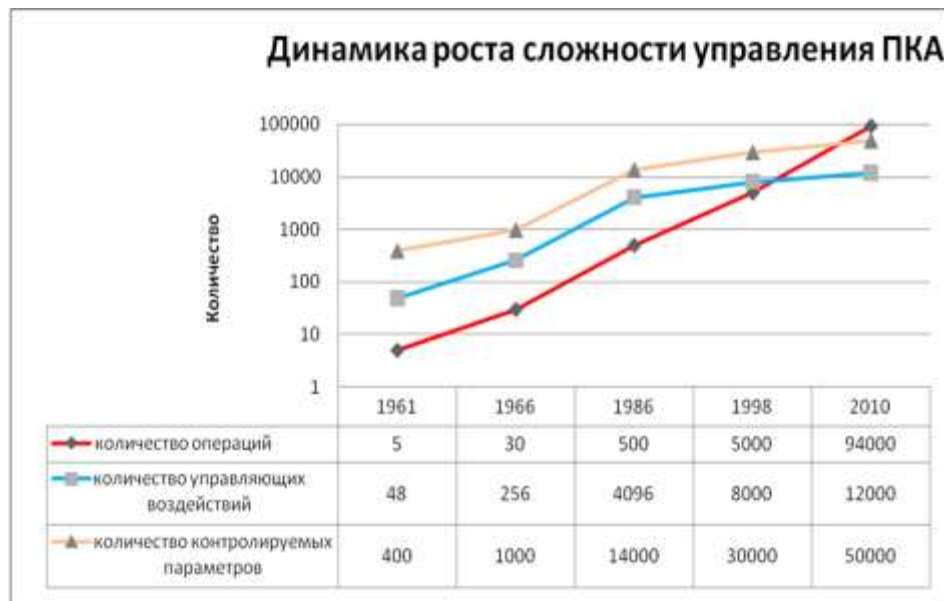


Рис. 2. Динамика роста информационной сложности управления ПКА

Поэтому в качестве объективных критериев сложности деятельности космонавтов примем увеличение продолжительности космических полетов и усложнение космической техники (предполагается, что при этом увеличивается номенклатура функций членов экипажа ПКА и их информационная сложность). Поскольку от года к году космическая техника постоянно усложняется, то индикатором сложности деятельности космонавтов следует считать продолжительность программы космического полета в привязке к определенному году. Таким образом, отложив по оси абсцисс годы начала эксплуатации образцов ПКА, а по оси ординат – среднюю продолжительность космических полетов, можно выделить три характерных этапа развития НМШ СПК.

Первый этап – 1961–1971 годы – связан с автономными полетами на транспортных кораблях типа «Восток», «Восход» и первых «Союзах» продолжительностью до четырех суток.

Второй этап – 1971–1976 годы – связан с полетами на станциях «Салют» – «Салют-5» продолжительностью до 60 суток.

Третий этап – начиная с 1977 года по настоящее время – связан с длительными полетами на долговременных станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир», «МКС» продолжительностью в среднем около 200 суток. На этом этапе появляется



новый транспортный корабль типа «Союз-Т» (1980 год), управляемый бортовым цифровым компьютером, что привело к принципиальному изменению технологии подготовки его экипажей.

Рассмотрим особенности научно-методической базы КПК, используемой на каждом из указанных этапов.

На первом этапе необходимо было сформировать фундамент научно-методической базы подготовки космонавтов. В его создании участвовали специалисты ВВС, пришедшие в Центр из научно-исследовательских и испытательных учреждений, прежде всего ГК НИИ ВВС, академий (ВВИА, ВВА) и медслужбы ВВС. На этом этапе функции космонавта в управлении космическим кораблем, особенно «Востоком» и «Восходом», были ограничены. Поэтому в подготовке космонавтов вначале преобладали медицинские аспекты. Лишь с появлением в 1967 году корабля «Союз», обеспечивающего большие возможности управления со стороны экипажа, получили развитие инженерно-технические аспекты подготовки космонавтов. Техническая и тренажерная подготовка космонавтов была направлена на формирование устойчивых навыков управления кораблем и формировалась путем многократных повторений ограниченного множества полетных операций на тренажерах.

Второй этап развития НМБ КПК связан с полетами на орбитальных станциях, начиная с первой станции «Салют» и вплоть до «Салют-5» включительно. На этом этапе вместе с повышением сложности деятельности экипажей ПКА существенно возросли требования к инженерно-технической подготовке космонавтов. Экипажи, состоящие из двух космонавтов, должны были освоить управление не только транспортным кораблем «Союз», но и станцией «Салют». Появились новые сложные функции экипажа, связанные с длительными полетами на борту станции. Программы наземной подготовки космонавтов к космическим полетам на этом этапе стали более сложными. Потребовалась диверсификация видов подготовки и их интеграция в единой программе. Научно-методическая база системы подготовки космонавтов получила дальнейшее развитие за счет обобщения большого опыта подготовки и выполнения космических полетов. Однако и на этом этапе для формирования готовности космонавтов к выполнению полетных операций и действиям в нештатных ситуациях преобладали методы «натаскивания» по схеме «стимул-реакция».

Третий этап становления НМБ КПК связан с усложнением деятельности космонавтов при выполнении длительных полетов на долговременных станциях второго поколения («Салют-6», «Салют-7») и третьего поколения (многомодульных станций «Мир», «МКС»). На этом этапе претерпела существенное изменение концепция построения бортового комплекса управления ПКА, что особенно четко прослеживается на примере транспортного корабля «Союз-Т». Если раньше построение систем управления «Союзами» и «Салютами» осуществлялось на базе аналоговой техники, то в БКУ «Союз-Т» впервые появляется БЦВМ, т.е. происходит переход к дискретным системам управления. При этом вместе с существенным расширением функций БКУ резко возросли обрабатываемые потоки информации. Одновременно с усложнением транспортных кораблей и орбитальных станций резко возросла продолжительность космических полетов, которая составила в среднем 200 суток. При этом многократно возросли нагрузки на членов экипажей – физические, эмоциональные, информационные. Все это потребовало дальнейшего развития научно-методической базы подготовки космонавтов к космическому полету и их послеполетной реабилитации.

Одной из главных проблем, которые решались и продолжают решаться на этом этапе, является информационная проблема. Она связана с экспоненциальным ростом количества информации, которую должны обрабатывать космонавты в космическом полете (см. рис. 2).

При управлении современными ПКА, являющимися сложными системами с многоэлементной и многоуровневой структурой и множественными связями между элементами, космонавтам приходится сталкиваться с практически бесконечным множеством возможных состояний управляемого ПКА. При этом большую часть множества возможных состояний ПКА составляет множество его нештатных состояний, каждое из которых требует определенной реакции со стороны экипажа. Объемы информации настолько велики, что освоить их в полном объеме по схеме «ситуация-действие», как это происходило на ранних этапах становления НМБ, практически невозможно. Используемые методы «натаскивания», основанные на формировании навыков, становятся неэффективными. Уже сегодня для обеспечения заданного уровня надежности и безопасности космических полетов от космонавта требуется способность действовать в условиях высокой неопределенности информации. В перспективных космических программах, связанных с освоением планет солнечной системы, уровень неопределенности информации станет еще выше. Потребуются новые эффективные методы управления подготовкой космонавтов, отвечающие возросшим требованиям. Этот вывод распространяется как на теоретическую, так и на практическую подготовку. Повидимому, следующий этап формирования НМБ КПК уже в ближайшей перспективе будет связан с решением именно этой актуальной проблемы.

Можно предположить, что следующий, четвертый этап формирования НМБ КПК будет связан с компетентностным подходом к подготовке космонавтов. Концепция компетентностного подхода (в англоязычной среде называемой СВТ – competence based training) рассматривается как новая парадигма в системе профессионального образования и обучения. На предыдущих этапах цели подготовки космонавтов определялись набором знаний, умений, навыков, которыми должен владеть космонавт, готовящийся к космическому полету. Сегодня такой подход в силу резкого увеличения информационной сложности деятельности экипажей ПКА оказался недостаточным. Компетентностный подход означает постепенную переориентацию доминирующей образовательной парадигмы с преимущественной трансляцией знаний, формированием навыков и умений на создание условий для овладения учащимися комплексом компетенций, означающих потенциал, способности выпускника к деятельности в условиях изменяющегося мира. Сущность компетентностного подхода предполагает, в первую очередь, изменение формулировки целей обучения, представление их и ожидаемых результатов обучения в виде совокупности компетенций, отражающих разные уровни сложности профессиональных задач [4]. Компетенции стали рассматриваться как *интегрированные* возможности, необходимые для решения сложных задач. Понятия компетенция и компетентность стали системными и многокомпонентными. Эти понятия значительно шире понятий *знания, умения, навыки*, так как включают направленности личности, ее способности преодолевать стереотипы, чувствовать проблемы, проявлять проницательность, гибкость мышления, характер.

Слово *competentia* в латинско-русском словаре переводится как *согласованность частей, соразмерность*, а слово *compeo* означает *добиваться, стремиться, соответствовать, быть годным, способным*. *Способность* – это владение человеком способами неизменно достигать значимых результатов в какой-то дея-

тельности. Под *способом* здесь понимается некое знание о том, как достичь нужного результата, некая схема, позволяющая достичь его разными путями.

В соответствии с этими определениями под компетенцией следует понимать соответствие (соразмерность) определенных характеристик человека системным требованиям определенной деятельности, а под компетентностью – фактическое достижение этих требований в практической деятельности, т.е. обладание соответствующими компетенциями. Компетентность характеризует меру соответствия имеющихся способностей человека реальному уровню сложности выполняемых задач.

Наиболее лаконичным является определение компетентности, приведенное в международных стандартах качества ИСО 9000. Компетентность – выраженная способность применять свои знания и умения [5]. Однако в данном определении отсутствует свойство интегральности компетентности, способность не связана ни с условиями, ни с целями деятельности. Компетентность же всегда предметна. Не может отдельно взятый человек быть компетентным сам по себе, он всегда компетентен относительно конкретной системы с ее требованиями.

В настоящее время во всем мире область применимости компетентностного подхода существенно расширилась. Однако в настоящее время остается нерешенной проблема количественной оценки меры компетентности. Предлагается информационный подход к решению этой проблемы. С позиций современного подхода теории сложных систем и динамической теории информации [6,7], компетентность должна рассматриваться как некое макросостояние космонавта, сформированное в процессе его обучения деятельности. В процессе обучения происходит обработка и упорядочение большого объема микроинформации, поступающей извне в виде отдельных сигналов (порций информации). Эволюция состояния компетентности космонавта есть процесс самоорганизации его личности под воздействием структурированных обучающих воздействий последовательно возрастающей сложности. Состояние компетентности космонавта определяется его предельными возможностями адекватно действовать в экстремальных ситуациях. Поэтому для ее характеристики должен использоваться диапазон сложности задач, которые человек способен решать устойчиво.

В нашем исследовании мы будем отождествлять понятия компетентность и подготовленность космонавта. Согласно Руководству по подготовке космонавтов [8] профессиональная подготовленность космонавта – это свойство космонавта, определяемое совокупностью его знаний, навыков, умений, а также состоянием психических и психофизиологических функций, которые обуславливают его способность осуществлять космический полет с требуемым качеством. Данное определение подготовленности космонавта, хотя и отражает в целом смысловое содержание данного понятия, обладает несколькими недостатками по сравнению с понятием компетентности. Во-первых, оно не отражает в явном виде интегрирующий характер состояния подготовленности космонавта. Во-вторых, состояние подготовленности не связано с условиями деятельности космонавта. Предполагается, что подготовленный космонавт должен выполнить космический полет в любых возможных условиях сложности задач, что, по сути, является невозможным. В-третьих, не выдвигается требование, чтобы способность осуществлять космический полет была актуализирована, т.е. проявлена в ходе подготовки. С учетом этих замечаний будем придерживаться точки зрения, что компетентность есть актуализированная интегральная характеристика подготовленности космонавта (экипажа ПКО) к деятельности в конкретных условиях, а компетенция является ее

структурным элементом. Мы будем рассматривать профессиональную компетентность как совокупность различных компетенций.

Под *компетентностью* будем понимать интегральное состояние подготовленности космонавта (экипажа ПКА), упорядоченное в результате обучения и тренировок и характеризующее его проявленную способность выполнять деятельность с требуемым качеством в конкретных условиях. В такой интерпретации понятие профессиональная компетентность оказывается связанным с условиями и результатами деятельности. Структуру компетентности составляют отдельные операторские компетенции космонавтов, общие для различных видов деятельности в системе «ЦУП-экипаж-ПКА». В общем случае в роли компетенций космонавтов могут рассматриваться освоенные способы выполнения основных операторских функций, таких как контроль и оценка состояния ПКА, прогноз развития событий, принятие решений, планирование действий, исполнение плана, внутригрупповое взаимодействие и т.п. В зависимости от конкретного содержания предметной деятельности эти основные операторские компетенции могут уточняться и детализироваться.

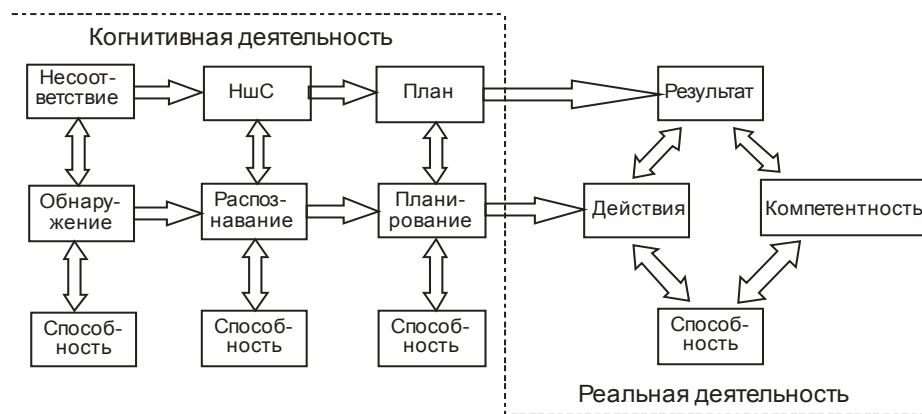


Рис. 3. Динамическая структура компетентности космонавта, выполняющего деятельность в нештатных ситуациях

На рисунке 3 представлен пример динамической структуры компетентности отдельного космонавта, спроецированной на его деятельность в нештатных ситуациях, возникающих в системе «ЦУП-экипаж-ПКА».

В представленной схеме компетентность космонавта складывается из совокупности его компетенций, которыми в данном случае являются его актуализированные функции:

- 1) обнаружения нештатных ситуаций;
- 2) их распознавания;
- 3) планирования действий по выходу из нештатной ситуации;
- 4) выполнения действий по выходу из нештатной ситуации.

Следует отметить, что отдельные компетенции и компетентность космонавта в целом характеризуют меру соответствия имеющихся способностей человека реальному уровню сложности выполняемых задач. Количественной мерой сложности деятельности космонавтов может служить неопределенность нештатных

ситуаций (их информационная тара). Иначе говоря, уровень компетентности космонавта определяется уровнем сложности задач, которые космонавт способен успешно выполнить. Поэтому для того, чтобы оценить реальное состояние компетентности космонавта, необходимо, во-первых, смоделировать задание определенного уровня сложности и, во-вторых, оценить результат деятельности космонавта на соответствие системным требованиям (оценивается верхняя ветвь схемы – преобразование возникшего несоответствия состояния системы «ЦУП-экипаж-ПКА» в конечный результат). При успешном результате компетентность космонавта, по крайней мере, не ниже тестируемого уровня. Состояние компетентности космонавта характеризуется количеством ценной информации, которой он владеет в данный момент, т.е. количеством и качеством освоенных способов деятельности. Количественно состояние компетентности космонавта может оцениваться величиной неопределенности нештатных ситуаций, завершившихся благоприятным исходом. Такова в общих чертах концептуальная схема формализации понятия компетентности.

В качестве иллюстрации к сказанному можно привести пример из практики подготовки космонавтов к космическому полету. Для подготовки к выполнению экспериментального полета к некооперируемой орбитальной станции «Салют-6» были назначены два экипажа, члены которых были опытными космонавтами и обладали высоким уровнем профессиональной подготовленности. Данный режим полета характеризовался высокой неопределенностью условий, в которых экипажу транспортного корабля «Союз» предстояло выполнить сложные операции ручного сближения и причаливания к орбитальной станции, контроль над которой был потерян. Оба экипажа выполняли данный режим по одной и той же методике, и для оценки качества подготовленности экипажей использовались одни и те же критерии, основанные на внешних характеристиках режима. По окончании подготовки оба экипажа успешно выполняли все предъявленные режимы в соответствии с заданными системными критериями. Соответственно и уровни их подготовленности следовало считать одинаковыми. Однако специалистами было замечено, что один экипаж выполняет режим легко, с некоторым «запасом прочности». Другой экипаж – напротив, работает на пределе своих возможностей и при усложнении условий полета может не справиться с выполнением режима. То есть по неформальным экспертным оценкам подготовленность первого экипажа была выше. Несогласованность формальных и экспертных оценок явилась результатом недостатков традиционного подхода к оцениванию деятельности космонавтов, основанного исключительно на внешних результатах деятельности и игнорирующего сложность условий деятельности. Компетентностный подход лишен этого недостатка, поскольку по определению состояние подготовленности космонавта характеризуется диапазоном условий деятельности, в которых космонавт работает устойчиво. Очевидно, что у первого экипажа диапазон сложности условий полета, в которых он работал устойчиво, был шире. В рамках компетентностного подхода имелась возможность (упущенная при традиционном подходе) оценить диапазоны устойчивой работы для каждого экипажа.

Неоспоримым преимуществом компетентностного подхода, основанного на формализации понятия компетентности и количественном измерении состояний компетентности космонавтов, является прозрачность и управляемость процессов подготовки космонавтов. Один из постулатов теории менеджмента гласит: «управлять можно тем, что можно измерить». Для управления процессами подготовки космонавтов необходимо уметь измерять состояния их компетентности.

При этом показатели состояний компетентности должны быть чувствительны к управляемым параметрам, в качестве которых на тренажерной подготовке рассматриваются моделируемые условия деятельности космонавтов на тренажерах. Математическая формализация понятия компетентности позволяет получать количественные оценки состояний подготовленности космонавтов, чувствительные как к результатам, так и к условиям их деятельности. В отличие от традиционного подхода, основанного на оценивании только внешних характеристик деятельности космонавтов, компетентностный подход к управлению процессами подготовки является действительно измеримым и целенаправленным.

В заключении следует отметить, что развитие методологии компетентностного подхода применительно ко всем видам и разделам подготовки космонавтов позволит сформировать единое интегрированное информационно-управляющее пространство КПК. В этом пространстве каждый вид (раздел) подготовки представляет частные оценки отдельных профессиональных компетенций космонавтов. Частные оценки могут интегрироваться по всему спектру профессиональных компетенций, необходимых для выполнения всех задач программы космического полета, и представлять состояние компетентности конкретного космонавта (или экипажа). Таким образом, дальнейшее развитие НМБ КПК на основе компетентностного подхода может обеспечить переход от решения разрозненных, автономных, частных задач подготовки космонавтов к комплексной автоматизации процессов управления подготовкой космонавтов на базе единой автоматизированной системы управления КПК. АСУ КПК должна представлять совокупность методических, программных, информационных, организационных и технических средств, объединенных общей целью автоматизированного управляемого процесса подготовки космонавтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] С именем Гагарина... Под общей ред. В.В. Циблиева. Москва, 2005.
- [2] Платунов В.С. Методология системных военно-научных исследований авиационных комплексов. – М.: Издательство «Дельта», 2005. – 344 с.
- [3] Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами: учеб. пособие в 2 ч.; под общ. ред. Лысенко Л.Н. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
- [4] Тукачев Ю.А. Образовательные и профессиональные стандарты: поиск теоретико-методологических оснований // Психология профессионально-образовательного пространства личности: сб. науч. ст. Екатеринбург, 2003. с. 142–148.
- [5] ГОСТ Р ИСО 9000–2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
- [6] Майнцер К. Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез. Пер. с англ./Под ред. и предисл. Г.Г. Малинецкого – М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 464 с.
- [7] Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория систем. Изд. 3-е, доп.– М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 304 с.
- [8] Руководство по подготовке космонавтов. РГНИИЦПК, 2006.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ ОРБИТАЛЬНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.А. Курицын, М.М. Харламов

Канд. техн. наук, доцент А.А. Курицын; М.М. Харламов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются вопросы автоматизации управления процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов. В основу автоматизации положено использование автоматизированных информационных систем обеспечения процессов планирования и управления подготовкой экипажей на комплексных и специализированных тренажерах. Предложена структура и порядок функционирования автоматизированной информационной системы планирования и проведения тренировок экипажей орбитальных пилотируемых комплексов.

**Ключевые слова:** комплексная подготовка, автоматизированные информационные системы, подготовка на тренажерах, моделирование процессов, информационное обеспечение.

Комплексная подготовка экипажей пилотируемых космических аппаратов (ПКА) – вид подготовки космонавтов в составе сформированных экипажей ПКА (3-й этап подготовки), направленный на формирование всесторонней многофункциональной профессиональной подготовленности членов экипажа к выполнению комбинированных полетных процедур программы внутрикорабельной деятельности на борту ПКА в соответствии с задачами данного вида подготовки [3]. Комплексная подготовка экипажей ПКА по причине отличия технологических особенностей процесса подготовки в настоящее время подразделяется:

- на комплексную подготовку экипажей транспортных пилотируемых кораблей (ТПК) – экипажей кораблей «Союз»;
- комплексную подготовку экипажей орбитальных пилотируемых комплексов (ОПК) – экипажей МКС.

Основной и наиболее важной частью комплексной подготовки экипажей является подготовка на комплексных и специализированных тренажерах ПКА. Технология подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов в России традиционно формировалась на основе технологии подготовки экипажей кораблей «Восход», «Союз». Технологический процесс подготовки экипажей кораблей «Союз» на тренажерах базируется (и в настоящее время) на многократной отработке нескольких основных режимов полета корабля (выведение, сближение, стыковка, посадка), что позволяет космонавтам получить высокий уровень навыков выполнения данных режимов полета транспортного корабля. Технология подготовки экипажей ТПК, подразумевающая подготовку незначительного числа режимов полета (полетных операций), была успешно применена для подготовки экипажей первых орбитальных пилотируемых комплексов по программе «Салют», которые включали в себя только один жилой модуль с ограниченным набором бортовых систем (рис. 1).

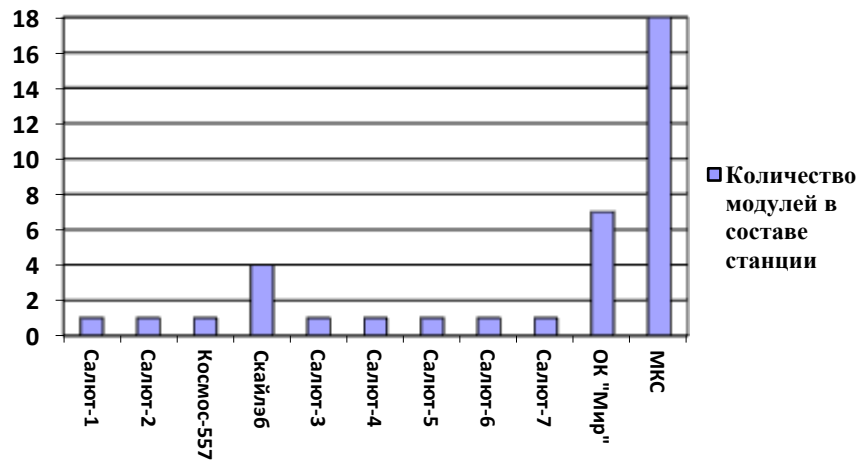


Рис. 1

Опыт подготовки экипажей ОПК «Мир» показал необходимость совершенствования технологии подготовки экипажей на комплексных и специализированных тренажерах по причине увеличения объемов ОПК. Создание Международной космической станции, использование при ее строительстве новых технологий и принципов управления привело к увеличению полетных операций на борту МКС к 2010 году по сравнению с ОК «Мир» почти в 100 раз (рис. 2) [4–5].

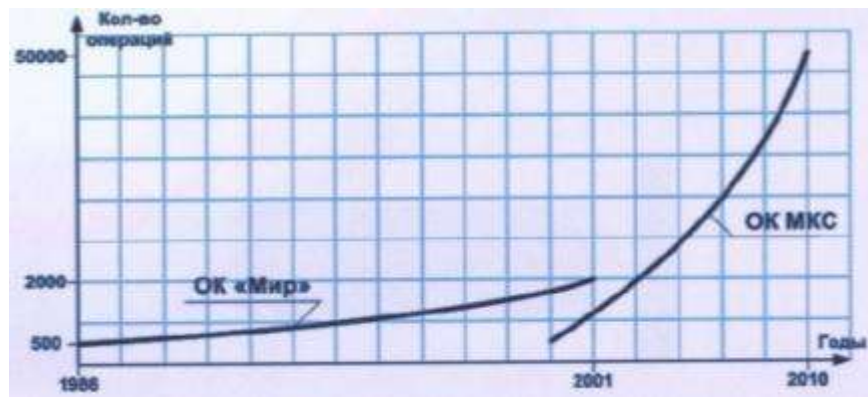


Рис. 2

Современная проблема управления процессом подготовки экипажей МКС на комплексных и специализированных тренажерах характеризуется следующими особенностями:

1. Рост количества операций на борту МКС, увеличение объемов и масштабов подготовки, усложнение материальных и, следовательно, информационных связей.

2. Существенный рост потоков информации в процессе тренировки, скорость поступления которой превышает возможности ее обработки человеком-руководителем или лицом, принимающим решение (инструктором подготовки).



3. Увеличение объемов подготовки, баз проведения подготовки (Россия, США, Европа, Япония, Канада) приводит к жестким требованиям по срокам подготовки.

4. Дефицит времени при принятии решений приводит к отсечению части информации, возможно и полезной. Это может вызвать резкое снижение качества принимаемых решений, принятие ошибочных решений в процессе подготовки. Ошибки тем масштабнее, чем выше уровень принятия решений. Для исправления последствий ошибочных решений могут понадобиться дополнительные ресурсы подготовки.

Управление процессом проведения тренировок экипажей ОПК – это процесс планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для того, чтобы сформулировать и достичь целей подготовки. Суть управления состоит в оптимальном использовании ресурсов для достижения поставленных целей подготовки экипажей [2].

Общая структура системы управления процессом комплексной подготовки космонавтов на тренажерах представлена на рис. 3.

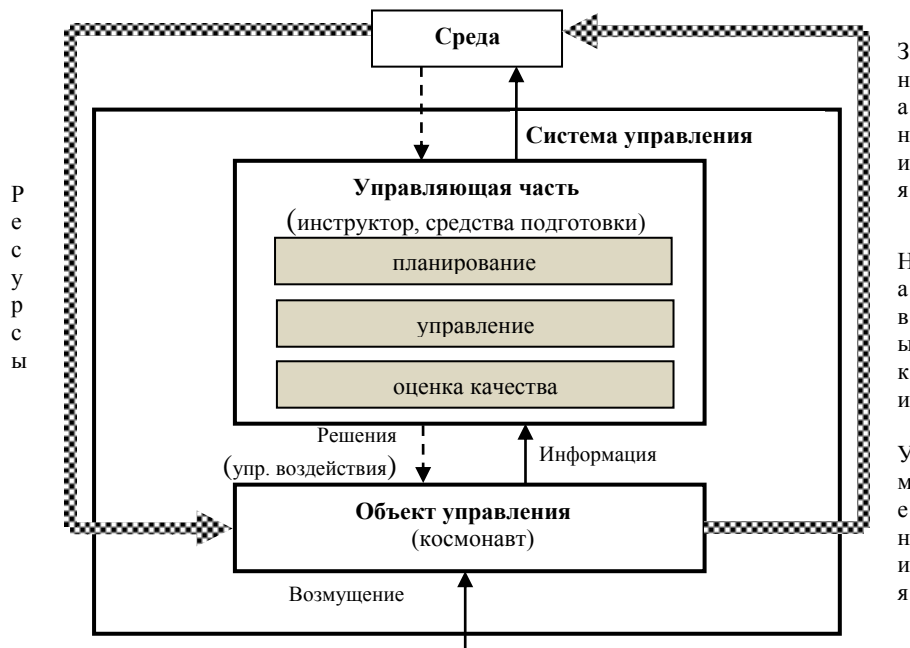


Рис. 3

Рост сложности задач, повышение требований к оперативности принятия решений привело к необходимости развития автоматизированного управления в предметной области подготовки космонавтов многомодульных ОПК. Ввиду сложности процесса подготовки космонавтов на тренажерах многомодульных ОПК в общем случае процесс принятия решения не поддается формализации на основе одной, сколь угодно сложной, математической модели. Методы автоматизированного управления предполагают разработку наборов типовых решений, из которых руководитель может осуществлять выбор оптимального решения с ис-

пользованием средств вычислительной техники на основе математической поддержки процессов принятия решений.

Автоматизация управления процессом комплексной подготовки экипажей ОПК достигается использованием специализированных автоматизированных информационных систем (АИС) для выполнения операций планирования и управления тренировками. Методология построения АИС базируется на теоретических основах их проектирования. Для создания информационного обеспечения подготовки космонавтов на комплексных и специализированных тренажерах необходимо [1]:

- ясное понимание целей, задач, функций всей системы подготовки экипажей ОПК на тренажерах;
- выявление движения информации от момента возникновения и до ее использования на различных уровнях подготовки, представленной в виде схем информационных потоков;
- наличие и использование систем классификации и кодирования полетных операций и нестандартных ситуаций для подготовки;
- владение методологией создания концептуальных и информационно-логических моделей, отражающих взаимосвязь информации;
- создание массивов информации на машинных носителях, что требует наличия современного технического обеспечения с использованием ПЭВМ.

Общая организационная система или ее составляющие, для решения задач которых разрабатывается АИС, носит название Предметной области (ПО), и, соответственно, АИС могут отвечать всем информационным потребностям пользователей предметной области только в том случае, если они могут постоянно отображать динамику функционирования этой предметной области. Наиболее широко распространено трехуровневое представление данных о предметной области. Такому представлению соответствуют 3 типа моделей:

- концептуальная модель ПО;
- логическая модель ПО;
- физическая модель БнД.

Предметной областью информационной системы обеспечения подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов на комплексных и специализированных тренажерах является процесс изменения состояния ОПК как в нестандартных, так и в штатных ситуациях. К концептуальной модели ПО можно отнести модель процесса изменения состояния ОПК как в нестандартных, так и в штатных ситуациях. Для разработки физической модели БнД необходима разработка логической модели ПО, которая включает в себя структуру данных и операции над данными. Логическая модель системы обеспечения подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов на комплексных и специализированных тренажерах может быть разработана на основе математического (логико-математического) и структурно-функционального моделирования составляющих процесса комплексной подготовки космонавтов. Математическое моделирование, включая построение модели, осуществляется средствами математики и логики, а в структурно-функциональном (программном) моделировании модель исследуемого объекта представляет собой взаимосвязь всех элементов подготовки.

Анализ технологического процесса подготовки экипажей МКС на комплексных и специализированных тренажерах позволяет выделить в нем четыре взаимосвязанных между собой составляющих:

1. Формирование программы подготовки экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах, которая представляет собой упорядоченную определенным образом последовательность тренировок и упражнений для отработки экипажем.

2. Формирование циклограммы тренировки.

3. Управление процессом проведения тренировок экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах.

4. Оценка качества деятельности космонавтов при проведении подготовки экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах.

Основная причина, обуславливающая необходимость автоматизации управления процессом подготовки экипажей МКС, заключается в необходимости учета больших объемов информации (количество только полетных операций на борту МКС достигает нескольких тысяч) и учета всех факторов, влияющих на процессы планирования и управления тренировками.

В основу автоматизации управления процессом подготовки экипажей ОПК может быть положено использование комплексной автоматизированной обучающей системы подготовки космонавтов (КАОСПК), которая представляет собой взаимодействие непосредственно тренажерной системы и автоматизированной информационной системы планирования и проведения тренировок (АИСППТ). Комплексная автоматизированная обучающая система подготовки космонавтов на тренажерах позволяет объединить тренажерную систему, включающую в себя терминалы инструкторов и интерфейсы экипажа, с терминалами для подготовки экипажей к тренировке и терминалами подготовки инструкторов к тренировке (рис. 4). Использование автоматизированной информационной системы позволяет сократить время на обработку информационных потоков путем привлечения для этой цели соответствующих обрабатывающих программ, диалоговых систем и информационных баз данных. При этом автоматизируется не только сам логико-аналитический процесс решения задач планирования и управления, но и изготовление необходимых для проведения тренировки документов. Кроме того, все операции могут выполняться инструктором с одного и того же рабочего места.

Автоматизированные информационные системы предполагают участие в процессе обработки информации и человека, и технических средств, причем главная роль отводится компьютеру [1].

Исходя из задач подготовки космонавтов к действиям на борту ОПК, на АИСППТ должно быть возложено решение следующих задач:

- формирование состава полетных операций, НшС для проведения подготовки космонавтов;
- определение порядка отработки полетных операций, НшС при подготовке космонавтов;
- информационное обеспечение космонавтов и инструкторов данными о полетных операциях, НшС по запросу;
- выдача инструктору в процессе тренировки справочной информации о выполняемых полетных операциях и вводимых в тренажер НшС;
- автоматизированная разработка циклограмм тренировок;
- формирование программ ввода НшС на предстоящую тренировку;
- формирование и ввод НшС в процессе тренировки;
- обнаружение и распознавание ошибок экипажа в процессе тренировки и осведомление о них инструктора;

- обнаружение отказов тренажера в процессе тренировки, их интерпретация в виде предусмотренных НшС и осведомление о них инструктора;
- формирование нормативных требований к деятельности экипажа в штатных и нештатных ситуациях;
- разработка вариантов изменения хода (циклограммы) тренировки.

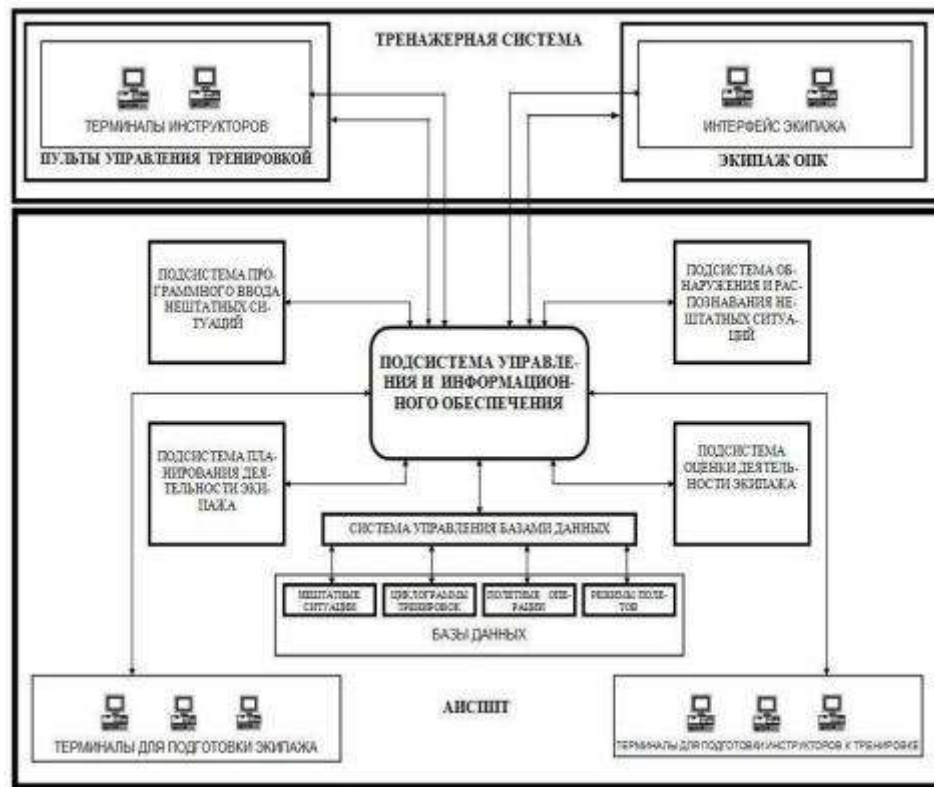


Рис. 4

Указанные задачи по функциональному признаку могут быть объединены в пять групп, каждая из которых представляет собой задачи соответствующей подсистемы АИСПШТ:

- подсистема управления и информационного обеспечения (ПУИО);
- подсистема программного ввода НшС (ППВ);
- подсистема обнаружения и распознавания НшС (ПОР);
- подсистема планирования деятельности экипажа (ППД);
- подсистема оценки деятельности экипажа (ПОД).

Порядок взаимодействия ее составных частей в процессе функционирования зависит от типа решаемой задачи.

Автоматизированные информационные системы, учитывая их широкое использование в организации процессов управления, имеют различные модификации и могут быть классифицированы, например, по характеру использования информации и по сфере применения (рис. 5) [1].

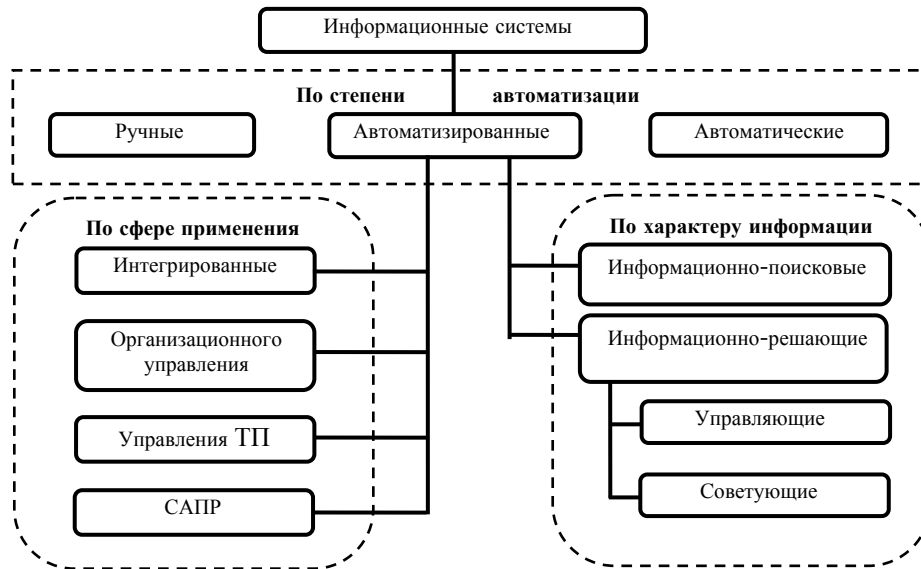


Рис. 5

По характеру использования информации АИСПТ относится к классу информационно-решающих систем. Данные системы осуществляют все операции переработки информации по определенному алгоритму. Среди таких систем можно провести классификацию по степени воздействия выработанной результатной информации на процесс принятия решений и выделить два класса: управляющие и советующие. АИСПТ можно отнести к управляющим информационным системам. Данные системы вырабатывают информацию, на основании которой человек принимает решение. Для этих систем характерны типы задач расчетного характера и обработка больших объемов данных. Разработка элементов АИСПТ проводится с использованием систем визуального объектно-ориентированного программирования и объектно-ориентированных баз данных.

Таким образом, автоматизация управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей ОПК требует решения задач синтеза программного и информационного обеспечения модульных АИС применительно к подготовке космонавтов на тренажерах ОПК с целью создания комплексных автоматизированных обучающих систем. Предложенная структура АИСПТ требует разработки базовых математических моделей, ориентированных на решение комплексов задач в рамках каждой из подсистем. Целями использования автоматизированных информационных систем для управления процессом комплексной подготовки являются: повышение качества подготовки экипажей ОПК; обеспечение безопасности полетов; сокращение трудозатрат инструкторско-преподавательского состава при планировании и проведении тренировок экипажей ОПК на комплексных и специализированных тренажерах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник для вузов / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский, В.Д. Чертовский. – М.: Высш. шк., 2006. – 463 с. – ISBN 5-06-005496-9.

- [2] Анализ подходов к совершенствованию информационного обеспечения комплексной подготовки космонавтов / А.А. Курицын [и др.] // Материалы VIII Международной научно-практической конференции: Сб. тезисов. – Звездный городок, 2009. – С.57–59.
- [3] Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М. и др. Организационно-методические основы подготовки экипажей МКС, книга 1. Звездный городок Московской области: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2010. – 186 с.
- [4] Соловьев В.А. Разработка и практическое внедрение методов планирования полетных операций при оперативном управлении орбитальными комплексами / В.А. Соловьев, В.И. Станюковская // Материалы XXXVII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского; Секция «Проблемы ракетной и космической техники». – Казань, 2003. – С. 95–102.
- [5] Соловьев В.А. Организация управления полетами КА и дальнейшее развитие системы управления полетами. Материалы научно-технического совета РКК «Энергия», 14.10.2010. – Королёв, 2010.

## **АНАЛИЗ ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ В ЦЕНТРЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ИМЕНИ Ю.А. ГАГАРИНА**

Б.А. Наумов

Канд. техн. наук, доцент Б.А. Наумов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Показаны тенденции разработки и создания тренажеров (тренажерных комплексов). Сделан акцент на проблемах, недостатках и узловых точках разработки тренажеров.

**Ключевые слова:** тренажер, тренажерный комплекс.

Для отработки системы индикации, сигнализации и ручного управления (пульт пилота) КК «Восток» в летно-исследовательском институте (ЛИИ) им. М.М. Громова в лаборатории под руководством С.Г. Даревского, был создан моделирующий стенд. На стенде в контур управления кораблем через систему отображения информации включался человек-оператор [1].

На этом стенде и проводили подготовку первых космонавтов по изучению работы бортового оборудования КК «Восток». Пропускная способность стенда позволяла осуществлять подготовку только шести операторов. Компоновку КК «Восток» космонавты изучали на летном изделии в ОКБ-1.

Недостатки такой подготовки очевидны:

- моделирующий стенд ЛИИ им. М.М. Громова и летное изделие ОКБ-1 не были адаптированы для подготовки космонавтов;
- моделирующий стенд и летное изделие находились на значительном удалении от места дислокации космонавтов, что приводило к потере времени на переезды;
- усложнялось решение организационных вопросов по выделению времени для занятий на объектах;
- низкая пропускная способность тренажных средств ограничивала количество готовящихся операторов.

Для устранения этих недостатков по инициативе Н.П. Каманина осенью 1960 года моделирующий стенд после включения в его состав полноразмерного макета КК «Восток» был преобразован в стенд-тренажер, получивший название «ТДК-1». В 1961 году аналогичный тренажер «ТДК-2» был разработан в Центре подготовки космонавтов.

В мае 1964 года была завершена разработка тренажера «ТДК-3КВ», предназначенного для подготовки экипажей по программе КК «Восход». Тренажер был изготовлен путем доработки тренажера «ТДК-2». Тренажер был создан за 11 месяцев, до старта оставалось 5 месяцев.

Орбитальный корабль (ОК) «Союз» отличался от КК «Восток» и «Восход» конструкцией и принципиально новыми решениями бортовых систем, что обеспечивало большие возможности нового корабля [2].

Принципиальные отличия конструкции и системы управления движением ОК «Союз», а также широкий спектр задач поставили ряд совершенно новых требований к профессиональной деятельности космонавтов. Для обеспечения подготовки космонавтов по этой программе возникла проблема определения достаточ-

ности и специализации технических средств подготовки космонавтов. Наряду с комплексными тренажерами было разработано шесть специализированных тренажеров [3].

Комплексный тренажер «ГДК-7К» был разработан в 1966 году за 11 месяцев до старта летного изделия. На нем прошли подготовку космонавты ОК «Союз-1», «Союз-3» – «Союз-13». На тренажере использовался оптико-механический имитатор визуальной обстановки ИМ-43 и аналоговый вычислительный комплекс, состоящий из аналоговых вычислительных машин (АВМ) МН-14 и УП-6. На комплексных тренажерах моделировалась работа всех бортовых машин.

Особенностями создания тренажеров по программе ОК «Союз» являлись:

- наличие комплексных и специализированных тренажеров;
- переход от аналоговых вычислительных комплексов на цифровые, что позволило повысить эксплуатационную надежность и уменьшить погрешность имитируемых параметров;
- решение задачи имитации режимов сближения и стыковки кооперируемых объектов;
- переход на оптико-телевизионные имитаторы, в которых были разделены функции формирования и функции отображения первичного изображения в средства наблюдения;
- создание аналого-цифрового комплекса АЦК, который представлял собой гибридный вычислитель. В нем модель динамики реализовывалась на АВМ, а модели бортовых систем – на ЦВМ;
- АЦК обеспечивал работу нескольких тренажеров, что явилось первым шагом к созданию средств коллективного пользования;
- создание АЦК повлекло за собой необходимость создания аппаратно-программного комплекса средств, обеспечивающих сопряжение вычислительной моделирующей системы с приборным оборудованием тренажера.

Ракетно-космический комплекс «Алмаз» создавался поэтапно. В его состав входили базовый блок орбитальной пилотируемой станции (ОПС) «Алмаз», транспортный корабль (ТК) «Союз», на последующих этапах – транспортный корабль снабжения (ТКС). ТКС состоял из функционально-грузового блока и возвращаемого аппарата.

Разработка тренажеров по этой программе началась в ЦПК в 1971 году. Особенности разработки и создания данного комплекса заключались в следующем:

- впервые комплексный тренажер станции создавался на базе полномасштабного макета;
- комплексный тренажер обеспечивал имитацию полета ОПС в реальном и ускоренном масштабах времени;
- впервые была проведена централизация средств имитации визуальной обстановки в рамках тренажеров программы «Алмаз».

Первая орбитальная станция «Салют-1» была выведена на орбиту 19 апреля 1971 года, положив этим начало практического воплощения идеи создания околоземных долговременных орбитальных станций (ДОС). Особенности создания тренажеров по программе ДОС «Салют» заключались в следующем:

- применен новый подход к созданию тренажерного комплекса. Тренажер рассматривается не как жесткая замкнутая система, как при создании автономных тренажеров, а как совокупность унифицированных и специализированных аппа-



ратных и программных модулей со стандартными интерфейсами и связями между ними;

– на этой основе был создан первый тренажерный комплекс «Белладонна», который включал в себя комплексный тренажер ДОС «Салют» и специализированный тренажер сближения и стыковки ТК «Союз» с ДОС «Салют»;

– распределенная трехуровневая вычислительная система тренажерного комплекса была построена на цифровых вычислительных машинах третьего поколения;

– пульта контроля и управления тренировками создавались на базе унифицированных конструктивов и оснащались однотипным набором средств. Впервые в ПКУ вместо ряда приборов повторителей были применены дисплеи.

Базовый блок орбитального комплекса (ОК) «Мир» был выведен на орбиту 20 февраля 1986 года. Тренажеры по программе ОК «Мир» создавались в составе тренажерного комплекса «Ермак-27». Комплекс разрабатывался с 1980 по 1997 год.

В составе комплекса было создано 11 комплексных и специализированных тренажеров. Именно здесь в полной мере проявилось преимущество новых принципов и технологий, апробированных при создании тренажерного комплекса «Белладонна».

Благодаря коллективному использованию распределенной трехуровневой вычислительной структуры комплекса удалось более, чем в два раза, сократить количество вычислительных ресурсов тренажеров. При этом обеспечивалась одновременная работа до четырех тренажеров комплекса.

Впервые была успешно решена проблема имитации работы штатного вычислительного цифрового комплекса и его взаимодействия с вычислительной системой тренажеров.

Ряд систем коллективного пользования были переведены на новые технологии. В частности, унифицированные имитаторы визуальной обстановки стали оптико-телевизионными, что позволило значительно сократить их количество благодаря использованию коммутируемых телевизионных каналов. Впервые были применены унифицированные модульные системы имитации бортовой связи.

Впервые был разработан и создан бортовой пульт «Плутон» в тренажерном исполнении. Ранее в тренажерах использовались штатные пульта.

Во время комплексных тренировок экипаж мог перемещаться по тренажерам разных орбитальных модулей и работать с оборудованием всего орбитального комплекса. Так была решена задача проведения подготовки по программам «типовых суток», в рамках которых космонавты могли выполнять множество разнообразных задач.

В качестве полномасштабных макетов для комплексных тренажеров использовались макеты, на которых проводились динамические испытания. Эти макеты поступали в Центр подготовки космонавтов с большим опозданием, что приводило к срывам сроков создания тренажеров.

Разработка тренажерного комплекса по программе Международной космической станции (МКС) началась в 1985 году. При создании данного комплекса использовалась концепция и принципы, которые были разработаны при создании тренажерного комплекса «Белладонна» и усовершенствованы при создании тренажерного комплекса «Ермак-27». Это позволило в короткие сроки создать многофункциональный комплекс тренажеров российского сегмента (РС) МКС.

В настоящее время в составе тренажерного комплекса РС МКС введены в эксплуатацию для подготовки космонавтов 11 тренажеров.

Особенности разработки и создания тренажерного комплекса РС МКС заключаются в следующем:

– впервые решена задача объединения в единый комплекс российских и американских тренажеров;

– получили широкое применение бортовые пульта, выполненные в тренажном исполнении;

– впервые в качестве рабочих мест оператора для комплексных и специализированных тренажеров созданы полномасштабные макеты в тренажном исполнении с высокой степенью подобия штатному изделию. Это позволило в 2–3 раза сократить сроки изготовления макетов и в 3–5 раз уменьшить его стоимость.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Даревский С.Г. Космонавтика и авиация: их взаимодействие при подготовке первых космонавтов. // Гагаринский сборник. 1998.
- [2] Афанасьев И.Б., Батурина Ю.М., Белозерский А.Г. и др. Мировая пилотируемая космонавтика. История. Техника. Люди / Под ред. Ю.М. Батурина. М.: Издательство РТСОФТ, 2005. 752 с.
- [3] Итоговый отчет о НИР «Ткач». РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1994.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРЕНИРОВОК В ГИДРОСРЕДЕ

П.П. Долгов, И.В. Галкина, Е.Ю. Иродов, Н.Г. Петрова

Канд. техн. наук П.П. Долгов; И.В. Галкина; канд. техн. наук Е.Ю. Иродов; Н.Г. Петрова (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Для показателей качества деятельности космонавтов в процессе тренировок в гидросреде - времени выполнения типовых операций и функционального состояния космонавтов статистическими методами получены границы оценок.

**Ключевые слова:** подготовка космонавтов, качество деятельности, типовые операции, функциональное состояние, оценка деятельности, оценка состояния.

Подготовка космонавтов к внекорабельной деятельности (ВКД) занимает особое место в системе подготовки космонавтов в связи с большим объемом и важностью этих работ для развертывания и эксплуатации российского сегмента Международной космической станции. Подготовка космонавтов к ВКД в основном осуществляется в условиях гидросреды. Особенности среды, используемого оборудования и снаряжения значительно усложняют процесс деятельности космонавта. Поэтому задача оценки качества деятельности космонавтов в гидросреде, как показателя подготовленности космонавта к деятельности в открытом космосе, является актуальной.

Существует множество подходов к оцениванию качества деятельности операторов разных профессий [1, 2], в которых используются различные показатели. В основу методологии оценивания качества деятельности космонавтов в гидросреде целесообразно положить деятельностный подход [3], характерной особенностью которого является оценивание показателей качества непосредственно в процессе профессиональной деятельности, к которой относятся работы в гидросреде. Данные показатели характеризуют качество конкретной, а не опосредованной деятельности, определенным образом связанной с решением конкретной целевой задачи.

Проведенный анализ деятельности космонавтов в гидросреде показал, что качество данной деятельности может быть охарактеризовано показателями, учитывающими качество выполнения работы и функциональное состояние космонавта при выполнении работы.

В процессе тренировки в условиях гидросреды космонавт выполняет операции ВКД в соответствии с циклограммой. Циклограмма предварительно отрабатывается в процессе нескольких испытаний и отражает резервы времени, отводимые экипажу на выполнение конкретной операции циклограммы. При условии достаточной подготовленности космонавта, знания им используемого оборудования, снаряжения и методики выполнения работ, время, отводимое на выполнение операции, позволяет космонавту без перенапряжения своих функциональных резервов выполнить данную операцию. Однако из-за различных факторов операция выполняется с опережением или отставанием от предлагаемого графика работы. Отклонение времени выполнения космонавтом операции ВКД от запланированного времени по циклограмме характеризует качество подготовленности и деятельности космонавта в гидросреде.

Работа в скафандре в гидроневесомости относится к тяжелой работе, продолжительность которой составляет около четырех часов, и требует от космонавта больших физических и психофизиологических затрат. Контроль за функциональным состоянием космонавтов является необходимым и обязательным условием проведения каждой тренировочной работы в гидросреде. Такие показатели, как частота сердечных сокращений, заушная температура и частота дыхания позволяют контролировать функциональное состояние космонавта в режиме реального времени, а значения энерготрат служат информацией, позволяющей объективно оценить степень тяжести как отдельной выполняемой операции, так и циклограммы в целом.

Для расчета показателей качества деятельности и функционального состояния космонавта, снаряженного в скафандр и выполняющего операции циклограммы в гидросреде, разработано прикладное программное обеспечение, реализованное в телеметрическом комплексе гидролаборатории с интегрированной в его состав системой объективного контроля. Данные программно-аппаратные средства позволяют получить значения показателей функционального состояния и времени выполнения операций циклограммы ВКД.

Для обеспечения возможности применения данных показателей для оценивания качества деятельности космонавтов и их состояния при выполнении работ в гидросреде необходимо определить границы различных функциональных состояний и границы качества выполнения различных операций в процессе ВКД. Сравнение измеренных значений показателей с граничными значениями позволяет получить оценку качества деятельности космонавтов и их функционального состояния при выполнении задач ВКД.

Для определения граничных значений оценок качества деятельности космонавтов проведена статистическая оценка массива времен выполнения типовых операций ВКД, полученных в ходе тренировок кандидатов в космонавты. Общий массив операций был равен 180. В процессе тренировок отрабатывалась 31 типовая операция.

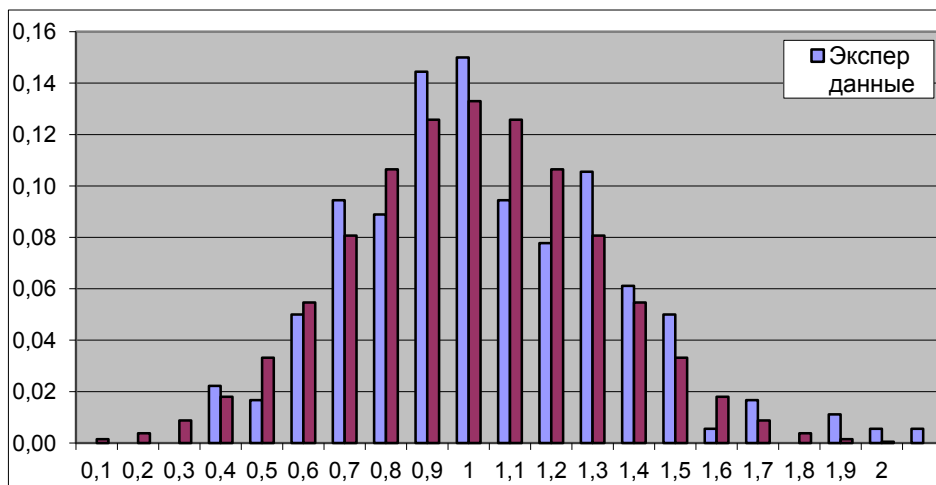


Рис. 1. Гистограмма распределения нормированных, относительно среднего значения каждого массива, значений времени выполнения операций ВКД и гистограмма распределения нормального закона

На рис. 1 представлены гистограмма распределения нормированных, относительно среднего значения каждого массива, значений времени выполнения операций ВКД и гистограмма распределения нормального закона.

Рассмотрение представленных зависимостей показывает, что распределение случайной величины – нормированного значения времени выполнения типовой операции ВКД – близко к нормальному закону.

Проверка закона распределения была проведена по критерию согласия Пирсона [5], который позволяет проверить эквивалентность плотности вероятности экспериментальных данных и плотности вероятности нормального закона [6]. Гипотеза о нормальном законе распределения случайной величины – нормированного значения времени выполнения типовых операций – принята с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$ . Точность и надежность статистических оценок математического ожидания  $m_i$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_i$  определяется по доверительным интервалам и доверительным вероятностям.

Определение границ доверительного интервала для математического ожидания проведено по методике [5]. Уровень надежности оценок принят равным 0,95. Границы доверительного интервала для оценки математического ожидания равны  $0,96 < m < 1,04$ . Границы доверительного интервала для оценки среднеквадратического отклонения равны  $0,27 < \sigma < 0,3 < 0,33$ .

Следовательно, при обработке результатов деятельности космонавтов во время тренировок в гидросреде необходимо принять следующие значения нормированных параметров времени выполнения типовых операций:  $m = 1$ ,  $\sigma = 0,3$ .

Полученные значения позволяют проводить оценку качества деятельности космонавтов при выполнении операций ВКД в гидросреде по завершении выполнения операции и всей циклограммы в целом.

Выражения для получения оценок качества выполнения типовых операций ВКД по временным параметрам  $K_{on,i}$  имеют вид:

- «5 – отлично», при  $t_i \leq (m_{i_i})$ , где  $t_i$  – значение времени выполнения  $i$ -той операции,
- «4 – хорошо», при  $(m_i) < t_i \leq (m_i + \sigma_i)$ ;
- «3 – удовлетворительно», при  $(m_i + \sigma_i) < t_i \leq (m_i + 2\sigma_i)$ ;
- «2 – неудовлетворительно», при  $t_i > (m_i + 2\sigma_i)$ .

Оценка качества выполнения всей циклограммы ВКД по временным параметрам  $K$  формируется следующим образом:

$$K = \frac{\sum K_{oni}}{n}, \text{ если для } \forall K_i > 2, i = 1 \div n$$

иначе  $K = 2$ .

На диаграмме (рис. 2) представлены границы оценок, наложенные на гистограмму распределения времени выполнения типовых операций ВКД.

Для определения граничных значений оценок функционального состояния космонавтов в процессе выполнения операций ВКД проведена статистическая обработка электрокардиографических записей по шести операторам за 9 тренировок, в каждой из которых выполнялось по 12–16 операций.

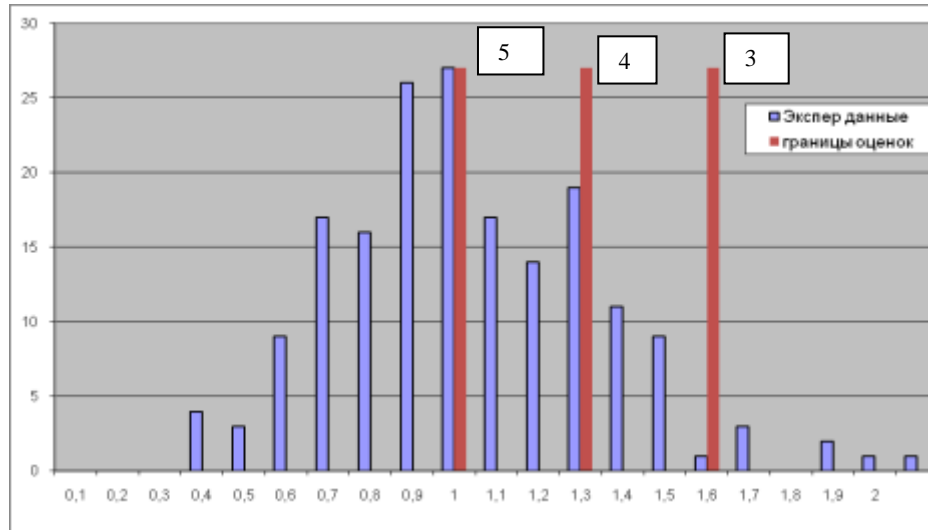


Рис.2. Гистограмма распределения времени выполнения типовых операций ВКД с границами оценок

В результате обработки статистических массивов энергозатрат выполнения каждой типовой операции ВКД получены значения границ оценок средних энергозатрат при выполнении типовых операций. Обработывались операции продолжительностью более трех минут, так как за более короткие операции невозможно получить достоверные результаты.

Для уровня надежности оценок 0,95 границы доверительного интервала для оценки математического ожидания равны  $0,96 < m < 1,04$ . Границы доверительного интервала для оценки среднеквадратичного отклонения равны  $0,15 < \sigma < 0,25$ . Следовательно, при обработке результатов деятельности космонавтов во время тренировок в гидросреде необходимо принять следующие значения нормированных параметров энергозатрат:  $m = 1$ ,  $\sigma = 0,2$ .

Проведенный анализ и статистическая обработка результатов выполнения типовых операций, энергозатрат и показателей психофизиологического состояния космонавтов в процессе тренировок в гидросреде позволил определить основные статистические характеристики качества деятельности космонавтов. Определено, что распределение нормированных значений времени выполнения типовых операций подчиняется нормальному закону распределения. Для нормального закона распределения времени выполнения операций определены основные статистические характеристики – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение, которые положены в основу оценки качества деятельности космонавтов в процессе тренировок в гидросреде. Определены статистические характеристики границ оценок энергозатрат и показателей функционального состояния космонавтов, которые позволяют по измеряемым в процессе тренировок данным проводить количественную оценку качества деятельности космонавта и его состояние.

Результаты работы имеют важное прикладное значение, т.к. полученные значения границ оценок качества деятельности и функционального состояния космонавтов позволяют проводить количественную объективную оценку качества деятельности космонавтов в процессе тренировок в гидросреде.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Береговой Г.Т., Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике. М., 1978.
- [2] Попов А.К. Общие и частные аспекты проблемы работоспособности человека. – В кн.: Психологические проблемы деятельности в особых условиях. М., Наука, 1985.
- [3] Трофимов В.Н. Проблемы эргономического обеспечения формирования и поддержания работоспособности космонавтов. Сб.: Техника, экономика. Серия Эргономика. М.: ВНИИМИ, 1993 г., вып. 1, 2, с. 140–145.
- [4] Парин В.В., Баевский Р.М. Введение в медицинскую кибернетику. –М.: Медицина, 1966. – 298 с.
- [5] Справочник по исследованию операций. Под общ. ред. Ф.А. Матвейчука – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
- [6] Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

## ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМОНАВТА КАК ОПЕРАТОРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Ю.М. Батурин

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации, докт. юридических наук Ю.М. Батурин (Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова Российской академии наук)

Рассматриваются типологические характеристики космонавта-оператора, выполняющего научные эксперименты на борту пилотируемого космического аппарата. Проводится классификация экспериментов и рекомендуется правило их соответствия соционическим характеристикам космонавта. Обсуждаются критерии эффективности космонавта-оператора.

**Ключевые слова:** эргатическая система, космонавт-оператор, типология, соционика, научные эксперименты, классификация, критерии эффективности.

При постановке научных экспериментов на борту космического корабля или орбитальной станции основное внимание обычно концентрировалось на научной аппаратуре и методике проведения эксперимента. При этом в весьма незначительной степени учитывались (во всяком случае, на научной, соционической основе) типологические характеристики космонавта. Одна из причин того – уважительное отношение к возможностям специально отобранного и хорошо подготовленного оператора – «космонавт может все».

Развитие соционики, науки о структуре человеческой психики и ее влиянии на информационный обмен<sup>1</sup>, создало определенные предпосылки для создания методик, адекватных сложности задачи, – поиска, проверки и практического использования критериев эффективности космонавта как оператора при проведении различных видов экспериментов в космическом полете.

### Основные исходные понятия

Под эргатической системой проведения космического эксперимента будем понимать физическую целенаправленную систему, содержащую в себе космонавта-оператора (экипаж). Целью рассматриваемой эргатической системы будем считать проведение на борту космического эксперимента (КЭ).

Физическая подсистема эргатической системы проведения космического эксперимента состоит из научной аппаратуры (НА) и программы (алгоритма) проведения космического эксперимента, заложенной в НА и инструкциях для космонавта-оператора (экипажа).

Будем предполагать, что каждый элемент (подсистема) эргатической системы проведения космического эксперимента обладает свойством передачи сигналов со своего входа на выход. Таким образом, космонавт-оператор как элемент (подсистема) эргатической системы проведения космического эксперимента должен обладать *входом* и *выходом*.

---

<sup>1</sup> См., например: Прокофьева Т.Н. Соционика. Алгебра и геометрия человеческих взаимоотношений. – М., Алмаз, 2005.



Под *входом* космонавта-оператора будем понимать внешнее на него воздействие произвольной природы (световое, акустическое, механическое, электромагнитное, химическое, радиационное и т.д.), которое в состоянии вызвать ответную реакцию космонавта-оператора.

Под *выходом* космонавта-оператора будем понимать произвольной природы (световое, акустическое, механическое, электромагнитное, химическое, радиационное и т.д.) реакцию его организма на внешнее воздействие.

Внешние воздействия могут влиять на состояния и реакции всех органов космонавта-оператора, на отдельные участки его организма и на организм в целом. Воздействия могут быть одиночными и комбинированными. Каждое внешнее воздействие воспринимается космонавтом-оператором различно в зависимости от многих факторов: цели воздействия, условий эксперимента (снятие фоновых значений на Земле или условия невесомости, дефицит времени проведения КЭ, большие физические нагрузки и перепады температур при проведении КЭ в открытом космосе и т.п.), состояния организма (например, острый период адаптации к невесомости).

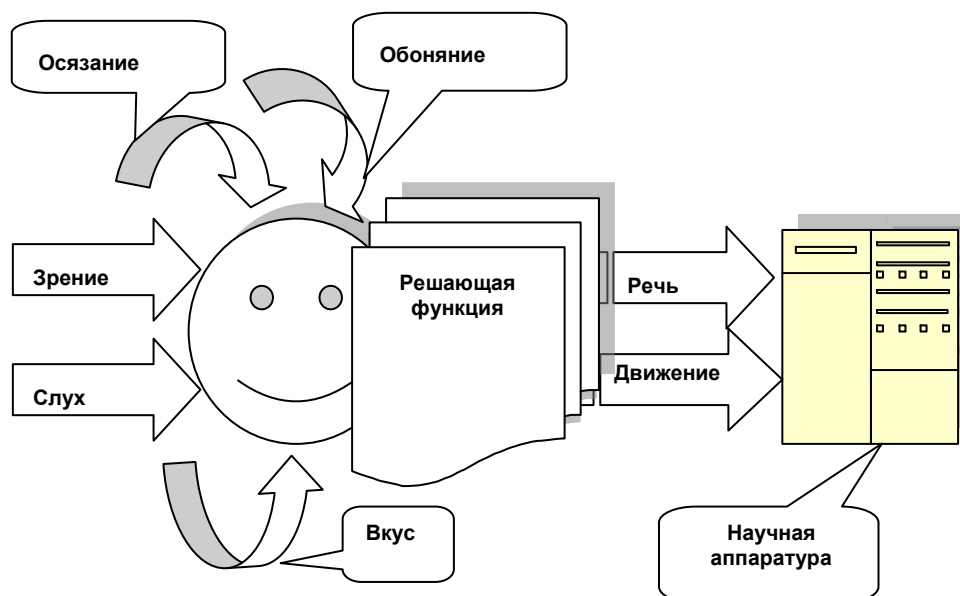


Рис. 1. Космонавт-оператор как звено эргатической системы проведения космического эксперимента, имеющее сенсорные входы (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус), решающую функцию (аналитические отделы центральной нервной системы, память) и моторные выходы (речь, движения)

Будем рассматривать (рис. 1) лишь входы космонавта-оператора, соответствующие пяти органам чувств человека (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус), хотя косвенно будут учитываться и другие из перечисленных внешних воздействий. Назовем указанные входы космонавта-оператора *сенсорными входами*. Множественность сенсорных входов иногда обеспечивает поступление космонавту-оператору служебной информации помимо служебных устройств. Например, воз-

никновение микроускорений в месте установки научной аппаратуры и проведения научного эксперимента космонавт-исследователь фиксирует и без показаний специального прибора «СКОРПИОН»<sup>2</sup> по характерному шуму работы системы очистки атмосферы.

Точно так же не все выходы космонавта-оператора могут быть непосредственно использованы при проведении бортовых научных экспериментов. При некоторых сложных и тонких КЭ требуется создание специальных устройств съема реакции космонавта-оператора (устройства измерения электрической активности мозга, мышц, кожного покрова, сердца, глаза, устройства оперативного анализа состава крови и т.д.). Для простоты будем рассматривать лишь *моторные выходы* космонавта-оператора (движение, речь).

Важны правила описания отношений между *входом* и *выходом* космонавта-оператора, работающего в составе эргатической системы проведения КЭ. Функция преобразования входного воздействия на космонавта-оператора в его выходную реакцию в общем случае включает:

- выявление необходимых сигналов;
- определение сообщения, которое несут сигналы;
- решение возникающей задачи;
- формулирование результата решения в форме, пригодной для реализации;
- поиск средств реализации результата решения.

Назовем данную функцию преобразования *решающей функцией*.

Таким образом, космонавт-оператор здесь будет рассматриваться в виде звена эргатической системы<sup>3</sup> «экипаж – бортовая научная аппаратура», обеспечивающего управление и обслуживание экспериментальной установки и имеющего *сенсорные входы, решающую функцию и моторные выходы* (рис. 1).

### Рабочие характеристики космонавта-оператора

Поведение космонавта-оператора при проведении КЭ на борту определяется вырабатываемой им моделью внешнего мира на основе приобретенных знаний, проведенной подготовки, тренировок, испытаний, проб и ошибок, аналогий и т.п. Детализация модели внешнего мира, степень ее общности и адекватности зависит от конкретной личности, то есть внутреннего мира космонавта-оператора. Отношение внутреннего и внешнего миров конкретного космонавта-оператора определяют его собственное «Я» и его типологические характеристики.

Подсознательно, но широко используемые космонавтом-оператором образы внешнего мира способствуют большой гибкости в способах переработки им информации. В этом же и причина возможности решения космонавтом-оператором иногда нечетко сформулированных задач, касающихся проведения КЭ на борту. Космонавт-оператор осознанно или неосознанно дополняет постановку задачи, исходя из своей модели (образа) внешнего мира, точнее, его части, включающей все, что касается постановки и проведения КЭ.

---

<sup>2</sup> «СКОРПИОН» – многофункциональный контрольно-измерительный прибор для контроля условий проведения научных экспериментов внутри гермоотсеков космической станции.

<sup>3</sup> См., например: Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. – Киев, Наукова думка, 1975.

Космонавт-оператор выступает также в роли «целевого» фильтра возможных вариантов решения при проведении КЭ. Вариации реальных условий проведения эксперимента умножают возможные варианты его проведения, а комбинации вариантов по деталям и условиям делают число решений весьма значительным. Космонавт-оператор, пользуясь своими моделями внешнего и внутреннего миров, учитывая поставленную цель, уменьшает множество вариантов решения задачи до практически приемлемого числа.

Примером целевой фильтрации является такой сенсор как глаз человека, который воспринимает своими чувствительными элементами (рецепторами) не менее 10 гигабит/сек информации, из которых в мозг передается лишь 10–20 бит/сек. При этом отбирается информация лишь нужная для задачи, решаемой в данный момент.

Помимо целевой фильтрации для космонавта-оператора характерна и функция обычной фильтрации шумов, помех. В этом плане важен уровень помехоустойчивости космонавта-оператора. Эту характеристику мы здесь рассматривать не будем, поскольку помехоустойчивость важна практически для любой рабочей деятельности космонавта, не только для выполнения научных экспериментов.

Общая структура функций космонавта-оператора (и не только космонавта) может быть схематично представлена следующими его фазами взаимодействия с научной аппаратурой:

- сенсорные входы (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус) обеспечивают выявление и прием индикаторных сигналов от некоторой совокупности устройств произвольной природы, через которые космонавту предъявляется служебная информация, и описываются входными переменными;
- решающая функция (аналитические отделы центральной нервной системы + память);
- обеспечивает определение информации, которую несут сигналы, необходимые расчеты, оценки и логические операции, в результате чего находится решение возникающей задачи, а затем происходит поиск средств реализации решения;
- моторные выходы (движения, речь) ведут к реализации результата решения и описываются выходными переменными.

### **«Информационный метаболизм» как внутренняя характеристика оператора**

Решающая функция есть отображение множества входных переменных на множество переменных выходных. Такая интерпретация полезна для построения математической модели операторской деятельности космонавта-исследователя, но она является внешней обобщенной характеристикой оператора. Внутреннюю его характеристику удобно давать в терминах «информационного метаболизма».

Польский психиатр А. Кемпинский представил процесс переработки информации человеком метафорой процесса обмена веществ в организме. Суть его теории информационного метаболизма (ИМ) в изложении литовского ученого А. Аугустинавичюте состоит в том, что «внешние информационные сигналы, принимаемые психикой, уподобляются пище, которую для процесса энергетического метаболизма (ЭМ) получает организм, т.е. ... как пища необходима для ЭМ

организма, так и информационные сигналы для ИМ психики».<sup>4</sup> А. Аугустинавичюте, используя теорию информационного метаболизма, усовершенствовала психологическую типологию К.Г. Юнга и тем самым создала науку, которую назвала соционикой или теорией типов информационного метаболизма. Согласно А. Аугустинавичюте, основное отличие между типами людей – разница в способах и характере обмена информацией с внешним миром: «Одни из них лучше отбирают из окружения одни сигналы, другие – другие. Что доступно одним, недоступно другим».<sup>5</sup> Множество входных сигналов, поступающих человеку, расщепляется его психикой на составляющие, причем функции Юнга (логика – этика, интуиция – сенсорика, в терминах соционики) обеспечивают фильтрацию, о которой мы говорили выше.

Соционическая типология строится на четырех парах альтернативных (дихотомических) признаков:

- экстраверсия – интроверсия<sup>6</sup>
- логика – этика
- интуиция – сенсорика
- рациональность – иррациональность

Типы информационного метаболизма отражают все четыре доминирующие признака. Например, логико-сенсорный рациональный интроверт. Названия получаются длинными и неудобными в обращении. Чтобы их несколько сократить, А. Аугустинавичюте ввела правило: названия рациональных типов начинать с рациональной функции (логика или этика), а названия иррациональных типов начинать с иррациональной функции (интуиция или сенсорика). Благодаря этому понятия «рациональный» / «иррациональный» используется в классификации неявно, их можно не называть.

16 комбинаций типов информационного метаболизма составляют социон, который разбивается на четыре квадраты:

- первая квадра социона
  - интуитивно-логический экстраверт
  - сенсорно-этический интроверт
  - этико-сенсорный экстраверт
  - логико-интуитивный интроверт

<sup>4</sup> Цит. по: Прокофьева Т.Н., указ. раб., с. 23-24.

<sup>5</sup> Цит. по: Прокофьева Т.Н., указ. раб., с. 30.

<sup>6</sup> Здесь следует сделать терминологическое замечание. В современных российских публикациях по психологии преимущественно используются написания: экстраверт / интроверт (см., например, цитированную работу Т.Н. Прокофьевой). Так дают и современные словари. В английской научной литературе используют симметричное написание *extrovert* / *introvert* (см., например: *Abnormal Psychology*. Grange Books, 2005), хотя, согласно английскому *Webster's Dictionary*, допустимо и *extravert*. Исходя из латинских корней слов *extra* (вне, снаружи) и латинского антонима *intra* (внутри), следовало бы писать интраверт, а не интроверт. Правда, латынь знает и слово *intro* (внутри), но в таком написании лингвистическая пара теряет симметрию. Автор в данной работе предпочел бы терминологию отечественной классики (см., например: Ярошевский М.Г. История психологии. – М., Мысль, 1976, с. 372) и использовал бы вариант «интраверт». Однако это потребовало бы либо коррекции цитат, что недопустимо, либо внесло разноречие в рамках данной статьи, поэтому симметрией приходится пожертвовать.

- вторая квадра социона
  - этико-интуитивный экстраверт
  - логико-сенсорный интроверт
  - сенсорно-логический экстраверт
  - интуитивно-этический интроверт
- третья квадра социона
  - логико-интуитивный экстраверт
  - этико-сенсорный интроверт
  - сенсорно-этический экстраверт
  - интуитивно-логический интроверт
- четвертая квадра социона
  - логико-сенсорный экстраверт
  - этико-интуитивный интроверт
  - интуитивно-этический экстраверт
  - сенсорно-логический интроверт.<sup>7</sup>

Таблица 1

	<b>Экстраверты</b>	<b>Интроверты</b>
Виды экспериментов	Длительные	Короткие или разбитые на этапы
	Требующие интенсивной работы	Допускающие неспешное выполнение
	Не требующие глубокого обдумывания	Требующие глубокой проработки
	<b>Логики</b>	<b>Этики</b>
Виды экспериментов	Требующие анализа количественных данных	Требующие наблюдения за изменением качества
	Требующие самостоятельного контроля космонавта	Требующие регулярного контакта с ЦУПом
	<b>Интуиты</b>	<b>Сенсорики</b>
Виды экспериментов	Сложные	Стандартные
	Без детальных инструкций	С точными инструкциями
	Без наглядных результатов	С наглядными результатами
	<b>Рационалы</b>	<b>Иррационалы</b>
Виды экспериментов	Требующие систематичности	Требующие импровизации
	Спокойные, предсказуемые	Чреватые экстремальными ситуациями
	Требующие методичных регулярных действий	Требующие разнообразных действий и подходов

<sup>7</sup> См., например: Сычев К.В., Панченко Т.Г., Панченко А.Л. Человечествоведение как метод кадровой политики. – М., Кислород, 2001.

Соционическая типология оказывается полезной для различения операторов, отличающихся друг от друга характером взаимодействия с окружающим миром, получения от него информации (*сенсорные входы*), способом ее переработки (*решающая функция*) и реализацией решения на основе полученной информации (*моторные выходы*), а соответственно выявляют подходящие для разных психологических типов космонавтов-операторов виды научных экспериментов (см. табл. 1).

### **Классификация научных экспериментов и соционические характеристики**

Таким образом, соционика позволяет не только охарактеризовать тип личности космонавта-оператора, но и в соответствии со своей типологией классифицировать научные эксперименты. Примерное распределение выглядит следующим образом.

Эксперименты для космонавтов-экстравертов:

- эксперименты, требующие руководства и координации действий нескольких космонавтов-исследователей;
- уникальные эксперименты;
- эксперименты, проводимые впервые;
- эксперименты, требующие интенсивной работы;
- срочные эксперименты;
- эксперименты, в которых требуется проявлять инициативу;
- эксперименты, требующие диктовки данных.

Эксперименты для космонавтов-интровертов:

- эксперименты, которые исследователь должен проводить индивидуально, своими силами;
- эксперименты, интересные лично данному космонавту-исследователю;
- завершающие стадии эксперимента;
- эксперименты, разбитые на этапы;
- эксперименты, проводимые без жестких временных рамок;
- эксперименты, требующие сосредоточения;
- эксперименты, в которых данные требуется фиксировать письменно.

Эксперименты для логиков:

- эксперименты, требующие постоянного контроля;
- эксперименты, требующие построения графиков, заполнения таблиц;
- эксперименты, связанные с фиксацией данных;
- эксперименты, требующие повышенной аналитичности;
- эксперименты с ясными, точно описанными в бортдокументации операциями.

Эксперименты для этиков:

- эксперименты, требующие постоянных контактов с ЦУПом;
- эксперименты, основывающиеся на оценочных суждениях;
- эксперименты, доставляющие удовольствие.

Эксперименты для интуитов:

- нестандартные, сложные эксперименты;
- длительные эксперименты с отдаленным результатом;

– эксперименты, требующие постоянного сравнения с предыдущей экспериментальной серией или прогнозом;

– эксперименты, допускающие параллельное проведение.

Эксперименты для сенсориков:

– текущие, повседневные, рутинные эксперименты;

– эксперименты, дающие быстрый результат;

– эксперименты, требующие хорошей ориентацией в пространстве;

– эксперименты, не допускающие параллельное проведение.

Эксперименты для рационалов:

– точно планируемые по времени эксперименты;

– систематические сеансы экспериментов;

– ритмичные эксперименты;

– эксперименты со стабильными, не меняющимися условиями проведения;

– эксперименты, в которых требуется подбор подходящих методов.

Эксперименты для иррационалов:

– эксперименты, разнообразные по подходам;

– эксперименты без точных сроков получения результата;

– эксперименты, требующие гибкости подходов;

– опасные эксперименты, требующие быстрой реакции;

– эксперименты, проводимые в «рваном» ритме.

### **Примеры соответствия КЭ и соционических характеристик космонавтов-операторов**

1. Рассмотрим КЭ «Плазменный кристалл». Термином «плазменный кристалл» обозначаются упорядоченные структуры, состоящие из заряженных в плазме пылевых частиц микронного размера. Они аналогичны решетчатой структуре кристаллических материалов и характеризуются постоянной решетки, составляющей, в отличие от параметра обычных кристаллов, доли миллиметра, что позволяет наблюдать их невооруженным глазом. Это является одной из задач космонавта-оператора, причем по наблюдаемой картинке он самостоятельно принимает решение о необходимости дополнительного «впрыскивания» частиц в рабочую камеру НА.

Идею плазменного кристалла в 1989 году предложил профессор Института внеземной физики Общества Макса Планка (ФРГ) Г. Морфилл. Плазменно-пылевые структуры в наземных условиях экспериментально открыл немецкий ученый Х. Томас. В 1993 году в наземных условиях в вакуумной камере наблюдался «кристалл» из отрицательно заряженных частиц микронного размера в высокочастотном разряде (13,56 МГц).

В условиях микрогравитации впервые КЭ «Плазменный кристалл-1» (ПК-1) был проведен на орбитальном комплексе (ОК) «Мир». Изучение плазменно-пылевых структур в условиях длительной невесомости и формирования трехмерного неискаженного кристалла проводилось на установке ПК-1 при заряде частиц УФ-излучением Солнца через кварцевый иллюминатор базового блока. Экспериментальная установка была предельно простая, собиралась за несколько минут, а сам эксперимент занимал не более часа.

В том же, 1998 году КЭ был повторен на доставленной на ОК «Мир» установке ПК-2 с неоновой газоразрядной лампой и видеорегистрацией (исследова-

лись структуры из макрочастиц вольфрама и боросиликатного стекла, заряженные в положительном столбе тлеющего разряда). По особенностям проведения КЭ ПК-2 отличался от ПК-1 незначительно.

На Международной космической станции (МКС) эксперимент был продолжен с использованием вновь разработанной и более совершенной аппаратуры «Плазменный кристалл-3» (ПК-3). Основным ее элементом является экспериментальная вакуумная камера, в которой создается плазма высокочастотного разряда и вводятся пылевые частицы микронных размеров. Наблюдение за поведением ансамбля заряженных частиц производится автоматически. Вся экспериментальная аппаратура размещена внутри герметичного защитного контейнера. Подготовка и проведение эксперимента ПК-3 по сравнению с ПК-1 и ПК-2 существенно усложнились.

Космонавт-оператор на борту МКС выполняет следующие операции: монтаж аппаратуры; вакуумирование магистралей и рабочей камеры экспериментального блока с помощью турбомолекулярного насоса; загрузка программного обеспечения для серии экспериментов в компьютер аппаратуры «Телесайенс»; собственно выполнение экспериментов серии, передача (по возможности) фрагментов видеоинформации по каждому эксперименту в ЦУП-М для проведения оперативного анализа; демонтаж аппаратуры, возврат на Землю с экипажем на космическом корабле «Союз» видеокассет и цифровых карт памяти с результатами проведения экспериментов.

Используя соционические характеристики, мы можем заключить, что эксперименты ПК-1 и ПК-2 лучше всего выполнил бы сенсорно-логический интроверт (IV квадрата социона). Более сложный и длительный эксперимент ПК-3 целесообразно поручать этико-интуитивному экстраверту (II).

2. Другой КЭ «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез» (СВС) проводился на МКС с целью исследования влияния невесомости на механизм горения и структурообразования СВС-систем (прессованных образцов и порошковых смесей). Целью являлось получение в процессе эксперимента материалов с пенной структурой и зернистыми каркасами на основе новых образцов.

В ходе предварительных операций космонавт-оператор выполнял: перенос аппаратуры на место проведения эксперимента; размещение ее в районе заданной панели; монтаж электрической схемы эксперимента; фотосъемка аппаратуры в интерьере модуля; включение научной аппаратуры для КЭ СВС, в том числе включение и настройка аппаратуры «Телесайенс»; подключение видеоконтрольного устройства (ВКУ) телевизионной системы. Затем космонавт-оператор провел четыре сеанса КЭ (поджиг четырех образцов в экспериментальных капсулах), для чего выполнил следующие операции: включение и настройка аппаратуры; контроль давления и температуры в исходном состоянии и после каждого сеанса; контроль исходного состояния образцов на экране ВКУ; иницирование СВС-реакции и наблюдение ее на экране ВКУ; контроль состояния образцов после поджига.

Эксперимент проходил на фоне радиопереговоров космонавта-оператора с ЦУПом. Вспышка при поджиге образцов, контроль состояния образцов до и после поджига наблюдались на экране ВКУ. Фиксировались значения давления и температуры внутри сменного контейнера до начала эксперимента и после каждого сеанса.

При подаче импульса поджига на четвертый образец на экране ВКУ не наблюдалась вспышка, давление и температура внутри сменного контейнера не из-



менились по сравнению с предыдущим сеансом (не прошла СВС-реакция), но на экране ВКУ было отмечено измененное состояние таблетки-воспламенителя, что указывает на штатное срабатывание НА СВС.

Вся информация по эксперименту записывалась на видеокассету Hi-8 аппаратуры «Телесайенс». При выполнении эксперимента второй космонавт выполнял фотосъемку основного космонавта-оператора, работающего с НА СВС. После проведения КЭ космонавт-оператор выполнил заключительные операции: выключение аппаратуры, демонтаж схемы эксперимента и перенос комплекта кабелей и аппаратуры «Телесайенс» на место хранения; видеокассета Hi-8 с записью процесса КЭ была подготовлена к возвращению на Землю.

Общее время проведения КЭ СВС составило 3 часа, причем более половины этого времени (95 мин) заняли подготовительные операции, собственно проведение эксперимента – 50 мин и заключительные операции – 30 мин. Проведение фотосъемки космонавта-оператора за работой с аппаратурой вторым членом экипажа – 5 мин.

По тем же соционическим характеристикам заключаем, что наиболее подходящим космонавтом-оператором для него оказывается этико-интуитивный экстреверт (II).

3. КЭ «Инфразвук-М» имеет своей целью исследования фоновых физических полей (инфразвук, слышимые акустические шумы, ультразвук, электромагнитные поля низкочастотного диапазона) в обитаемых отсеках модулей российского сегмента МКС для решения задач минимизации риска экипажей, уточнения условий эксплуатации и внутриобъектовой технической диагностики станции.

НА для КЭ «Инфразвук-М» включает систему контроля акустического шума (СКАШ), предназначенную для контроля неблагоприятного воздействия на экипаж акустического шума, создаваемого бортовым оборудованием, входящие в состав служебных систем модуля «Звезда» МКС, а также сменные измерительные датчики к СКАШ и бортовой компьютер.

В состав СКАШ входит анализатор акустического шума «Брюль и Кьер – 2260» (шумомер), который является портативным переносным прибором, обеспечивающим: измерение звукового давления, усиление и цифровую обработку сигнала; определение спектральных и интегральных по спектру шумовых характеристик; сохранение результатов измерений на встроенном диске.

Измерения с помощью шумомера выполняет один космонавт-оператор, работая по бортиструкции и по радиограмме ЦУПа-М. В ходе измерений космонавт, перемещаясь с шумомером вдоль продольной оси модуля, в фиксированных контрольных точках производит замер и запись в память шумомера характеристики бортового шума.

После измерений космонавт переносит данные из памяти шумомера в бортовой компьютер и передает в ЦУП-М в обычном режиме межмашинного обмена информацией (пакетной связи) с Землей. Российскими космонавтами-операторами были выполнены многократные разовые замеры по общему уровню шума в контрольных точках в соответствии со схемой, представленной в бортдокументации.

Продолжительность сеанса работы со СКАШ, включая измерения шума в 11 контрольных точках и перенос данных в компьютер, в реальном КЭ составляла от 1,5 до 2 часов. До и после сеанса измерений, как правило, проводились радиопереговоры с ЦУПом-М, в ходе которых экипаж консультировался со специалистами и информировал о результатах работы.

Соционические характеристики подсказывают, что КЭ «Инфразвук-М» надо поручать этико-сенсорному экстраверту (I).

4. Пример медико-биологического эксперимента – «Спрут-К». Цель КЭ – получение данных о состоянии жидкостных сред организма человека в условиях длительного космического полета с целью оценки состояния адаптационных механизмов и усовершенствования мер профилактики неблагоприятного влияния невесомости применительно к условиям полета на МКС.

В ходе одной экспедиции в эксперименте принимали участие два российских космонавта. Эксперимент «Спрут-К» был проведен ими дважды на борту, не считая фоновых экспериментов до и после полета. Каждый сеанс эксперимента «Спрут-К» выполнялся в утренние часы суток, у обоих космонавтов последовательно и они помогали друг другу. Во время сеанса эксперимента обследуемый находился в состоянии физического покоя и в стандартной позе – «свободное парение».

До начала КЭ в компьютер вводились данные об обследуемом космонавте, а также величины давления, влажности и температуры внутри комплекса в момент измерения.

С помощью импедансометра проводилось автоматическое измерение основных жидкостных объемов организма космонавта в реальном масштабе времени. Обработка получаемой информации производилась в ходе эксперимента. Других технических средств, внешних по отношению к МКС, для проведения эксперимента не требовалось. При этом аппаратура, используемая в эксперименте, была подключена к системе управления бортовым комплексом по электропитанию, а также к бортовому компьютеру. При проведении эксперимента была обеспечена передача по телеметрии на Землю данных, регистрируемых НА «Спрут-К». В ходе сеанса эксперимента производится регистрация и расчет ряда параметров обследуемого космонавта.

При этом обработка получаемой информации производится непосредственно в ходе эксперимента и эти данные могут быть переданы специалистам на Землю в реальном масштабе времени. Перечень исследуемых показателей и их соответствие диапазону должных величин отображается на экране дисплея для самоконтроля космонавтов. Для проведения статистического анализа результатов эксперимент должен быть проведен с участием не менее, чем 10–12 космонавтами в условиях длительных космических полетов.

При проведении эксперимента «Спрут-К» у экипажа возникли проблемы с тестированием прибора. Подключение кабелей питания и кабеля передачи информации в бортовой компьютер проблем не вызвало. На аппаратуре «Спрут-К» горела зеленая индикаторная лампочка, свидетельствующая о его работоспособности. При этом первый интерфейс (картинка на дисплее) проверки сигнала показывал отсутствие сигнала. По версии экипажа причины могли быть обусловлены: 1) недостаточным питающим напряжением; 2) неправильной установкой отдельных программ компьютера. В связи с отсутствием сигнала эксперимент не проведен. Впоследствии выяснилось, что сбой в работе аппаратуры был связан с рассогласованием настроек бортового компьютера. Позднее КЭ «Спрут-К» был проведен несколько раз.

По соционическим характеристикам для данного эксперимента наиболее пригоден этико-сенсорный интроверт (III).

Обратим внимание, что для пяти разных типов КЭ дважды оказался пригодным этико-интуитивный экстраверт. Не делая широких обобщений, все же обра-

тим внимание на этот тип космонавта-оператора, подходящего для проведения самых сложных КЭ.

Разумеется, при малом составе экипажа и большом количестве экспериментов использовать рекомендации соционики не приходится: эксперименты выполнят те космонавты, которые назначены в экипаж. Но при увеличении числа членов экипажа до шести космонавтов и, тем более, после планируемого введения в состав МКС российского научного лабораторного модуля проблема эффективного сочетания КЭ и экспериментатора (космонавта-оператора) перестает выглядеть исключительно теоретической.

### **«Информационный метаболизм» космонавта-оператора**

Попробуем теперь перевести описание «информационного метаболизма» космонавта-оператора с внутреннего языка соционики на внешний язык решающей функции, то есть отображения входных переменных в переменные выходные.

Искомое отображение начинается с выявления и приема сигнала *сенсорным входом* и сводится, как мы видели из описания примеров КЭ, к вводу в действие НА с индикационным устройством, а также к непосредственному ощущению сигнала, что требует возбуждения памяти и аналитических отделов центральной нервной системы. При выявлении сигнала космонавт-оператор устанавливает его признаки, отличающие данный сигнал от всех других, формируемых НА. Процесс выявления сигнала требует обращения к памяти за информацией об установленных отличительных признаках сигналов, причем этот процесс зависит и от психологических особенностей космонавта-оператора (неадекватность восприятия сигнала и т.д.). Прием (восприятие) сигнала, несущего информацию о ходе КЭ и условиях его проведения, сопровождается обычно получением информации в виде заданий по радиogramмам Земли и указаний оператора ЦУПа.

Далее происходит определение сообщения: получение осведомительной информации, соотносится ли сигнал с признаком явления (образа), информация о котором должна передаваться. За этим этапом следует анализ поступившей информации на основе имеющихся знаний о закономерностях протекания процесса. Здесь важное место занимает обмен информацией между памятью и аналитическими отделами центральной нервной системы.

Решение задачи, возникающей как результат получения осведомительной информации, включает в необходимых случаях вычисления и логические заключения. Этот процесс характерен интенсивным обменом информацией между основными отделами головного мозга и повышенными требованиями к объему оперативной памяти космонавта-оператора. Поэтому не только для проведения КЭ на борту, но и для всей деятельности космонавта в полете используются бортиструкции, мнемосхемы и т.п.

Отметим причины, влияющие на процесс «информационного метаболизма»:

– эмоциональные (быстрые и неустойчивые изменения преобразующих свойств космонавта-оператора, вызванные сильно действующими внешними или внутренними причинами);

– интуитивные (опыт, не формализуемый в решающей функции оператора);

– эволюционные (медленные изменения преобразующих свойств космонавта-оператора в результате обучения, тренировок или забывания).

Действия этих причин могут вызывать:

– потерю части полезной информации;

– неадекватность преобразования информации (зависит от соционического типа космонавта-оператора);

– внесение дополнительной (полезной или вредной) информации, непосредственно не содержащейся в поступающем на сенсорный вход сигнале (положительный опыт и интуиция или, наоборот, закрепленные ошибочные представления и навыки), причем эта информация может как увеличивать, так и компенсировать искажения.<sup>8</sup>

Процесс формулирования решения представляет собой выражение решения на языке *моторных выходов* космонавта-оператора (движение и речь, как мы договорились выше). Результатом является формирование, а затем выдача командной информации (выходных переменных).

Приведенное краткое описание структуры решающей функции показывает, что в даже очень простом случае приема сигнала *сенсорным входом* и преобразование его в *моторный выход* является достаточно сложным, не все механизмы указанных процессов достаточно изучены. Тем не менее, нужны практические функциональные критерии оценки взаимодействия космонавта-оператора с НА. Очевидно, такие критерии должны объединять показатели, характеризующие *сенсорные входы, решающую функцию* и *моторные выходы* космонавта-оператора. «Информационный метаболизм» мог бы служить одним из таких показателей, если бы не отсутствие количественной меры для него. Однако можно попытаться ввести ряд оцениваемых, а лучше – измеримых параметров «информационного метаболизма». Соционическая характеристика космонавта-оператора является таким оцениваемым параметром. Но существуют и измеримые параметры:

– количество информации, которое должен обработать космонавт-оператор при проведении КЭ на борту

$$I(t) = I_c(t) + I_p(t) + I_m(t), \quad (1)$$

$I(t)$  – количество статистической информации Шеннона-Винера;

$I_c(t)$  – количество информации, воспринимаемое сенсорным входом;

$I_p(t)$  – количество информации, используемое решающей функцией;

$I_m(t)$  – количество информации, формируемое для моторного выхода;

$t$  – текущее время.

### Моторные выходы космонавта-оператора

Число управляемых движений у космонавта-оператора ограничено. Тело человека по своей природе в естественных условиях способно выполнять от 10 до 20 различных управляемых движений одновременно, в то время как при управлении различными системами и механизмами может совершать одновременно не более двух движений.<sup>9</sup>

В космосе ситуация осложняется по двум причинам. Во-первых, работа в безопорном пространстве требует как минимум одно движение потратить на фиксацию тела. Во-вторых, весьма неблагоприятным последствием для человека в космическом полете являются изменения в двигательной сфере человека, которая

<sup>8</sup> См.: Горский Ю.М. Информационные аспекты управления и моделирования. – М., Наука, 1978, с. 152-153.

<sup>9</sup> См.: Павлов В.В., указ. раб., с. 24.

оказывается одной из наиболее гравитационно зависимых. Результаты научных исследований показали, что гравитация встроена во все двигательные механизмы: отмена или снижение гравитационных нагрузок сопровождаются закономерно развитием гипогравитационного атактического синдрома, характеризующегося изменениями во всех звеньях и уровнях двигательной системы.

Итак, рассматриваемые *моторные выходы* космонавта-оператора при выполнении научных экспериментов фактически сводятся в каждый момент к одному движению и речи. Вот почему способность внятно диктовать данные на магнитофон или вести прямой репортаж по радиосвязи с ЦУПом весьма важна для космонавта-исследователя. Речь можно описывать через информационные характеристики (скорость подачи информации, коэффициент потерь информации, зависящий от внятности речи, и т.д.). Но измеримые параметры движений космонавта-оператора требуется устанавливать экспериментально.

Поэтому важны КЭ, целью которых являются исследования влияния длительного пребывания в невесомости на состояние *сенсомоторных* функций и сопоставление наблюдаемых эффектов с эффектами пребывания в условиях наземных моделей микрогравитации. Такие КЭ позволят получить количественные данные о центральных механизмах, ответственных за развитие синдрома послеполетной гипогравитационной атаксии и, в частности, о базисных характеристиках проприоцептивных входов и рефлекторных механизмах, а также об изменении точностных характеристик движений с целью определения основных путей адаптации космонавта-оператора к управлению своими движениями к работе в условиях редуцированного сенсорного обеспечения.

Измеримым параметром моторных выходов космонавта-оператора могут служить:

- число и характер движений, сопутствующих процессу обработки информации;
- точность действий оператора-космонавта.

Отмеченные измеримые параметры позволяют сформулировать критерии эффективности проведения КЭ космонавтом-оператором.

### Критерии эффективности космонавта-оператора

Введем следующие критерии эффективности действий космонавта-оператора.

*Критерий первый* – время действий оператора-космонавта

$$t_{оп} = \alpha I(t) + t_m \quad (2)$$

где  $t_{оп}$  – время действий космонавта-оператора;

$I(t)$  – количество информации, определяемое формулой (1);

$t$  – время;

$\alpha$  – коэффициент сжатия/расширения времени выполнения *решающей функции*;

$t_m$  – время, затрачиваемое на моторные реакции, сопутствующие обработке информации  $I(t)$ .

Время  $t_{оп}$ , затрачиваемое космонавтом-оператором на проведение тех или иных операций при проведении КЭ, оказывается одним из наиболее важных критериев в условиях космического полета, где рабочее время космонавта является чрезвычайно дорогим и ограниченным ресурсом. Однако практическое применение данного критерия требует высокого совершенства методик, учитывая отсут-

ствие количественных мер для многих психологических характеристик космонавта-оператора. В самом деле, коэффициент  $\alpha$  является функцией ряда параметров, некоторые из которых не формализованы

$$\alpha = f(\beta, \kappa, \lambda, \sigma, \mu, \pi, \varepsilon, \gamma, \varphi, \omega), \quad (3)$$

где  $\beta$  – значимость и ценность принимаемой информации;  
 $\kappa$  – способ кодирования информации (структура сигнала);  
 $\lambda$  – вид алгоритма работы;  
 $\sigma$  – сенсорные свойства космонавта-оператора;  
 $\pi$  – объем и свойства памяти;  
 $\varepsilon$  – тип мышления;  
 $\gamma$  – адаптивные качества;  
 $\varphi$  – показатель утомляемости;  
 $\omega$  – показатель эмоциональной сферы.

Время  $t_m$  – функция от тех же параметров, и кроме того от характеристик двигательных реакций  $\mu$  космонавта-оператора

$$t_m = f(\beta, \kappa, \lambda, \sigma, \mu, \pi, \varepsilon, \gamma, \varphi, \omega, \mu), \quad (4)$$

где  $\mu$  – характеристики моторных, преимущественно двигательных реакций (число и характер движений, точность действий космонавта-оператора).

Рассмотрим теперь параметр  $\mu$ , сведя его для простоты к точности действий космонавта-оператора. Под точностью будем понимать степень приближения параметров, характеризующих эргатическую систему проведения КЭ, к заданным постановщиком КЭ и ЦУПом значениям. Ее определим величиной, обратной погрешности  $\delta$ :

$$\delta = |x - x_0| = 1/\mu, \quad (5)$$

где  $x$  и  $x_0$  – соответственно текущее и заданное значение определенного параметра.

На значения  $\delta$ , а значит, и на точность  $\mu$  действий космонавта-оператора влияют состояние внешней среды, взаимное расположение космонавта и НА, а также время топ.

Погрешности, допускаемые оператором в процессе работы, обычно случайны по величине и подчиняются нормальному закону распределения, однако, могут иметь место и иные законы распределения, зависящие от соционического типа космонавта-оператора в связи с поручением ему проводить КЭ определенного вида. Здесь может иметь место сокращение и упрощение сигнала, потеря подробностей, искажение выходного сигнала в сторону более «правильного», симметричного сигнала, преувеличение одних различий в сигналах и преуменьшение других. Встречается смещение к центральной тенденции: например, более длинные входные сигналы сокращаются, а более короткие удлиняются. Обычны ассоциации с предполагаемым сигналом или предыдущим. Может происходить искажение сигнала в сторону запрещаемых или разрешаемых прошедших событий, на которых ЦУП акцентировал внимание космонавта, например, учащение ошибочных фиксаций какого-то явления (вспышек, звуковых сигналов) после указания на пропуск.

Заметим, что хотя параметр  $\mu$  входит в качестве аргумента в первый критерий эффективности топ, его можно применять и как самостоятельный *второй критерий*, поскольку, фактически, это основная квалификационная характеристика.

Даже из повседневной жизни мы знаем, что изменение точностных требований  $\mu$  к одной и той же работе резко изменяет ее характер.

*Критерий третий* – информационная пропускная способность космонавта-оператора.

Формула для оценки пропускной способности имеет вид

$$\rho = I(t) / \text{топ}, \quad (6)$$

где  $I(t)$  – количество информации, определяемое формулой (1);

топ – время действий космонавта-оператора, определяемое формулой (2).

Не следует смешивать понятия пропускной способности и производительности, определяемой по формуле

$$v = Ic(t) / \text{топ}$$

*Критерий четвертый* – надежность космонавта-оператора. Будем оценивать надежность через вероятность  $q(t)$  возникновения ошибки в процессе восприятия информации (сенсорная ошибка), при принятии решения (аналитическая, логическая или вычислительная ошибка), при передаче информации на моторные выходы (моторная ошибка).<sup>10</sup>

#### Формула космонавта-исследователя

Таким образом, к космонавту-оператору как элементу эргатической системы проведения КЭ предъявляются требования осуществлять операторскую деятельность по выполнению научного эксперимента, характеризуемую четверкой

$$\{\text{топ}, \mu, \rho, q\}, \quad (7)$$

являющейся обобщенной характеристикой космонавта-оператора. Если мы добавим сюда соционическую характеристику оператора, то получим пятерку, которая может быть названа формулой космонавта-исследователя.

$$\{\text{топ}, \mu, \rho, q, s\}, \quad (8)$$

где  $s$  – формула соционического типа, обычно записываемая в виде восьми символов, соответствующих восьми психическим функциям.

Например, типы операторов, выбранных выше для описанных КЭ, выглядят так:

- сенсорно-логический интроверт – SPTE/IRLF
- этико-интуитивный экстраверт – ETPS/LFRI
- этико-сенсорный экстраверт – ESPT/LIRF
- этико-сенсорный интроверт – RFLI/PTES

и т.д.

В зависимости от характеристики космонавта, даваемой пятеркой (8), кроме задач обслуживания НА, установки режимов ее функционирования, ремонта, на отдельных космонавтов могут быть также возложены задачи прецизионного измерения уровней факторов, контроля воздействия факторов на ход исследуемых процессов, обнаружения непрогнозируемых эффектов в результате нелинейного

<sup>10</sup> См., например: Николаев В.И. Информационная теория контроля и управления. – Л., «Судостроение», 1973, с. 204–213.

взаимодействия факторов, предварительной оценки, когда это возможно, характеристик полученных материалов, отбор образцов для дальнейших исследований и другие нетривиальные операции.

### **О необходимых экспериментах для получения оценочных данных**

Дооснащение МКС лабораторными модулями, соответствующее увеличение удельного веса КЭ в циклограмме работ на МКС и численности экипажа МКС, а также постановка новых наукоемких КЭ обуславливают необходимость более тщательного распределения КЭ между членами экипажа в соответствии с их личностными характеристиками, а также совершенствования профессиональной подготовки космонавтов как исследователей-экспериментаторов. В качестве первого шага в этом направлении можно начать постановку наземных экспериментов, целью которых будет оценка параметров космонавтов-операторов и выявление их индивидуальных характеристик.

Как мы видели, важнейшим критерием эффективности космонавта-оператора является время топ. Если в формуле (2) положить  $t_m = 0$ , то есть исключить сопутствующих переработке информации затрат времени на движения, то параметр  $\alpha$  можно оценить через скорость прохождения импульса по нервной системе. В топ имеются две составляющие: одна характеризует время ощущения сигнала и обусловлена инерционностью зрения, другая – время опознания сигнала. Таким образом, необходимо провести с космонавтами-операторами ряд экспериментов, в которых исследовалась бы схема и длина маршрутов взора при считывании сигнала, время считывания и доля ошибочных считываний. Что касается решающей функции космонавта, необходимо установить зависимость принятия простейших решений от соционического типа оператора. Время, затрачиваемое на формирование моторных выходов, определяется пропускной способностью космонавта-оператора и также должно быть оценено экспериментально как для двигательных, так и для речевых реакций.

Необходимо экспериментальным путем установить влияние на надежность космонавта-оператора его сенсомоторных возможностей, объема памяти, свойств мышления, эмоциональной устойчивости, а также компенсаторных возможностей, проявляющихся в тем большей степени, чем выше уровень подготовки космонавта, больше его опыт по выполнению тех или иных операций и умение находить способы получения недостающей информации.

Если, как мы сделали выше, оценивать надежность космонавта-оператора вероятностью его безошибочной работы, то главным вопросом становится закон распределения ошибок и их интенсивность. Гипотеза, подлежащая экспериментальной проверке, заключается в том, что характер распределения отличается для разных соционических типов.

### **Заключение**

Итак, развитие соционики и использование ее для подготовки космонавтов, в том числе для подготовки космонавтов-исследователей, позволяет создать методики оценки эффективности космонавта как оператора при проведении различных видов экспериментов в космическом полете.

Эффективность космонавта-оператора при проведении научных экспериментов на борту космических кораблей и станций зависит от его соционической характеристики.



Соционическая типология оказывается полезной в плане выявления подходящих для разных психологических типов космонавтов научных экспериментов.

Возможно построение формализма, использующего как измеряемые, так и оцениваемые параметры космонавта-оператора как звена эргатической системы. При этом для оценки ряда параметров потребуются эмпирические исследования с участием космонавтов.

## АНТРОПОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РИСКОВ В ПРЕДДВЕРИИ СВЕРХДЛИТЕЛЬНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ

И.Б. Ушаков

Чл.-корр. РАН, акад. Российской академии медицинских наук, докт. мед. наук, профессор И.Б. Ушаков (Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ–ИМБП РАН), г. Москва)

С позиций современной антропоэкологии проведен рискометрический анализ потенциальных рисков и угроз, которые актуальны для длительных пилотируемых космических полетов.

**Ключевые слова:** риски космической биотехносферы, экологическая физиология человека, гермообъекты, пилотируемые космические полеты, человеческий фактор.

Отличительной чертой русской классической научно-философской мысли, оказавшей глубокое воздействие на формирование современных научных взглядов, является ориентация на высшие потребности человека будущего и «космизм» научного знания. В этом русле сегодня развивается относительно новое междисциплинарное направление – экология человека. Экология человека (или антропоэкология) как наука стала динамично развиваться только с 60-х годов XX века, что исторически (возможно, далеко не случайно) совпало с началом освоения человеком космического пространства. Сегодня составной ее частью является космическая антропоэкология, представленная комплексом наук об экстремальных условиях обитания человека и о механизмах адаптации живых организмов к этим условиям.

Исходные физико-биологические исследования (с определенным креном в радиологию) [2, 3, 5, 8, 9], ставившие целью выяснение взаимосвязи между земными биологическими и космофизическими процессами, на последующих витках практического освоения человеком космического пространства были существенно расширены [6, 9], и сегодня в фокусе внимания космической биологии и медицины находятся фундаментальные проблемы комплексного изучения широкого спектра различных воздействий на живые организмы и, в том числе, на организм человека. Многолетние исследования в области космической антропоэкологии привели к принципиально новому взгляду на саму возможность и масштабы распространения космической деятельности человечества за пределами околоземного пространства.

Наряду с глобальными закономерностями, имеющими место для биотехносферы в целом, некоторые дополнительные проблемы наиболее отчетливо проявляются в ее новых секторах. Фактически, формирование новых секторов биотехносферы уже осуществляется ускоряющимися темпами в масштабах всей планеты (это, прежде всего, освоение глубинных и прибрежных, шельфовых, зон мирового океана, тундры, подземных залежей полезных ископаемых Арктики, биоресурсов озера Байкал и др.), а с другой, – грандиозные и амбициозные планы мирового сообщества по освоению не только околоземного космического пространства, но и дальних планет солнечной системы – отчетливо выявляет проблему изучения сценариев развития этих секторов с пониманием сущности новых рисков и угроз. При построении космической биотехносферы как искусственной среды обитания

и жизнедеятельности человека, особенно актуальна разработка и совершенствование методологии анализа рисков, присущих человеческому фактору.

Сегодня, через 50 лет после первого исторического запуска человека в космос, стал особенно очевиден тот научный и технический прогресс, который был подготовлен космическими исследованиями, послужившими своеобразным локомотивом для всей технологической сферы. Тем не менее, до настоящего времени выделение понятия «космической биотехносферы» из общего контекста носило достаточно условный характер, поскольку высочайшая степень интеграции наземного комплекса и орбитальных космических средств являлась стержневым условием успешной реализации пилотируемых космических проектов. Только назревшая в последние годы, после успешного выполнения ряда программ длительных полетов на Международной космической станции (МКС), постановка задачи выполнения высоко автономного, длительного и сверхдлительного, пилотируемого космического полета к Луне и Марсу привела, на наш взгляд, к необходимости рассмотрения космической биотехносферы как вполне самостоятельного сегмента, подчиненного своим особым закономерностям.

На наш взгляд, при структурно-функциональном анализе новых сегментов, космической биотехносферы – в первую очередь, необходимо ориентироваться на критерии, сформированные в русле исследований экологии человека с применением концептуальных подходов к учету роли человеческого фактора в сложных человеко-машинных системах и с позиций ранее разработанной нами применительно к авиационной антропоэкологии каскадной схемы противодействия ожидаемым рискам и угрозам для профессионального здоровья и долголетия человека, длительно работающего в условиях изолированных автономных гермообъектов [6].

Правомерность распространения за земные пределы антропоэкологических подходов к защите организма человека вытекает из сегодняшних жестких требований обеспечения безопасности его жизнедеятельности, поддержания высокого уровня работоспособности и способности решать задачи поддержания и продления жизненного цикла высокотехнологических изделий типа ПКО в космическом пространстве.

В «Перечне критических технологий»<sup>1</sup> именно технологии обеспечения жизнедеятельности и защиты организма человека, тесно связанные с задачами космической деятельности России, занимают видное место и, по существу, определяют потенциальные возможности освоения человеком новых секторов биотехносферы.

Суть возникших проблем достаточно хорошо просматривается с позиций анализа тех рисков, которые ожидают экипажи перспективных ПКО и которые лишь до известной степени изучены в прежних и текущих проектах. Традиционно в контексте медико-технического обеспечения пилотируемых космических полетов и в русле фундаментальных проблем космической биологии и медицины наиболее часто рассматривались такие риски, как:

- радиационные воздействия;
- метаболические нарушения, особенно те, которые приводят к нарушениям состава костной и мышечной тканей и к изменениям структуры тканей организма;

---

<sup>1</sup> «Перечень критических технологий РФ» (утв. 21 мая 2006 г., Пр-842).

- кардио-респираторные расстройства и нарушения регуляции вегетативных функций;
- гемодинамические расстройства гравитационного генеза;
- циркадные нарушения, десинхроноз и расстройства сна;
- расстройства локомоции;
- психоастенизация и стресс-индуцированные нарушения психического состояния.

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают изменения в организме в условиях микрогравитации, особенно на уровне клеточных структур и генома.

Естественно, что данным перечнем далеко не исчерпывается круг фундаментальных проблем выявления и скрининга факторов риска в пилотируемых космических полетах, хотя необходимо констатировать, что сегодня еще не получено достаточного объема экспериментального материала, чтобы сделать окончательные выводы в рамках доказательной медицины.

О каких новых значимых факторах и рисках идет речь применительно к длительным экспедициям к другим планетам?

Выполненные многочисленными отечественными и зарубежными учеными (О.Г. Газенко, А.И. Григорьев, Д. Дэвис, Д. Граундс и др.) исследования свидетельствуют о необходимости наращивания усилий в изучении следующих ожидаемых рисков (см. сайт Роскосмоса<sup>2</sup>):

1) генетические и обменно-тканевые риски в длительных полетах из-за существенно иных, чем на Земле и на традиционно используемых для ПКО орбитах, уровнях воздействия физических факторов:

- большая продолжительность полета;
- прямое, не трансформированное магнитосферой Земли, воздействие вариаций солнечного ветра и межпланетного магнитного поля;
- отсутствие сильного магнитного поля Земли;
- чередование сил гравитации различных уровней;
- повышенный уровень космической радиации за пределами радиационных поясов Земли (РПЗ);

2) риски неблагоприятной динамики психического состояния и нарушения работоспособности членов экипажа – психо-эмоциональный фактор, к которому приводят:

- полная автономность марсианского экспедиционного комплекса;
- длительное пребывание экипажа в условиях социальной изоляции, ограниченного пространства и отрыва от земных условий жизни;
- высокая степень ответственности за успех экспедиции в обстановке осознания значительного риска;
- трудности межличностного общения в условиях длительной изоляции при непредвиденных источниках социальных конфликтов и при изменении психического состояния;

3) низкий уровень технически и технологически возможной медицинской поддержки при тяжелых видах расстройств и поражений, трудности дистанционной медицинской диагностики, недостаточная изученность протекания ряда забо-

---

<sup>2</sup> <http://www.federspace.ru/main.php?id=25>

леваний в условиях космического полета и действия традиционно применяемых лекарственных средств; отсутствие технологий заместительной терапии, хирургических и микрохирургических вмешательств, клеточной терапии и др.;

4) физиолого-гигиенические проблемы длительного пребывания в условиях измененной газовой среды, возможные риски поступления в атмосферу гермообъекта продуктов биодеградации материалов рабочего интерьера, изменения состава материалов под действием ряда физических факторов космического полета;

5) ограниченные возможности поступления информационной поддержки и получения новых знаний в контексте неожиданных проблемных ситуаций;

б) необходимость освоения членами экипажа новых компетенций, применительно к которым требуются дополнительные специальные средства направленной тренировки организма и (восстановительной) коррекции функционального состояния.

С технической точки зрения развитие пилотируемых полетов должно быть в первую очередь обеспечено увеличением ресурсов работы технических средств, повышением ремонтпригодности и обеспечением проведения ремонта силами экипажа, пополнением расходуемых материалов, осуществлением внекорабельной деятельности в открытом космосе, обеспечением безопасности и жизнедеятельности экипажей, то есть, фактическим увеличением количества и качества бортовых ресурсов, которые можно активно задействовать, опираясь на возможности членов экипажа и на подготовленность более многочисленных экипажей ПКО.

Кардинальный вопрос – насколько отечественная биологическая и фундаментальная медицинская наука готова к актуальным вариантам развития орбитально-космического сегмента биотехносферы до уровня сегмента межпланетного, как базиса межпланетной космической деятельности?

На сегодняшний день *космическая биология и медицина* – «является самостоятельной областью научных знаний, интегрирующей совокупность биомедицинских исследований и технологий, подчиненных изучению взаимодействия живой системы со всеми факторами космического пространства (невесомость, космическое излучение, искусственная среда обитания в гермозамкнутом объеме космического аппарата)» (Цит. А.И. Григорьев, 2007). Именно благодаря полученным в недрах этой науки уникальным знаниям оказалось возможным построить на начальных этапах полетов человека в космос достаточно простые, но надежные решения, обеспечивающие выживание биологических объектов, а на дальнейших этапах – убрать многие препятствия, «стесняющие» (по определению ВОЗ) жизнь и здоровье человека, и, более того, создать условия для продуктивной деятельности по наращиванию этой сферы, начиная от новых конструкций в космосе за счет внекорабельной деятельности членов экипажа и заканчивая наращиванием модулей станции, несущих различную полезную нагрузку и средства поддержания энергетики, экологии, параметров искусственной газовой среды, утилизации и переработки отходов, очистки воды и воздуха, санитарно-гигиенических средств и т.д.

Поиск адекватных средств поддержания равновесия в орбитально-космическом секторе биотехносферы и в перспективном секторе межпланетной космической деятельности ведется по многим направлениям, включая следующие междисциплинарные направления.

– Изучение воздействия физических полей естественного и искусственного происхождения на биологические системы и человека при выполнении межпла-

нетных полетов в условиях применения различных технологий защиты и профилактики расстройств и механизмов адаптации человека к различным производственным (техногенным) условиям, включая раскрытие молекулярных, структурных и функциональных основ индивидуальной чувствительности и устойчивости организма человека и животных к физическим, химическим и биологическим воздействиям внешней среды с разработкой тестов для экспресс-диагностики; выделение локальных и интегральных «маркеров» уровня способности к адаптации, позволяющих осуществлять индивидуальный отбор лиц для работы в наиболее сложных прогнозируемых условиях космических экспедиций.

– Разработку методов физико-химической и молекулярной биологии, геной и клеточной инженерии в задачах долговременного прогноза возможных нарушений состояния здоровья членов экипажа в межпланетных полетах, в том числе, на основе новых методов геной диагностики рисков сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ).

– Создание новых биотехнологических и биотехнических систем для решения задач сохранения безопасности среды обитания в гермообъектах, разработка методов и средств для решения задач сохранения устойчивости экологического равновесия в гермообъектах.

– Создание новых поколений систем жизнеобеспечения и защиты членов экипажа ПКО в экстремальных ситуациях, разработка методов и средств медикотехнического обеспечения членов экипажа, пострадавших в результате чрезвычайных происшествий на борту ПКО, расширения средств индивидуальной защиты и спасения, включая элементы «умной одежды», микроминиатюрных средств мониторинга состояния жизненно важных функций в условиях экстремальной среды, средств визуализации состояния самого человека и его партнеров при выполнении опасных операций и др.

– Обеспечение экологической безопасности гермообъектов в составе многоэлементного ПКО, разработка методов и средств оперативного токсикогигиенического контроля среды обитания, прогнозирования и ликвидации последствий аварий на гермообъектах, способов ручного и автоматического (с применением робототехнических систем) выполнения «бытовых» операций по переработке отходов жизнедеятельности и вредных примесей в воздухе, воде и на рабочих поверхностях рабочих зон в гермообъектах, выполнение комплекса санитарно-гигиенических мероприятий, обеспечивающих поддержание уровней микробной загрязненности воздуха и поверхностей в пределах нормативных показателей (жизнедеятельность микроорганизмов в среде космического объекта может сопровождаться возникновением как медицинских, так и технологических рисков, в основе которых лежит резидентное заселение декоративно-отделочных и конструкционных материалов интерьера и оборудования бактериально-грибными ассоциациями); оптимизация энергопотребления при выполнении рабочих операций с учетом пребывания космонавтов в конкретных рабочих зонах и работы с конкретным видом оборудования и полезной нагрузки.

– Создание новых робототехнических систем медицинского назначения, позволяющих обеспечить дозированную нагрузку различных мышечных групп и способствовать не только восстановлению нарушенных функций выполнения различных двигательных актов, но и восстановление присущего индивиду двигательного стереотипа на основе экспертных знаний о его индивидуальном портрете выполнения двигательных функций и особенностях достижения необходимой физической формы.

– Разработку научных основ и принципов построения робототехнических систем (технология экзоскелетона) для обеспечения внекорабельной операторской деятельности, требующих длительного поддержания двигательной активности при экстремально высоких физических нагрузках на основе моделирования биомеханики сложных систем «человек – защитная робототехническая конструкция», управляемая на принципах биообратной связи.

Применительно к проблемам длительных космических полетов особый интерес представляют новейшие методы физико-химической и молекулярной биологии, генной и клеточной инженерии в задачах защиты организма от повреждений при измененных уровнях воздействия физических факторов.

– Исследование механизмов снижения резистентности организма на тканевом и клеточном уровнях в условиях применения измененных уровней воздействия физических факторов внешней среды с прогнозом ближайших и отдаленных последствий для сохранения здоровья, работоспособности и профессионального долголетия космонавтов.

– Исследование обменных процессов, определяющих иммунно-биохимический и пищевой статус организма, молекулярных аспектов регуляции висцеральных функций, молекулярных механизмов регуляции проницаемости кровеносных капилляров и механизмов ангиогенеза, молекулярная физиология водно-солевого обмена, а также энергетические возможности человека при выполнении различных видов тяжелого физического и умственного труда, риски развития дезадаптивных расстройств регуляции тканевого гомеостаза для диагностики, оказания медицинской помощи пострадавшим.

– Исследование базовых закономерностей генетических и серологических маркеров особо опасных и социально значимых заболеваний, развивающихся вследствие хронических профессиональных вредностей и профессиональных стрессов, способов лечения, профилактики хронических неинфекционных заболеваний, течение которых может в длительных полетах отличаться от заболеваний в обычных условиях, защиты организма человека в условиях потенциально опасных трансформаций биообъектов искусственной среды обитания человека.

– Разработка новых способов восстановительного лечения и реабилитации космонавтов с восстановлением нарушенных функций организма на основе знаний их системной организации, включая уровни тканевых и внутриклеточных повреждений, при воздействии различных типов поражающих факторов межпланетного космического полета.

– Разработка способов регуляции биологических процессов организма космонавта в условиях действия факторов как хронического, так и острого (в т.ч. травматического) стресса для профилактики и купирования стресс-индуцированных расстройств.

– Исследование способов оценки на основе молекулярно-биохимических и биологических методов токсичности, канцеро- и тератогенности разрабатываемых специальных материалов, предназначенных для применения на новых образцах бортового оборудования ПКО, при комплексной защите организма космонавта, при стимуляции физической и умственной работоспособности.

– Исследование способов детекции и установления физико-химической структуры веществ, которые могут образовываться при разрушении новейших (в т.ч. нано-) материалов, применяемых в конструкции ПКО и приводящих к снижению функциональной активности и умственной работоспособности космонавтов,

особенно на этапах принятия ответственных решений в контексте обеспечения безопасности работ на ПКО.

– Медико-биологическое (в том числе, токсиколого-гигиеническое) изучение физических и химических факторов малой интенсивности, порогового и подпорогового воздействия на функциональные структуры организма человека, приводящих к клеточным и тканевым нарушениям.

– Исследование молекулярных механизмов защитных эффектов адаптации и способы повышения устойчивости человека к повреждающим факторам – холоду, гипоксии, физическим перегрузкам, пребыванию в космических полетах; особенностей восстановительных процессов у человека при прерывистом или длительном постоянном проживании и работе в экстремальных условиях; срочных и долгосрочных молекулярных механизмов адаптации к измененным газовым средам (в том числе, гипоксической и гипероксической газовой среде, газовой среде с биоактивными компонентами) с целью их оптимизации и использования для направленного изменения состояния организма космонавтов.

– Исследование способов клеточной терапии на основе криогенного хранения клеточного и тканевого материала и способов симуляции репаративных процессов в ране в случае возникновения этой ситуации на борту ПКО.

– Исследование механического поведения биологических тканей при силовом воздействии при различных видах статического и динамического нагружения, а также анализ биомеханических характеристик опорно-двигательного аппарата человека и изучение роли кинестетической информации в пространственной ориентации и обеспечении устойчивости сложной биомеханической конструкции при различных внешних возмущающих воздействиях.

Для своевременного реагирования на возникновение потенциальных угроз в длительных пилотируемых полетах необходимо решать на качественно новом уровне и такие практические задачи, как:

– исследование иммуно-биохимических коррелятов развития психогенно-обусловленных расстройств у космонавтов в условиях профессионального стресса и механизмов снижения резистентности к стрессирующим условиям профессиональной деятельности;

– исследование молекулярных механизмов сохранения гомеостаза при длительном пребывании космонавтов в искусственно модифицированных газовых средах в гермообъектах, в т.ч. механизмов транспорта кислорода в организме в условиях измененной газовой среды, изменения в этих условиях гемодинамики и показателей гемостаза;

– изучение механизмов регуляции теплового состояния человека в экстремальных условиях при использовании материалов с термоаккумулирующим эффектом на основе нанотехнологий и в интересах создания «умной одежды» с улучшенными физиолого-гигиеническими характеристиками;

– исследование способов детекции генетических отклонений для экспертно-освидетельствования состояний дезадаптации; медико-генетическое прогнозирование для выявления лиц, имеющих склонность к онкологическим, ССЗ и другим заболеваниям и др.

Представленный обширный перечень рисков, с которыми уже сталкивался человек в пилотируемых космических полетах и с которыми ему, очевидно, еще только предстоит иметь дело в перспективных проектах, приводит к постановке задачи охватить единой методической схемой тот комплекс работ, который надо



выполнить в интересах минимизации всех рисков и их потенциальных негативных последствий для здоровья человека, его безопасности и работоспособности. Наиболее естественно построить такую схему с позиций системно-структурного анализа в контексте базовых подходов космической эргономики и космической антропоэкологии. В данной работе мы дадим несколько более широкую трактовку предложенной ранее концепции, которая в своей основной редакции предполагает систематизированный учет разнообразных факторов, анализ их сочетанного эффекта, количественные меры риска медико-биологических последствий и эффективной дозы каждого фактора и заключается в последовательном структурировании неблагоприятных воздействий и просчете рациональных сценариев реализации профилактики нарушений здоровья человека в данных конкретных условиях. Чтобы судить о возможных мерах защиты организма и обеспечения требуемого уровня работоспособности человека в конкретных условиях жизнедеятельности предлагается методология, согласно которой структурная схема включает три каскада (рис. 1).

Первый – **каскад повреждения**, вокруг которого выстраивается вся многоуровневая система мер противодействия факторам и их эффектам. В этом своем каскаде схема отражает пространственно-временную последовательность вредоносных проявлений и включает следующие звенья рассматриваемых воздействий: фактор (или факторы), систему «человек – машина – среда», острые психо-медико-биологические нарушения, отдаленные последствия в состоянии здоровья, нарушение профессионального здоровья, сокращение долголетия, генетические последствия.

Второй – **каскад априорных мер**, снижающих уровень прогнозируемого риска нарушений на этапах пролонгированного отбора и профессиональной подготовки космонавтов, а также проведения проектных и отладочно-испытательных работ эргономической направленности для оптимизации системы «человек – техника» по многочисленным психофизиологическим, физиолого-гигиеническим и медико-техническим критериям. Помимо медицинского и психологического, отбор включает прогнозирование (с фенотипированием) устойчивости организма человека, донозологическую диагностику ранних нарушений состояния здоровья, врачебную экспертизу и постоянный мониторинг состояния индивидуального здоровья космонавтов на принципах персонализированной медицины и индивидуального подхода к оценке функциональных резервов организма.

Третий – **каскад профилактики и коррекции развивающихся нарушений**. Отражает многоуровневую систему медико-биологических и психофизиологических «препятствий» действию каскада повреждений и включает нормирование факторов, эргономически оптимизированные системы активной защиты и спасения (при необходимости) при неустраняемых критических отказах системы «человек – машина», средства индивидуальной и коллективной защиты, специальные способы тренировки и обучения, развитие профессионально-важных психофизиологических качеств, методы повышения резистентности организма и устойчивости к факторам, стресс-устойчивости, а также коррекцию, восстановление и реабилитацию.

В несколько упрощенном изложении принципы построения «структурно-функциональной организации» каскадной схемы достаточно естественны:

1) риск нарушений профессионального здоровья является функцией дозы, которая в свою очередь может быть дифференцирована на экспозиционную, поглощенную и эффективную;

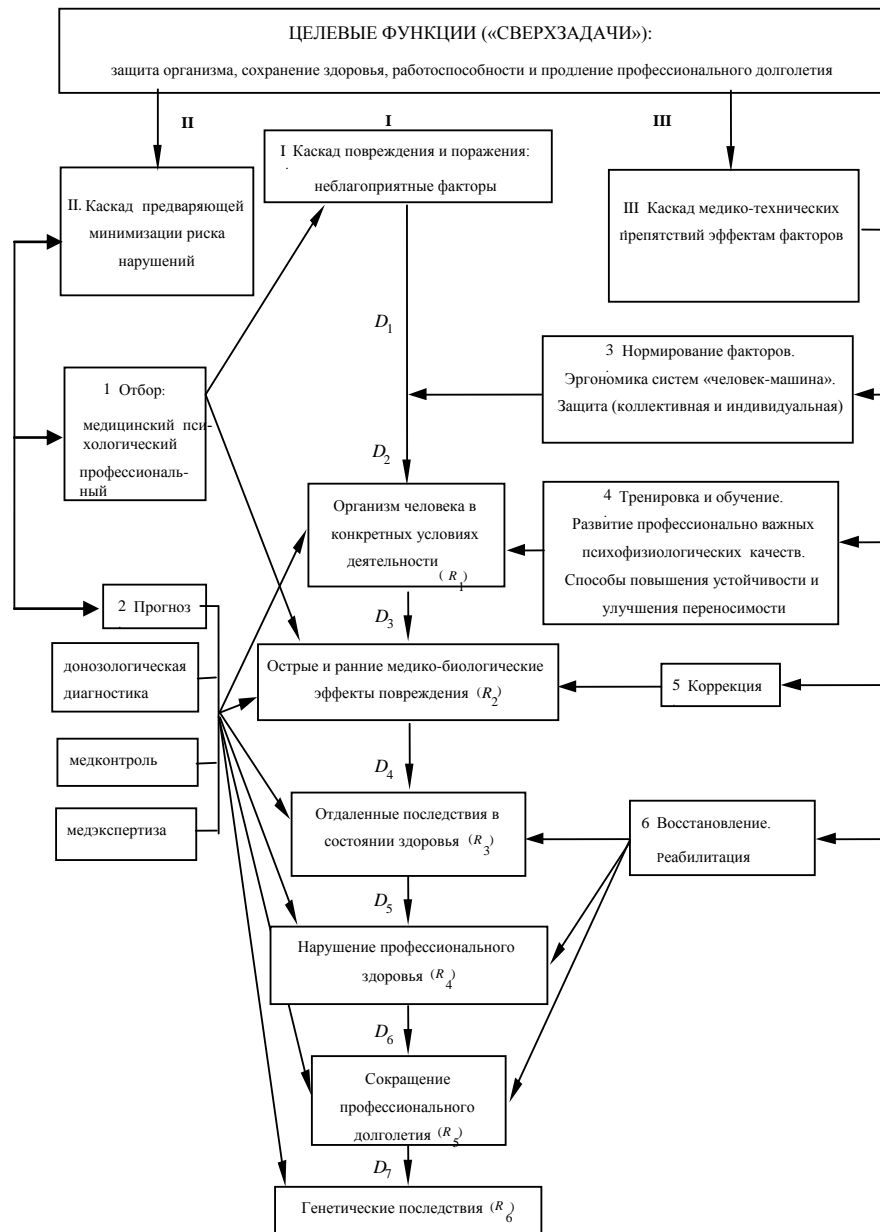


Рис. 1. Профилактическая каскадная концепция защиты организма человека и повышения его устойчивости к действию неблагоприятных факторов, специфичных для новых секторов биотехносферы, и особых условий напряженной (опасной) профессиональной деятельности

(Принципы каскада:  $R_7 = f(D_7)$ , где  $D_1, D_2, D_3 \dots D_7$  – экспозиционная, поглощенная и эффективные дозы воздействия  $n$  факторов соответственно, причем  $D_1 > D_2 > D_3 \dots > D_7$ ;  $R_1 \dots R_6$  – риск воздействия фактора или развития повреждающих эффектов, причем  $R_1 > R_2 > R_3 \dots > R_6$ )

2) включение звеньев второго и третьего каскадов позволяет постепенно снижать эффективную дозу фактора, что ведет к снижению риска неблагоприятных последствий.

На наш взгляд, предложенная нами каскадная схема сегодня может рассматриваться как базовая методология проективной космической антропоэкологии в приложении к новым секторам искусственной биотехносферы (на примере обитаемых космических гермообъектов) для оценки их ресурсов и пределов устойчивости конкретных образов гермообъектов, прежде всего, с позиций потребностей учета человеческого фактора. Одна из позиций, которая модифицируется с точки зрения методологии анализа устойчивости биотехносферы: деятельность человека может нанести вред и непредвиденный ущерб не только всей окружающей среде, но и той искусственной среде, в которую он помещен в гермообъекте, а также привести к нарушению взаимодействия разных секторов биотехносферы, которые образуют сложнейшие технологические комплексы (орбитальные станции – ЦУП – наземные центры поддержки космической деятельности, проектные организации и фирмы – изготовители ракетно-космической техники, Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, НИУ РАН и ВУЗы и др.). При реализации наихудшего сценария вред наносится самому человеку и перспективам успешной космической деятельности. Другими словами, для преломления данной каскадной схемы в интересах оценки ресурсов и устойчивости проектируемого сектора биотехносферы необходима оценка рисков и угроз как членам экипажа (центральному звену обитаемой станции), тех угроз, которые несет неучет человеческого фактора в отношении рисков отказов человеческого звена, а также и тех отказов, которые вытекают из недостатков проектирования новой среды обитания человека и поддержки его деятельности. Целый ряд новых аспектов порождает невозможность априорно просчитать на Земле все риски и повышенные нагрузки на биотехносферу, и остается только придавать ей свойства повышенной «прочности», стабильности и запаса ресурсов. Каскад профилактики в этом случае представлен, в том числе, продуктивной деятельностью экипажа по парированию неожиданных полетных ситуаций, восстановлению технических систем после сбоев и наладка технологического оборудования в космосе. Показательный пример – внекорабельная деятельность экипажа, в процессе которой проверялось защитное покрытие космического объекта, восстанавливалась работоспособность узлов стыковки, применялись роботы – манипуляторы для перемещения грузов. Еще один показательный пример – восстановление работоспособности оборудования спутника – телескопа Хаббл.

Особо необходимо выделить направление развития биотехнологических работ на ПКО. Полученные уже на сегодня результаты впечатляют своими перспективами (сайт Роскосмоса). Работа с микробиологическими культурами биодеградантов нефти и нефтепродуктов, а также со штаммами, используемыми для препаратов средств защиты растений, культурами клеток высших растений, позволила получить варианты культур после их экспозиции в космосе, значительно превышающие по активности исходные штаммы. Эксперименты по рекомбинации микроорганизмов в условиях орбитального полета показали реальную возможность 100%-ной передачи генетического материала между отдаленными видами, что позволяет получать уникальные гибриды с новыми заданными свойствами. Эксперименты в условиях микрогравитации по электрофоретической очистке и разделению белковых и клеточных биообъектов подтвердили возможность и эффективность использования этих методов в целях наработки опытных и опытно-

промышленных партий особо чистых и высокооднородных хозяйственно-ценных биологически активных веществ. Очевидно, что такие результаты непосредственно определяют вектор развития космической биотехносферы.

Сложность и масштабность задач изучения всех сторон нового сегмента космической биотехносферы в варианте марсианской экспедиции обусловили проведение специального наземного эксперимента по моделированию полета на Марс в ГНЦ РФ–ИМБП РАН с продолжительностью моделирования до 520 суток в наземном экспериментальном комплексе. Эксперимент выполняется как международный с участием в составе экипажа специалистов разных стран.

Данный эксперимент с изоляцией добровольцев в герметичном объекте ограниченного объема позволяет с определенной степенью подобия воссоздать межпланетную биотехносферу и смоделировать некоторые факторы и условия марсианского полета:

- сверхдлительность (1,5–2 года);
- высокая степень автономности (невозможность допоставки грузов, изменения состава экипажа и досрочного возвращения на Землю; автономное поведение экипажа);
- невозможность оказания срочной помощи;
- лимитированность ресурсов;
- социальная депривация (ограничение контактов и информации);
- измененные условия коммуникации (задержка и временное отсутствие информационного обмена).

Подведение промежуточных итогов данного уникального эксперимента ожидается в 2011 году, что позволит сделать следующие шаги по моделированию и детализировать комплекс предпринимаемых мер и выбор способов защиты членов экипажа и профилактики неблагоприятных последствий рисков и угроз согласно описанной каскадной схеме.

По-видимому, следует особо выделить необходимость моделирования различных бортовых биотехнологических производств и «бытовых» комплексов работ экипажа по эксплуатации систем жизнеобеспечения, что важно при разработке различных схем очистки производственных стоков и твердых отходов. При этом нельзя забывать, что подобные биотехнологические производства сами по себе могут быть опасными как для обслуживающего персонала, так и для потребителей продукции, тем более, что и в том, и в другом случае выступают члены экипажа.

С учетом изложенных положений об актуальности изучения космической биотехносферы в свете каскадной концепции защиты организма человека в длительных и сверхдлительных пилотируемых космических полетах можно констатировать необходимость дальнейших проработок узловых проблем антропоэкологии применительно к длительно функционирующим космическим гермообъектам. Успешное решение задач по проектированию и реальному воплощению автономной полнофункциональной среды для обеспечения жизнедеятельности экипажа ПКО (с улучшенными характеристиками в отношении безопасности для человека и устойчивой к внешним и внутренним возмущающим воздействиям) в значительной степени зависит от того, насколько успешно будут решены принципиальные антропоэкологические вопросы безопасности жизнедеятельности человека и защиты организма с учетом прогнозируемых рисков и угроз. В их числе [1, 4–6]:

- удовлетворение постоянно растущих потребностей человечества, повышение показателей его энерговооруженности и транспортного обеспечения, а также

улучшение состояния здоровья и качества жизни, в том числе, в психо-социальных и медицинских аспектах;

– экологизация деятельности человека с учетом человеческого фактора и гуманизация сфер применения новых технологий;

– радикальное улучшение показателей безопасности труда, защищенности лиц опасных профессий, характеристик защитного снаряжения, средств спасения, рабочих искусственной среды обитания применительно к условиям жизнедеятельности в гермообъектах;

– решение проблем долговременного пребывания и эффективной деятельности коллектива специалистов (экипажа/экипажей) в условиях постоянно действующих орбитальных станций, станций-поселений на Луне и Марсе, станций на гелиоцентрических орбитах с гарантией безопасности по радиационному фактору и другим неблагоприятным факторам внеземной среды обитания;

– создание новых поколений систем жизнеобеспечения и защиты организма человека от опасных факторов космического полета и потенциально негативных факторов космического пространства и применения новых технологий, существенное улучшение показателей профессионального здоровья и профессионального долголетия лиц опасных профессий, постоянно работающих в необычных и напряженных условиях труда.

Можно полагать, что никакой «рукотворный» продукт нельзя назвать абсолютно безопасным, тем более, когда речь идет о сложнейших технологических комплексах обеспечения жизнедеятельности человека в особых условиях, а тем более целых новых сегментов биотехносферы. Именно поэтому надо уметь выстраивать стратегию на снижение выявляемых и прогнозируемых рисков и конкретные методические разработки, направленные на анализ потенциальных угроз и способы их парирования, причем не «одномоментного», а, возможно, в соответствии со сложным сценарием, организацией многозвенного сложно опосредованного процесса реализации профилактических, защитных и коррекционных мероприятий.

Можно с уверенностью утверждать, что от развития широкомасштабных исследований в области космической антропозологии человека ожидается не только получение эффективных решений прикладных научно-практических задач, но новых научных представлений о разных сферах жизни человека и общества и уникальных достижений общечеловеческой культуры. Тесная взаимосвязь космической отрасли со всеми областями человеческой деятельности настоятельно требует не только повышения возможностей существующих и разработки новых средств для решения традиционных для космонавтики задач, но и решения новых целевых задач в интересах удовлетворения потребностей все более широкого круга потребителей космических технологий и услуг<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аллен Дж., Нельсон М. Космические биосферы / Пер. с англ.; Под ред. В.С. Городинской; Посл. Ю.А. Школенко. – М.: Прогресс, 1991. – 128 с.
- [2] Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. – 261 с. Казначеев В.П., Спиринов Е.А. Космопланетарный феномен человека: проблемы комплексного изучения. – Новосибирск, 1991. – С. 36–57.

<sup>3</sup> [www.federalspace.ru/download/fkp\\_2015\\_for\\_site.doc](http://www.federalspace.ru/download/fkp_2015_for_site.doc)

- [3] Кричевский С.В. Аэрокосмическая деятельность: методологические, исторические, социо-природные аспекты: Монография. – М.: Изд-во РФГС, 2007. – 316 с.
- [4] Семененя И.Н. Космическая экология человека /И.Н. Семененя // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук.– 2004. – № 1. – С. 89–96.
- [5] Ушаков И.Б. Экологический риск и качество жизни // Экология человека. № 6, 2004. – С. 7–14.
- [6] Ушаков И.Б. Физиология труда и надежность деятельности человека / И.Б. Ушаков, Ю.А. Кукушкин, А.В. Богомолов; под ред. А.И. Григорьева; Отделение биологических наук РАН. – М.: Наука. 2008. – 317 с.
- [7] Циолковский К.Э. Путь к звездам. – М., 1960. – 353 с.
- [8] Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1974. – 350 с.

**ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ЦЕНТРИФУГЕ  
С УПРАВЛЯЕМЫМ КАРДАННЫМ ПОДВЕСОМ  
В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ**

Л.И. Воронин, Р.Р. Каспранский, В.Н. Киршанов,  
В.В. Александров, В.А. Садовничий

Профессор, акад. Международной академии астронавтики Л.И. Воронин; канд. мед. наук, доцент Р.Р. Каспранский; В.Н. Киршанов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок)  
Профессор В.В. Александров; акад. РАН В.А. Садовничий (МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва)

В статье рассмотрены возможности моделирования динамических факторов космического полета на центрифуге с управляемым карданным подвесом и вакуумной установкой для создания избыточного и отрицательного давления на нижнюю половину тела в интересах обеспечения перспективных космических программ. Показано, что такая комбинация позволяет в динамической последовательности и в реальном масштабе времени моделировать физиологические эффекты, обусловленные чередованием воздействия перегрузок и невесомости в цикле орбитальных и межпланетных полетов.

**Ключевые слова:** центрифуга, вакуумная установка, избыточное давление на нижнюю половину тела, гравито-инерционный вектор, моделирование.

Принципиальной особенностью центрифуги ЦФ-18 Центра подготовки космонавтов является расположение ее кабины на управляемом трехступенном карданном подвесе. Это с помощью программного управления центрифугой позволяет воспроизводить любые, меняющиеся по величине и направлению профили перегрузок, характерные как для орбитальных, так и для межпланетных полетов, а также моделировать статокINETические (вестибулярные) раздражения, наблюдаемые в условиях невесомости. Отмеченная особенность в принципе позволяет в динамической последовательности и в реальном масштабе времени моделировать физиологические эффекты, обусловленные:

- воздействием перегрузок при выведении корабля на орбиту искусственного спутника Земли;
- переходом от воздействия перегрузок к воздействию невесомости;
- орбитальными и межпланетными участками полетов;
- воздействием перегрузок после моделирования физиологических эффектов невесомости при спуске корабля с орбиты на Землю или другие планеты и др.

Существенным моментом моделирования невесомости как на орбитальном, так и на межпланетных участках полетов является перераспределение жидких сред организма человека в направлении к голове и развитие сенсорного рассогласования (конфликта), провоцирующих появление иллюзий и болезни движения, что может неблагоприятно влиять на работоспособность космонавтов.

Перераспределение жидких сред организма человека в направлении к голове может быть достигнуто антиортостатическим положением в кабине центрифуги или с помощью создания избыточного давления на нижнюю половину тела (ИДНТ).

Для сочетанного моделирования перераспределения жидких сред организма человека по направлению к голове и внутрилабиринтных эффектов невесомости нами предложен способ, при котором акселерационные раздражения рецепторов полукружных каналов осуществляются в условиях, при которых отолиты и другие гравитозависимые рецепторы практически не получают информацию об изменении положения тела относительно земной вертикали. Ниже излагается принцип моделирования этих условий.

Если вращением центрифуги циклически изменять направление суммарного гравито-инерционного вектора, например, в диапазоне 0–18 градусов, то его величина будет меняться в диапазоне 0–5%, то есть колебаться в пределах 1,0–1,05 ед. Величина центробежной силы должна циклически изменяться при этом в диапазоне 0–0,32 ед. (рис. 1).

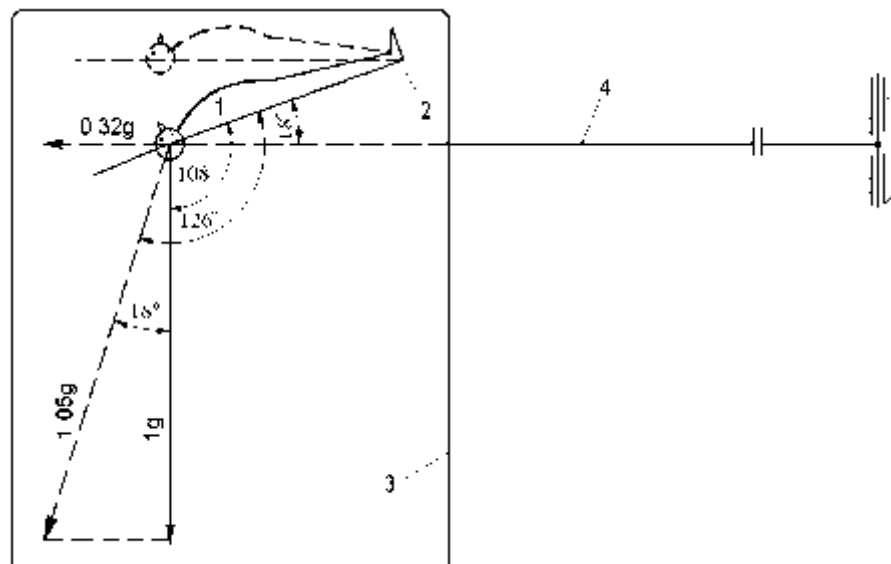


Рис. 1. Динамика моделирования гемодинамических и внутрилабиринтных эффектов невесомости (объяснение в тексте)

(1 – испытуемый; 2 – ось маятниковых колебаний плоскости с испытуемым;  
3 – кабина центрифуги; 4 – плечо центрифуги)

Расположим испытуемого в центрифуге на мягкой плоскости в антиортостатическом положении под углом 18 градусов к горизонту или, что одно и то же, под углом 108 градусов к направлению вектора гравитации, т.е. к вертикали ногами к центру вращения центрифуги. Таким путем воспроизводим перераспределение крови, характерное для невесомости.

Вращением центрифуги (или ее маятникообразными колебаниями вокруг оси вращения) начнем циклические изменения центробежной силы, а значит величины и направления суммарного гравито-инерционного вектора в указанных диапазонах с частотой, выбранной, например, в диапазоне 0,3–0,5 герца. Если



плоскость, на которой находится испытатель, при этом не изменяет свое положение относительно горизонтали, то испытатель будет подвергаться циклическим изменениям антиортостатического положения в диапазоне 18–36 градусов или в диапазоне 108–126° по отношению к суммарному гравитоинерционному вектору (изменением величины вектора (5%) в этих условиях можно пренебречь, тем более, что он действует поперек тела, когда сила тяжести распределяется на большие площади опоры).

Начнем синхронные циклические изменения величины центробежной силы в диапазоне 0–0,32 ед. и угла антиортостатического положения в диапазоне –18°–0° относительно горизонта маятникообразным колебанием плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей на уровне стоп, соблюдая условие, при котором угол между осью испытателя и суммарным гравитоинерционным вектором постоянен и равен 18°.

В процессе циклических изменений центробежной силы в диапазоне 0–0,32 ед. (или, что одно и то же, скорости вращения центрифуги) появится тангенциальная сила, циклически изменяющаяся по величине и направлению во фронтальной плоскости испытателя (знакопеременная перегрузка бок-бок). Поэтому для строгого сохранения положения головы и отолитов относительно суммарного гравито-инерционного вектора плоскость должна также совершать маятникообразные колебания вокруг продольной оси испытателя. При увеличении центробежной силы и выравнивании по отношению к горизонту, плоскость с испытателем должна одновременно фронтом разворачиваться в сторону движения центрифуги и наоборот, отслеживая при этом одинаковую ориентацию отолитов по отношению к направлению суммарного гравито-инерционного вектора.

Таким образом, в описанных, реальных для воспроизведения на Земле условиях моделирования на центрифуге ЦФ-18, несмотря на то, что человек подвергается сложным эволюциям в пространстве, отолиты и другие гравитозависимые рецепторы при раздражении рецепторов полукружных каналов не получают информацию об изменении положения тела относительно земной вертикали. Следует отметить, что выше рассмотрен лишь частный из множества случаев, исходные условия которых по замыслу исследователя могут быть различными. Так, например, диапазон изменения величины суммарного гравитационного вектора может быть сужен или расширен. Частота циклических синхронных изменений рассмотренных параметров, по-видимому, должна находиться в диапазоне, близком к 0,3–2,0 герц, что соответствует наиболее вероятным частотам колебания головы в процессе профессиональной деятельности, а следовательно и в процессе функциональных диагностических исследований. В принципе, антиортостаз может быть воспроизведен при расположении человека в горизонтальной плоскости и создании вращением на центрифуге перегрузки ноги-голова.

Ниже приведена зависимость между углом поворота плоскости с человеком и радиальным ускорением при сохранении заданного угла между продольной осью тела и суммарным вектором ускорения (см. также рис. 2)

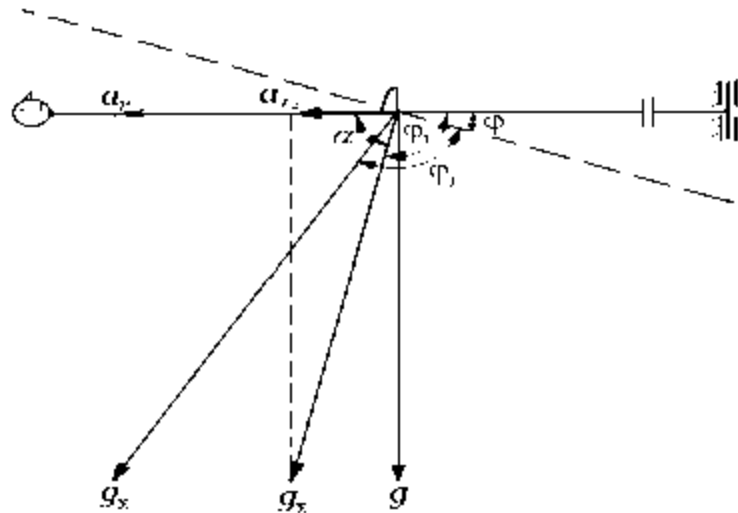


Рис. 2. Зависимость между углом поворота плоскости с человеком и радиальным ускорением (объяснение в тексте)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{1}{a_r}$$

где:  $\alpha$  – угол между вектором суммарного ускорения  $g_{\Sigma}$  и вектором радиального ускорения  $a_r$ ;

$$\varphi_0 = 180 - \operatorname{arctg} \frac{1}{a_{r_1}}$$

$\varphi_0$  – угол между продольной осью тела и суммарным вектором ускорения, выбранный из начальных условий;

$$g_{\Sigma} = \sqrt{g^2 + \omega^2 R};$$

$$a_{r_1} = 0.2g \text{ и направлено вдоль тела};$$

$$a_r = \omega^2 R;$$

$\omega$  – угловая скорость вращения;

$R$  – радиус вращения.

Найдем угол поворота плоскости  $\varphi$  при заданном радиальном ускорении  $a_{rref}$  и сохранении  $\varphi_0$ :

$$\varphi = 180^\circ - \varphi_0 - \alpha = \operatorname{arctg} \frac{1}{a_{r_1}} - \operatorname{arctg} \frac{1}{a_{rref}};$$

Если задан угол поворота плоскости  $\varphi$  и необходимо сохранить  $\varphi_0$ , то можно вычислить радиальное ускорение  $a_r$ , которое будет действовать при этих условиях:

$$a_r = \frac{1}{\operatorname{tg}(180^\circ - \varphi_0 - \varphi)}.$$

Смещением горизонтальной оси маятникообразных колебаний плоскости к голове или от головы можно уменьшить или увеличить в заданных пределах радиус, а следовательно и амплитуду колебаний, не изменяя при этом ориентацию отолитов относительно суммарного гравито-инерционного вектора.

Можно также создать условия, при которых раздражение рецепторов полукружных каналов при отсутствии тангенциального смещения отолитов будет осуществляться при отслеживании телом человека положения, перпендикулярного направлению суммарного гравито-инерционного вектора. Усиление перераспределения жидких сред организма по направлению к голове может быть достигнуто в этих условиях с помощью создания избыточного давления на нижнюю половину тела.

В обобщенной форме сущность рассмотренного моделирования может быть сформулирована следующим образом: на фоне моделирования перераспределения крови к голове создаются с помощью вращения циклические изменения направления суммарного гравито-инерционного вектора в заданном диапазоне. Синхронно с изменением направления суммарного вектора отолиты ориентируются в пространстве таким образом, чтобы в изменяющихся условиях движения суммарный гравито-инерционный вектор действовал на них под постоянным углом. При выполнении этих условий раздражаются рецепторы полукружных каналов. Учитывая, что человек в этих условиях находится в кабине центрифуги в положении «лежа» и 5-процентное изменение веса распределяется на относительно большую площадь опоры профилированного ложементы для головы, туловища, рук и ног, он не ощущает изменений ни величины, ни направления гравитоинерционного вектора.

В физиологическом аспекте в рассмотренных условиях моделирования раздражаются рецепторы полукружных каналов, что имеет место в условиях невесомости, но практически исключается информация с отолитов и других анализаторов пространственного положения об изменении направления гравито-инерционной «вертикали», что тоже имеет место в условиях невесомости, но до сих пор не моделировалось ни на одном из наземных стендов, кроме центрифуги ЦФ-18 с ее трехстепенным кардановым подвесом. Человек в рассмотренных условиях моделирования синхронно совершает маятникообразные колебания в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях и при этом на фоне раздражения рецепторов полукружных каналов не воспринимает другими сенсорными системами перемещений в пространстве, или его восприятия иллюзорны.

Для последовательного (сквозного) моделирования динамических факторов космического полета нами предложен стенд, представляющий собой комбинацию центрифуги ЦФ-18 с вакуумной установкой, схема которого представлена на рис. 3.

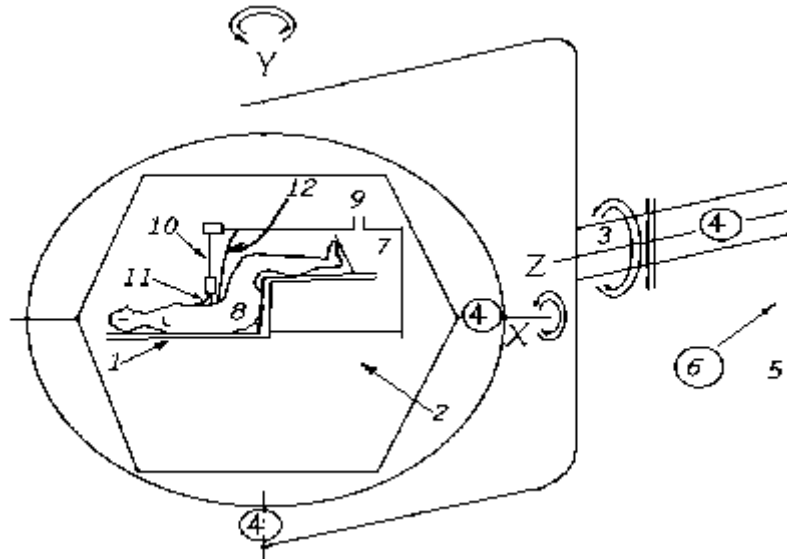


Рис. 3. Стенд для моделирования физиологических эффектов гравитоинерционных изменений в цикле космического полета (объяснение в тексте)

Стенд, как видно из рис. 3, содержит кресло (1), расположенное в кабине центрифуги (2), являющейся частью трехступенного карданного подвеса, плечо центрифуги (3), программно управляемые приводы вращения и фиксации в заданном положении кабины (4), кольца, вилки и плеча (5), программный пульт управления стендом (6), вакуумную установку (7), в которой располагается нижняя половина тела испытуемого (8), компрессор (9), жесткую (10), наружную (11) и внутреннюю (12) эластичные герметизирующие шторки.

Сочетание жесткой и эластичных шторок предназначено для обеспечения надежной герметизации вакуумной установки в области живота и выдерживания одинаковых условий герметизации при проведении исследований и тренировок с целью получения сопоставимых результатов. Жесткая шторка выполняется 3–5 размеров для контурного облепания живота различных обследуемых в области герметизации. Наружная и внутренняя эластичные шторки выполняются из эластичной ткани в форме юбки и фиксируются (приклеиваются) одним краем к вакуумной установке по ее периметру, второй край облепает живот в месте герметизации. При создании в вакуумной установке ИДНТ нагружается внутренняя эластичная шторка, при ОДНТ (отрицательное давление на нижнюю половину тела) – наружная. При нагрузке на эластичную шторку она удерживается жесткой и, таким образом, почти полностью исключается нагрузка на живот обследуемого с прилегающих поверхностей. Применение одной жесткой шторки не позволяет добиться надежной герметизации без надлежащего обжатия тела в области герметизации. Применение только эластичных шторок приводит к их сползанию при изменении давления в вакуумной установке. Такое сползание в принципе можно предотвратить без жесткой шторки, например, плотным обжатием эластичных

шторок вокруг живота ремнем. Однако из законов гидродинамики следует, что при уменьшении за счет обжатия ремнем радиуса, например, нижней полой вены на 1 мм количество оттекающей по ней крови может уменьшиться на 25–30% (согласно формуле Пуазейля количество оттекающей из трубки жидкости при прочих равных условиях есть функция четвертой степени радиуса). В этих условиях для обеспечения должного оттока при выраженном обжатии живота значительно повышается венозное давление, а, следовательно, нарушается методика проведения исследований и тренировок. Кроме того, при изменении давления в вакуумной установке с использованием лишь эластичных шторок обследуемый будет выталкиваться из вакуумной установки или втягиваться в нее с силой, пропорциональной поверхности нагруженной эластичной шторки и величине перепада в области герметизации; жесткая шторка компенсирует эти силы по всей поверхности эластичных шторок, за исключением пространства между периметром живота и жесткой шторкой (величиной 0,5–1,5 см), учетом которого в исследованиях и тренировках можно пренебречь.

Комбинация жесткой и эластичных герметизирующих шторок обеспечивает условия, при которых нагрузка на живот обследуемых в области герметизации зависит только от поперечного сечения живота и величины перепада, что и требуется для методически правильного исследования и получения сопоставимых результатов.

Вакуумная установка (7) с компрессором (9) предназначены для создания избыточного и отрицательного давления на нижнюю половину тела в позе «сидя». Избыточное давление на нижнюю половину тела в горизонтальном положении и позе «сидя» позволяет быстро добиться перераспределения жидких сред и, в первую очередь, крови в верхнюю половину туловища и голову и, таким образом, воспроизвести один из важнейших физиологических синдромов невесомости – гемодинамический (перераспределительный). Для этого достаточно создать избыточное давление в вакуумной установке величиной до 40 мм рт. ст.

Избыточное давление на нижнюю половину тела в рассматриваемом стенде в принципе может быть использовано для профилактики гемодинамических сдвигов при отработке операторских навыков управления спуском в условиях воздействия перегрузок +Gz.

Создание в вакуумной установке отрицательного давления на нижнюю половину тела может оказаться полезным для компенсации чрезмерного прилива крови к голове в процессе моделирования внутрилабиринтных и гемодинамических взаимоотношений антиортостатическим положением по отношению к суммарному гравитоинерционному вектору, а также для сочетанного воздействия перегрузок и ИДНТ и др.

Стенд работает следующим образом: космонавт (или абитуриент), надевая через ноги на живот наружную и внутреннюю эластичные герметизирующие шторки, размещается в кресле с вакуумной установкой; фиксируется замками необходимого размера жесткая шторка. На космонавта надеваются датчики для регистрации заданных физиологических параметров. Кабина (приборная доска) снабжается приборами, необходимыми для работы космонавта на различных участках полета. В интересах экспертизы приборная доска может быть укомплектована аппаратурой для психологических и операторских тестов. С помощью приводов вращения и фиксации с пульта управления центрифуги кабина с креслом ориентируется таким образом, чтобы во время вращения центрифуги на космонавта воздействовала заданной величины и направления перегрузка при выведе-

нии космического корабля на орбиту искусственного спутника Земли. Вращением центрифуги создается заданная по величине, направлению и времени перегрузка.

После воздействия перегрузки (после остановки центрифуги), кабина с креслом ориентируется таким образом, чтобы земная гравитация действовала на космонавта в направлении грудь-спина перпендикулярно туловищу; в это же время включается компрессор и в вакуумной установке создается избыточное давление на нижнюю половину тела заданной величины. При этом, в зависимости от конкретных задач моделирования, центрифуга может:

- 1) стоять – моделирование только гемодинамических эффектов невесомости;
- 2) раздражать вестибулярный анализатор заданными ускорениями:
  - вращением в горизонтальной плоскости вокруг оси X кабины центрифуги;
  - вращением в горизонтальной плоскости вокруг оси вращения плеча;
  - одновременным вращением в горизонтальной плоскости вокруг оси X кабины и вокруг оси вращения плеча центрифуги;
  - маятникообразными колебаниями вокруг осей X, Y, Z и оси вращения плеча, отдельно или в заданном сочетании и др.

Перечисленные и другие эволюции кабины центрифуги в процессе воздействия избыточного давления на нижнюю половину тела позволяют раздражать заданными ускорениями заданные структуры вестибулярного анализатора. Это может потребоваться при моделировании маневра или нештатных ситуаций с вращением космического корабля и др.

Кроме того, с помощью программного управления данным стендом можно сочетанно воспроизвести изложенные выше гемодинамические и внутрилабиринтные эффекты невесомости.

После заданного времени моделирования физиологических эффектов невесомости создается заданная по величине, направлению и времени действия перегрузка при спуске конкретного корабля («Буран», «Шаттл», «МАКС», «Союз», «Русь» и любые др.) с орбиты искусственного спутника Земли или перегрузка для набора второй космической скорости при моделировании динамики межпланетных полетов. Аналогичным образом моделируются невесомость на межпланетном участке полета и заданные профили перегрузок при торможении и посадке на другие планеты.

В процессе моделирования гравитационных условий в цикле космического полета космонавт отрабатывает заданные операции по управлению кораблем или подвергается психологическому тестированию.

Для моделирования гравитоинерционных условий в цикле космического полета под конкретные космические корабли или программы (орбитальные или межпланетные) нужны лишь исходные данные разработчиков космических кораблей и программ для разработки программного обеспечения управления центрифугой (стендом).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА НА МАРС**

В.И. Ярополов

Докт. техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член (академик) Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского и Международной академии информатизации В.И. Ярополов (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена анализу специфических опасностей полета марсианской экспедиции, которые являются следствием ее особенностей, не свойственных ранее выполнявшимся полетам по другим пилотируемым космическим программам, и способы борьбы с которыми можно было бы отработать в процессе полета Международной космической станции.

**Ключевые слова:** Международная космическая станция, новые виды опасностей, безопасность полета, особенности межпланетной экспедиции, способы борьбы с опасностями.

Представленный в статье материал не претендует на всестороннее рассмотрение вопросов обеспечения безопасности полета марсианской экспедиции.

Основная цель, которая ставилась при разработке материалов данной статьи, состояла в том, чтобы проанализировать специфические опасности полета марсианской экспедиции, которые являются следствием ее особенностей, не свойственных ранее выполнявшимся полетам по другим пилотируемым космическим программам, и способы борьбы с которыми можно было бы отработать в процессе полета Международной космической станции (МКС).

Такой подход представляется обоснованным, поскольку традиционные опасности, сопровождающие любой космический полет, хорошо известны разработчикам и учитываются ими в проекте даже не в силу заданных в ТЗ требований по безопасности, а, прежде всего, как следствие определенной культуры производства, выработанной в результате многих десятилетий проектной деятельности и разработки большого числа пилотируемых космических комплексов. Специфические же опасности, свойственные только новому проекту, могут оказаться за пределами поля зрения разработчиков. Поэтому анализ этих опасностей представляет особый интерес.

### **Особенности марсианской экспедиции, оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета**

Анализ специфики пилотируемого полета к Марсу и Марса как планеты позволяют сделать вывод о том, что могут быть выделены следующие особенности марсианской экспедиции, оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета:

#### **А. Особенности Марса:**

##### **1. Характер поверхности Марса:**

- неровности поверхности;
- наличие большого количества камней (некоторые из них размером до 3 м);
- наличие на поверхности Марса утесов многометровой высоты;
- пылеобразный грунт.

2. Особенности атмосферных процессов на Марсе:
  - сильные ветры.
3. Бактериологическая опасность Марса (потенциальная возможность).
4. Опасность заражения Марса земными микроорганизмами.
5. Мощная ультрафиолетовая радиация на поверхности Марса из-за незначительности доли озона в его атмосфере (в 300 раз меньше, чем на Земле).
6. Планетные отличия Марса:
  - длительность марсианских суток примерно на 41 *мин* больше, чем земных;
  - значительная удаленность от Земли (56–400 *млн км*);
  - пониженная гравитация на поверхности Марса (0,38 *g*);
  - низкая температура поверхности Марса (среднесуточная температура около  $-50^{\circ}\text{C}$ ).

**Б. Особенности условий полета на Марс и обратно:**

1. Космический мусор в околоземном пространстве.
2. Микрометеоритный поток.
3. Гелиофизическое воздействие.
4. Радиация в космосе:
  - радиационные пояса Земли;
  - галактическое излучение;
  - корпускулярное излучение солнечных вспышек.

**В. Особенности эксплуатации марсианского экспедиционного комплекса:**

1. Использование атмосферы Марса для перевода взлетно-посадочного комплекса (ВПК) с гиперболической траектории спуска на десантную орбиту.
2. Доставка грузов с поверхности Марса на пилотируемый межпланетный корабль (ПМК).
3. Старт взлетного модуля (ВМ) с поверхности Марса.
4. Стыковка космических аппаратов на орбите искусственного спутника Марса (ИСМ).

**Г. Особенности, имеющие отношение к экипажу марсианской экспедиции:**

1. Невозможность возвращения космонавтов на Землю в случае возникновения у них серьезных заболеваний.

**Новые виды опасностей, их последствия и способы борьбы с ними**

Указанные выше особенности марсианской экспедиции являются потенциальными источниками новых видов опасностей, которые при определенных условиях могут иметь неблагоприятные последствия (приводить к появлению опасных или даже аварийных нештатных ситуаций).

Часть из этих новых видов опасностей, хотя и не встречалась ранее в пилотируемых полетах, но известна по другим видам деятельности. Правда, специфика космического полета может существенно изменить условия протекания и процесс развития этих опасностей. Для этих опасностей существуют способы борьбы с ними, но они требуют дополнительного анализа и уточнения.

Другие виды опасностей, несмотря на их новизну, имеют очевидные последствия и отличаются ясностью способов борьбы с ними.

И, наконец, существует ряд опасностей, которые совершенно не исследованы, характер их влияния отличается большой неопределенностью, а последствия носят предположительный характер. Понятно, что способы борьбы с ними прак-



тически (по состоянию на данный момент времени) разработать невозможно. Необходимо проведение специальных исследований и экспериментов.

Результаты анализа выявленных новых видов опасностей и их последствий, которые могут иметь место в процессе полета марсианской экспедиции и способы борьбы с которыми могут быть отработаны на МКС, приведены ниже в табличной форме.

Таблица

## Особенности Марса, оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета

Особенность	Опасность	Последствия	Пути использования МКС
Пониженная гравитация на поверхности Марса (0,38 g)	Отличие ускорений силы тяжести на Марсе и на Земле	Затруднения в управлении взлетным модулем при срочном старте сразу после посадки	Проверка возможности выполнения экипажем МКС сразу после посадки на Землю деятельности, адекватной управлению взлетным модулем при срочном старте с поверхности Марса сразу после посадки на его поверхность
Значительная удаленность Марса от Земли (56–400 млн км)	Длительное (от 3 до 22 мин) прохождение радиосигнала от Земли к Марсу или обратно	Невозможность оказания помощи экипажу персоналом ЦУПа в нештатных ситуациях, даже имеющих достаточно большой резерв времени на выход из них	Ориентация на автономный режим управления МКС экипажем Предоставление экипажу максимальной самостоятельности в планировании работ на борту МКС, выполнении программы полета и выходе из НшС Создание средств информационной поддержки деятельности экипажа в НшС на базе использования систем искусственного интеллекта, оснащение ими МКС Создание банка данных справочной информации по бортовым системам МКС (конструкция, схемы, размещение, логика работы и т.п.) Обеспечение экипажа МКС достаточным количеством инструментальной информации для оценки состояния и функционирования бортовых систем станции, интеллектуализация бортовых средств управления МКС Возложение на экипаж МКС функций по принятию стратегических решений
		Чрезвычайно ограниченные возможности психологической поддержки экипажа с Земли	Разработка новых подходов к системе психологической поддержки экипажа, их опробование в процессе полетов экипажей МКС

Продолжение таблицы

Особенность	Опасность	Последствия	Пути использования МКС
	Покидание околоземной орбиты	Невозможность доставки на борт марсианского корабля расходных материалов и невозобновляемых ресурсов, ЗИПа и других грузов	<p>Замена бортового оборудования МКС с ресурсом, меньшим потребного для полета на Марс, на оборудование с достаточным для этого ресурсом, проверка соответствия этого ресурса предъявляемым требованиям</p> <p>Разработка для МКС высоконадежных оборудования и инструмента, минимизирующих требования к ЗИПу</p> <p>Формирование на борту МКС комплекта инструмента (обычного, специального) и приспособлений к нему, обеспечивающего выполнение всего объема работ без допоставки их с Земли</p> <p>Изменение стратегии обеспечения МКС ЗИПом с целью минимизации или полного исключения его поставки с Земли</p> <p>Поиск путей минимизации состава и количества расходных материалов, используемых на борту МКС, создание на станции гарантированных запасов расходных материалов и невозобновляемых ресурсов, обеспечивающих функционирование МКС и ее экипажа в течение срока, адекватного длительности полета на Марс и обратно</p>
	Невозможность экстренного возвращения космонавтов на Землю	<p>Возникновение заболеваний космонавтов, требующих непосредственного профессионального врачебного участия в их лечении</p> <p>Утрата космонавтами здоровья или жизни</p>	<p>Оснащение экипажа МКС достаточным количеством средств диагностики (проведения медицинских анализов, визуализации внутренних органов, компьютерной томографии) и лечения отклонений в состоянии здоровья</p> <p>Обеспечение максимальной самостоятельности экипажа МКС в решении задач поддержания здоровья, без участия Земли</p>

Продолжение таблицы

Особенность	Опасность	Последствия	Пути использования МКС
	Большая длительность полета (около 0,5 года в одном направлении при общей длительности около 1,5 лет)	Эксплуатация бортового оборудования без учета его реального технического состояния, внесенных изменений в конструкцию, схемы и логику работы	Актуализация экипажем МКС информации банка данных справочной информации по бортовым системам МКС (конструкция, схемы, размещение, логика работы и т.п.) по мере внесения изменений в бортовые системы Оперативная корректировка экипажем МКС бортовой документации с учетом реального технического состояния бортовых систем и научной аппаратуры, реальных условий деятельности экипажа, внесенных изменений в конструкцию, схемы и логику функционирования
		Образование большого количества бытовых отходов и мусора	Разработка средств спрессовывания и утилизации бытовых отходов и мусора и оснащение ими МКС
		Утрата контроля за количеством и состоянием расходуемых средств (ресурсов) и ЗИПа	Предоставление экипажу МКС максимальной самостоятельности в ведении учета расходуемых средств (ресурсов) и ЗИПа с использованием базы данных инвентаризации
		Износ часто используемого оборудования (резьбовых соединений, кабелей в местах их заделки в разъемы, петель на панелях интерьера и т.п.)	Разработка конструктивных мер, исключающих износ оборудования МКС в течение сроков, адекватных длительности полета марсианской экспедиции, их опробование на борту станции
		Деграция результатов экспериментов под воздействием температуры, радиации, влажности и других неблагоприятных факторов полета	Изыскание путей длительного (сравнимого с продолжительностью полета на Марс) хранения на борту МКС результатов экспериментов Изыскание путей обработки получаемых в ходе экспериментов на МКС результатов, обеспечивающих возможность перевода данных в информационные массивы и оперативной передачи указанных массивов через каналы связи на Землю

Окончание таблицы

Особенность	Опасность	Последствия	Пути использования МКС
		Существенно ограниченные возможности космонавтов по выполнению деятельности в процессе посадки на поверхность Марса и в начальный период после посадки	Проверка возможности выполнения экипажем МКС сразу после посадки на Землю деятельности, адекватной деятельности в процессе посадки на поверхность Марса и в начальный период после посадки

Таблица

Особенности условий полета на Марс и обратно, оказывающие влияние на обеспечение его безопасности

Особенность	Опасность	Последствия	Способы борьбы
Микрометеоритный поток	Пробой корпуса марсианского экспедиционного комплекса	Разгерметизация элементов марсианского экспедиционного комплекса	Анализ возможности доступа к любому месту корпуса МКС как изнутри, так и снаружи его с целью заделки места пробоя, разработка конструктивных решений, обеспечивающих такой доступ
Корпускулярное излучение солнечных вспышек	Деградация микроэлектроники	Выход из строя бортовой аппаратуры, повреждение ПЗС-матриц, карт памяти и других электронных компонентов высокой плотности	Разработка способов продления ресурса микроэлектронной аппаратуры МКС, подверженной воздействию корпускулярного излучения, их опробование в процессе полета МКС

Таблица

Особенности конструкции марсианского экспедиционного комплекса, оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета

Особенность	Опасность	Последствия	Способы борьбы
Использование электрических реактивных двигателей (ЭРД)	Выброс плазмы при работе ЭРД	Создание помех связи	Проведение эксперимента на борту МКС с целью изучения степени влияния на связь выбросов плазмы при работе ЭРД

Таблица

Особенности эксплуатации марсианского экспедиционного комплекса, оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета

Особенность	Опасность	Последствия	Способы борьбы
Доставка грузов с поверхности Марса на пилотируемый межпланетный корабль	Нарушение центровки взлетного модуля	Ошибки выведения на орбиту искусственного спутника Марса, перерасход топлива	Оснащение МКС расчетными компьютерными программами по центровке грузов в ТК (ТКГ), их использование при укладке грузов и проверка соответствия такой укладки грузов требованиям по точности центровки

Таблица

Особенности, имеющие отношение к экипажу марсианской экспедиции и оказывающие влияние на обеспечение безопасности полета

Особенность	Опасность	Последствия	Способы борьбы
Невозможность возвращения космонавтов на Землю в случае возникновения у них серьезных заболеваний	Возникновение заболеваний космонавтов, требующих непосредственного профессионального врачебного участия в их лечении	Утрата космонавтами здоровья или жизни	Оснащение экипажа МКС достаточным количеством средств диагностики (проведения медицинских анализов, визуализации внутренних органов, компьютерной томографии) и лечения отклонений в состоянии здоровья  Обеспечение максимальной самостоятельности экипажа МКС в решении задач поддержания здоровья, без участия Земли

### Использование экипажами МКС типовых способов выхода из нештатных ситуаций

Анализ полетов первых двадцати двух основных экспедиций экипажей МКС свидетельствует о следующем.

При анализе способов выхода из НшС бросается в глаза большая привязанность экипажа к Земле.

Так, например, экипаж, в случае возникновения на борту корабля или станции каких-либо проблем, связанных с выходом из НшС, которые он решить не в состоянии, вынужден сообщать о них на Землю.

Имеют место случаи, когда экипажу не хватает на борту либо элементов комплектации, либо ЗИПа, либо расходных материалов для выхода из НшС, в связи с чем он вынужден заказывать их доставку с Земли.

При выходе из НшС экипаж периодически сталкивается либо с отсутствием необходимой информации на борту (и он вынужден запрашивать ее с Земли), либо с ее неточностью (что требует ее уточнения у Земли).

Не являются исключением случаи, когда имеют место ошибки в бортовой документации, не позволяющие экипажу реализовать выход из НшС. В таких случаях экипаж вынужден вносить исправления в бортовую документацию по согласованию с Землей.

Часть задач выхода из НшС экипаж реализовать не может из-за наличия ошибок в радиограммах, передаваемых на борт из ЦУПа. В этом случае экипаж вынужден исправлять радиограммы по согласованию с Землей.

Периодически экипаж сталкивается с трудностями при поиске необходимого оборудования из-за несоответствия данных инвентаризации реальному размещению оборудования. В результате требуется выполнять сверку данных инвентаризации, имеющихся у экипажа и Земли.

При решении экипажем задач выхода из НшС возникают ситуации, когда разобраться с причиной возникновения НшС в бортовом оборудовании даже совместными усилиями экипажа и Земли не представляется возможным. В этом случае единственно возможным решением является возвращение оборудования на Землю для анализа.

Нередко при выполнении полета наблюдается уход времени на бортовых часах, что требует проведения сверки и синхронизации времени на борту и Земле.

В процессе полета возникают ситуации, когда члены экипажа в случае наличия отклонений в состоянии здоровья вынуждены обращаться в группу медицинского контроля ЦУПа или получать консультации у врача экипажа.

При выполнении программы научно-прикладных исследований (НПИ) экипаж получает по некоторым экспериментам результаты, которые не допускают длительного хранения на борту станции. В результате экипаж вынужден возвращать результаты таких экспериментов на Землю.

Очень редко, но тем не менее возникают случаи, когда экипаж не имеет возможности выдать команду управления с использованием бортового оборудования. В таких случаях он вынужден запрашивать выдачу команды с Земли.

В общей сложности экипаж вынужден прибегать к помощи Земли примерно в 31% случаев, что вступает в глубокое противоречие с требованиями, предъявляемыми полетом на Марс.

Какие в этом отношении можно предложить направления работ по созданию заделов для полетов на Марс с использованием МКС:

1. Предоставление экипажу максимальной самостоятельности в планировании работ на борту МКС, в выполнении программы полета и в выходе из НшС.
2. Создание средств информационной поддержки деятельности экипажа в НшС на базе использования систем искусственного интеллекта и оснащение ими МКС.
3. Создание банка данных справочной информации по бортовым системам (конструкция, схемы, размещение, порядок работы и т.п.), обеспечивающего актуализацию данных по мере внесения изменений в бортовые системы.
4. Обеспечение экипажа достаточным количеством информации для оценки состояния бортовых систем МКС и их функционирования.
5. Замена бортового оборудования с ресурсом, меньшим потребного для полета на Марс, на оборудование с достаточным для этого ресурсом, проверка соответствия этого ресурса предъявляемым требованиям.
6. Разработка высоконадежного оборудования и инструмента, минимизирующего требования к ЗИПу.
7. Поиск путей минимизации состава и количества расходных материалов.
8. Разработка эффективного механизма отработки и сертификации бортовой документации и радиограмм, обеспечивающего исключение в них ошибок.

9. Предоставление экипажу возможности самому разрабатывать предложения по исправлению ошибок в бортовой документации и радиограммах на основе имеющейся на борту станции справочной информации.

10. Оснащение экипажа достаточным количеством средств диагностики и лечения отклонений в состоянии здоровья, обеспечивающим самостоятельное (без помощи Земли) решение ими задач поддержания здоровья.

11. Изыскание путей длительного (сравнимого с продолжительностью полета на Марс) хранения на борту станции результатов экспериментов либо путей обработки получаемых в ходе экспериментов результатов, обеспечивающих возможность перевода их в информационные массивы и передачи через каналы связи на Землю.

12. Обеспечение возможности полного дублирования экипажем выдаваемых Землей команд и информационных массивов.

13. Разработка и реализация новых подходов к подготовке космонавтов, обеспечивающих решение задач полета МКС в условиях, близких к условиям полета на Марс.

Критическое рассмотрение представленных материалов показывает, что направления работ по созданию заделов для полетов на Марс с использованием МКС, вытекающие как из анализа полетов экипажей основных экспедиций Международной космической станции, так и из анализа новых видов опасностей полета марсианской экспедиции, их последствий и способов борьбы с ними, практически полностью совпадают. Однако ни одно из указанных направлений работ в настоящее время не находит отражения в программе полета МКС.

Таким образом, если мы действительно в обозримой перспективе ставим перед собой задачу выполнения пилотируемой экспедиции на Марс (в Федеральной космической программе России на 2006–2015 годы, в разделе «Пилотируемые полеты» предусматривается проведение мероприятий по разработке базовых средств для реализации пилотируемой экспедиции на Марс), то необходимо максимально использовать для этой цели МКС, что требует разработки и реализации специальной программы отработки заделов для полетов на Марс с использованием МКС.

**БОРТОВАЯ МАСТЕРСКАЯ НАЗЕМНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МАРС-500»**

О.С. Цыганков, О.Г. Артемьев, Е.П. Демин, В.П. Горбачев

Докт. техн. наук, заслуженный конструктор Российской Федерации, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники за 2000 год О.С. Цыганков (РКК «Энергия» имени С.П. Королёва)  
Космонавт-испытатель О.Г. Артемьев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина») Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники Е.П. Демин; В.П. Горбачев (ИМБП РАН)

В межпланетном пилотируемом полете перед экипажем одной из основных задач стоит решение проблем технического обслуживания, ремонта и эксплуатации межпланетного экспедиционного комплекса, его систем и оборудования. Это является новой задачей, так как имеется ряд принципиальных отличий такой миссии от орбитального полета сопоставимой длительности, а значит, данная задача требует своих инновационных решений. Фактор техобслуживания экспедиционного комплекса, то есть поддержания, а при необходимости и восстановления его работоспособности в процессе полета, является одним из определяющих в отношении самой возможности реализации такой миссии. Испытание бортовой мастерской в эксперименте «Марс-500» позволит исключить принятие неэффективных решений на стадии проектной проработки пилотируемых межпланетных миссий.

**Ключевые слова:** техобслуживание и ремонт межпланетных экспедиционных комплексов, космическая технология, бортовая мастерская, эксперимент «Марс-500».

Космическая практика существует и успешно развивается уже более пятидесяти лет. Вместе с ней, как составная ее часть, возникла и развивается космическая технология. Технологическая деятельность и реализуемые в ее рамках регламентные, профилактические, инспекционные, сборочно-монтажные и ремонтные работы составляют значительную часть общего объема технологических работ на борту орбитальных станций (ОС). Благодаря реализации процедур техобслуживания и ремонта силами экипажа удалось выйти на принципиально новые позиции по срокам активного существования ОС и диапазону их научно-технического потенциала. Технологическая деятельность в условиях космического полета из экспериментальной фазы перешла в фазу регулярного практического применения, стала инженерной реальностью современного этапа освоения космоса. Операции технического обслуживания и ремонта относятся к такому виду работ, выполнение которых практически невозможно обеспечить автоматическими средствами, и поэтому они включаются в полетные задачи экипажа. В этой связи профессиональная подготовка космонавта и инструментальное обеспечение работ имеют первостепенное значение для осуществления полноценной технологической деятельности.

Наличие стационарной, обустроенной и оснащенной зоны или структуры для производства технологических работ в ОС является необходимым условием их эффективной технической эксплуатации. От одной ОС к другой изменялись как сама структура, так и ее наименование: на ОС «Салют-7» — «рабочее место»; на «Мире» — «ремонтный пост»; в лабораторном многоцелевом модуле РС МКС — «бортовая мастерская»; расширялись технико-эргономические возможности этой структуры.

При разработке стратегии и планировании межпланетного пилотируемого полета фактор техобслуживания экспедиционного комплекса, то есть поддержа-



ния, а при необходимости и восстановления его работоспособности в процессе полета, является одним из определяющих в отношении самой возможности реализации такой миссии.

Проблема технического обслуживания межпланетного экспедиционного комплекса может быть решена на основе опыта по эксплуатации ОС, но с учетом принципиальных отличий межпланетного полета от геоорбитальных полетов сопоставимой продолжительности, а именно:

- полная изоляция и самоуправление экипажа;
- принятие самостоятельных решений экипажем по действиям в нештатных ситуациях;
- невозможность восполнения ресурсов (запчастей, инструментов, расходных материалов);
- невозможность срочного возвращения и получения помощи с Земли;
- ограничение информационного обеспечения, задержка прохождения сигнала.

Базовый элемент эксперимента «Марс-500» – наземный экспериментальный медико-технический комплекс (МТК) – является сложным инженерным сооружением, также нуждающимся в технической поддержке со стороны экипажа в процессе его 520-суточной эксплуатации. Для этой цели в его составе предусмотрена бортовая мастерская (БМ). Составные части БМ: стол-верстак (СВ) однотумбовый с выдвигаемыми ящиками; панель-экран (ПЭ); шкаф-тележка (ШТ) с выдвигаемыми ящиками; табурет (Т) с регулируемой высотой сиденья. Формирование концепции, структуры, конфигурации и поблочного состава «бортовой мастерской» в целях обеспечения бесперебойного функционирования оборудования в процессе эксперимента на этапе 520 суток выполнено на основе анализа конструкции МТК как объекта технического обслуживания и ремонта с учетом требований эргономического проектирования.

Конфигурация БМ разработана на основе двух взаимопротиворечивых требований: минимальный объем и максимум инструментария. Указанное противоречие устранено следующим решением: в режиме хранения ШТ закатывается под столешницу СВ; в рабочем режиме ШТ располагается в пределах досягаемости испытателя рядом с СВ. СВ дополнительно оснащен штативом для крепления дрели, тисками, светильниками, пылесосом.

Ручные инструменты скомплектованы по результатам изучения инструментального рынка из продукции ведущих европейских фирм-производителей с учетом их специализации. Насыщенность МТК современной медицинской аппаратурой обусловила наличие в комплекте средств для ремонта электроники. Особенностью комплекта является также содержание в нем относительно широкой номенклатуры электроинструментов отечественного производства: шуруповерт/дрель автономный; машины сетевого питания: сверлильная, универсально-шлифовальная («болгарка»), лобзик, средства гигиенической пайки.

Эргономические характеристики БМ обеспечивают возможность работать у СВ как стоя, так и сидя на табурете (изменяя его высоту), менять расположение светильников, размещать используемые в конкретной работе инструменты на ПЭ.

Облик БМ и комплект инструментов сформированы на основе опыта эксплуатации ОС и по результатам I-го и II-го этапов эксперимента «Марс-500» при участии членов экипажей. В настоящее время вступил в заключительную стадию III-й этап эксперимента «Марс-500», 520-суточная изоляция, где идет испытание

конструкции БМ, вариантов ее трансформации и способов использования оснастки для технологических операций.

Результаты моделирования полета к Марсу найдут применение при разработке конкретных проектов межпланетных экспедиционных комплексов, а инструментально-технологические средства эксперимента «Марс-500» будут прототипом бортовой мастерской межпланетного полетного комплекса, что в своей части послужит решению проблемы расселения человечества вне Земли, которая была поставлена в работах российского ученого-теоретика космонавтики К.Э. Циолковского, как одна из главных целей космической деятельности человечества. Участие России в этом процессе позволит сохранить за нашей страной одно из ведущих положений в мировом научном процессе.

## ПОЛЕТЫ К АСТЕРОИДАМ

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 обсуждается проблема полетов к астероидам. Приводятся результаты предварительных оценок возможности таких полетов и энергетических затрат для их осуществления с облетом ближайших к орбите Земли астероидов.

**Ключевые слова:** астероид, орбита, космический аппарат, перелет, импульс скорости.

В научном мире обсуждаются перспективы межпланетных полетов пилотируемых космических кораблей: к Марсу, к Венере. Дальше планы ученых пока не распространяются. Для этого есть причины.

Чем дальше и продолжительнее космический полет, тем сложнее решать на пилотируемых кораблях проблемы воздействия радиации, обеспечения экипажей пищей, водой и ряд других, в основном, технических проблем.

В сложившейся обстановке возникает несколько вопросов: возможны ли пилотируемые полеты к другим небесным телам; будут ли они более экономичными и менее продолжительными, чем полеты к Марсу и Венере; насколько целесообразны такие полеты.

Кроме восьми наиболее крупных и известных планет, в Солнечной системе есть много других небесных тел – малых планет. Их называют также астероидами. Американские автоматические межпланетные станции периодически занимаются их изучением. В настоящее время американская межпланетная станция Dawn («Рассвет») готовится исследовать Весту – первый по массе и второй по величине астероид в Солнечной системе [1].

Как сообщает NASA, сейчас Dawn достигла орбиты, по которой Веста вращается вокруг Солнца, находится от нее на расстоянии 2,4 млн км и сближается с ней со скоростью 0,57 км/с. В июле станция вышла непосредственно на орбиту астероида. В течение года она будет делать снимки поверхности Весты с высоким разрешением и проводить различные измерения.

У некоторых ярких астероидов обнаружены колебания блеска [2]. Некоторые из астероидов активны, например, малая планета Ио. На ней обнаружена вулканическая деятельность.

Американская автоматическая межпланетная станция «Галилео», неоднократно пролетавшая мимо нее, передала на Землю снимки действующих на ней вулканов, потоков лавы. Существует понятие «гор Ио». Это область космического пространства вдоль ее орбиты, насыщенная ионизированными атомами, которые выбрасывают ее вулканы [3].

Основная гипотеза о происхождении астероидов предполагает, что они являются сгустками материи, из которой образовались планеты Солнечной системы. Но в последнее время астрономы обнаружили воду на некоторых астероидах. Например, в [4] сообщалось о таком астероиде, летающем между орбитами Марса и Юпитера.

Подобные открытия позволили вспомнить о существовавшей ранее гипотезе о погибшей планете Фазтон. В ней предполагалось, что астероиды Главного пояса – это ее осколки.

Изложенное выше подтверждает, что исследование астероидов представляет определенный научный интерес.

Дисковая версия «Эфемерид малых планет» на 2011 год Института прикладной астрономии РАН содержит полный набор данных для 231 665 малых планет, занумерованных на 30 января 2010 года [5].

В космосе астероиды распределены неравномерно. Вблизи точек Лагранжа на орбитах планет Солнечной системы существуют небольшие устойчивые группы астероидов. Эти группы движутся по орбитам планет на постоянных расстояниях от них. Такие астероиды называют «троянцами» (рис. 1).

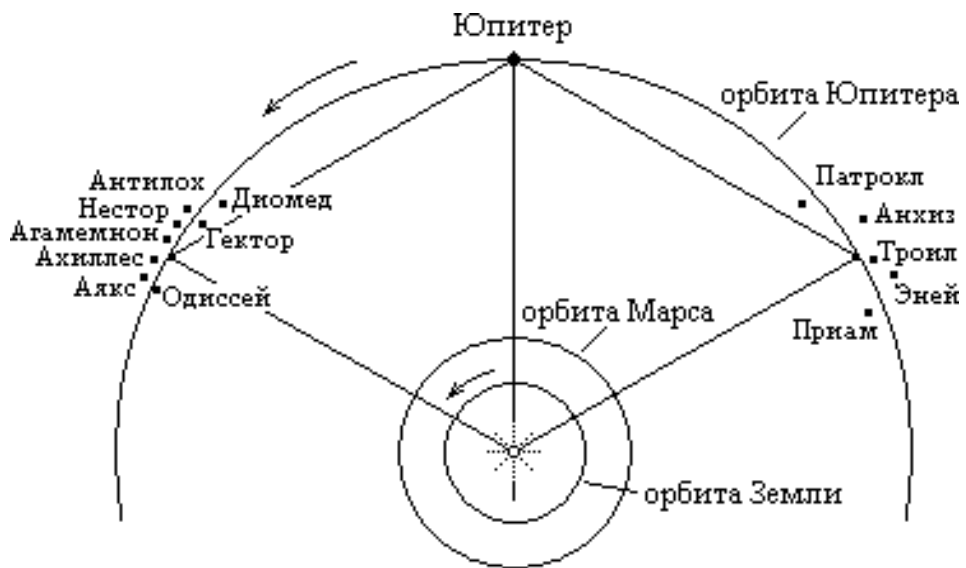


Рис. 1. «Троянцы» Юпитера

Большое количество астероидов движется по траекториям между орбитами Марса и Юпитера. Эту область называют «Главным поясом астероидов». Средняя скорость движения астероидов этой группы около 20 км/с. Наклонения плоскостей их орбит по отношению к плоскости эклиптики достигают  $70^\circ$ , но в основном находятся в диапазоне  $5^\circ$ – $10^\circ$ .

Некоторые астероиды из Главного пояса приближаются к Земле и даже пересекают плоскость ее орбиты, например, Amor (1221) и Apollo (1862) (рис. 2).

Второй пояс астероидов обнаружен за орбитой Нептуна. Его назвали «поясом Кой-пера». Высказано предположение, что за орбитой Плутона, на расстоянии в 50 а.е., существует еще один пояс астероидов.

Астероиды обнаружены и на орбитах вне перечисленных поясов и групп. Есть астероиды, орбиты которых лежат внутри орбиты Марса и пересекают плоскость орбиты Земли, например Атон (2062) (рис. 2). Астероиды этой группы также потенциально опасны, поскольку существует вероятность их столкновения с Землей.

Приблизительные диаметры вышеназванных астероидов: Амур – 1,9 км; Аполлон – 3,7 км; Атон – 2,9 км.

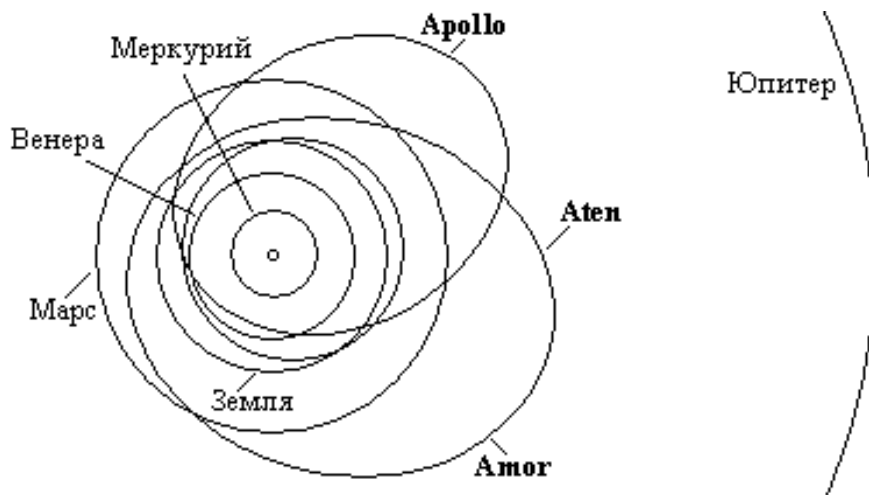


Рис. 2. Орбиты потенциально опасных астероидов Amor (1221), Apollo (1862) и Aten (2002)

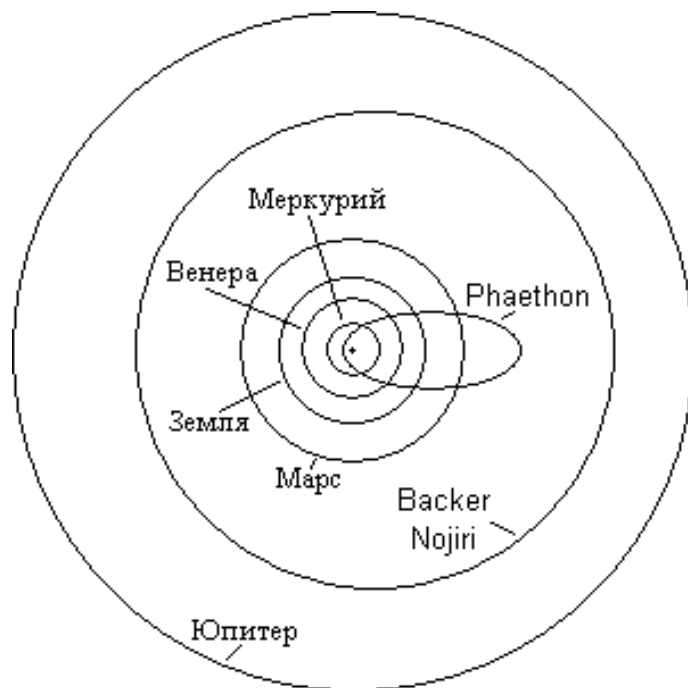


Рис. 3. Орбиты максимальных размеров в Главном поясе у астероидов Backer (2549) и Nojiri (3008). Орбита минимальных размеров у астероида Phaethon (3200)

Среди перечисленных в [5] астероидов наибольшие размеры орбит в пределах Главного пояса имеют астероиды Беккер (2549) и Ножири (3008). По орбите наименьших размеров движется астероид Фэтон (3200). Орбита Фэтона пересекает орбиты Марса, Земли и внутренних планет (рис. 3).

Орбиты некоторых астероидов проходят вне орбиты Юпитера. Обнаружена малая планета, орбита которой оказалась почти целиком заключенной между орбитами Сатурна и Урана. Она получила номер 2060 и имя Хирон (один из мифологических кентавров). Все последующие подобные объекты стали относить к семейству Кентавров. Сегодня их иногда называют объектами «типа Хирона» [6].

Чем больше и массивнее астероид, тем большую опасность он представляет, однако и обнаружить его гораздо легче.

Наиболее опасным на данный момент считается астероид Апофис, сближающийся с Землей. Его диаметр около 300 метров.

По последним данным, Апофис приблизится к Земле в 2029 году на 28,9 тыс. км. Вероятность его столкновения с Землей составляет 1:250 000. Оценены вероятности его последующих встреч с Землей, они еще меньше. Угрозы человечеству в целом столкновение с Апофисом не несет [7].

Существуют научные коллективы, озабоченные решением проблемы астероидной угрозы. Специалисты НАСА опубликовали карту потенциально опасных астероидов и комет, траектория которых пересекается с земной и которые достаточно велики для того, чтобы причинить нам серьезный ущерб.

В Лаборатории реактивного движения NASA (JPL) выделили четыре типа астероидов в зависимости от их величины. Объекты диаметром 30–100 м легко могут стереть с лица планеты не только ваш любимый город, но и небольшую страну. Если же их диаметр превышает 1 км — а таковых насчитывается 158, — они способны положить конец человеческой цивилизации [8].

Около 1% небесных тел представляют для Земли реальную угрозу. В американском аэрокосмическом ведомстве считают, что на полную инвентаризацию и разработку способов противодействия этой угрозе необходимо ежегодно в течение 10 лет выделять 250–300 млн долларов.

С точки зрения минимизации энергетических затрат и времени полета от старта до возвращения на Землю наиболее доступными для пролета или облета представляются астероиды, плоскости орбит которых пересекаются с эклиптической под минимальными углами и апериды орбит которых наиболее близки к орбите Земли.

По этим критериям можно отобрать несколько десятков астероидов. Например, в [5] приведены эфемериды 95 малых планет с наклонениями орбит менее одного градуса.

Расчеты показали, что ни одна из их орбит не выходит за пределы Главного пояса астероидов.

Основные параметры орбит некоторой группы астероидов с наклонениями  $\Omega$  к эклиптике менее десяти градусов и минимальными радиусами перигелиев приведены в таблице 1. В крайнем правом столбце этой таблицы даны величины радиусов перигелиев их орбит. В таблице 2 для сравнения приведены основные параметры орбит Земли, Марса и Юпитера

Сопоставление данных таблиц 1 и 2 обнаруживает, что орбиты астероидов Главного пояса с минимальными радиусами перигелиев не выходят внутрь орбиты Марса. Следовательно, полеты к ним потребуют больших энергетических затрат, чем для полета к Марсу.

Таблица 1

Основные параметры орбит группы астероидов с наклонениями к орбите Земли менее десяти градусов

	<b>Название</b>	$\Omega^\circ$	$i^\circ$	$e$	$a$ а.е.	$rn$ а.е.
2342	Lebedev	195,3948	0,35305	0,132969	3,223452	2,794834
3519	Ambiorix	49,66391	0,56778	0,176807	2,170892	1,787064
3338	Richter	126,1297	0,73459	0,169831	2,147099	1,782456
2552	Remek	343,5524	0,90218	0,188372	2,146751	1,742363
1789	Dobrovolsky	102,1029	1,97592	0,187693	2,213944	1,798403
3170	Dzhanibekov	26,83871	2,01871	0,08537	2,929548	2,679452
2030	Belyaev	169,8715	2,58028	0,094247	2,247176	2,035387
1855	Korolev	191,0962	3,07838	0,084563	2,247545	2,057487
1908	Pobeda	152,1215	3,21686	0,04403	2,546174	2,434065
1790	Volkov	2,07416	5,11263	0,101326	2,237752	2,011009
1791	Patsayev	199,075	5,3614	0,144156	2,746838	2,350864
1772	Gagarin	88,22838	5,74187	0,104119	2,527061	2,263947
232	Russia	152,502	6,0692	0,176429	2,551733	2,101533
1836	Komarov	272,9481	7,03	0,194302	2,782627	2,241958
3660	Lazarev	354,9904	7,79111	0,083763	3,221587	2,951738
3348	Pokryshkin	185,84614	10,39181	0,1628798	3,1733529	2,656478
787	Moskva	184,06113	14,84092	0,1289854	2,5393573	2,211817
1134	Kepler	6,33005	15,17019	0,4646225	2,685761	1,437896
2544	Gubarev	305,52299	22,51532	0,2401559	2,3734162	1,803426

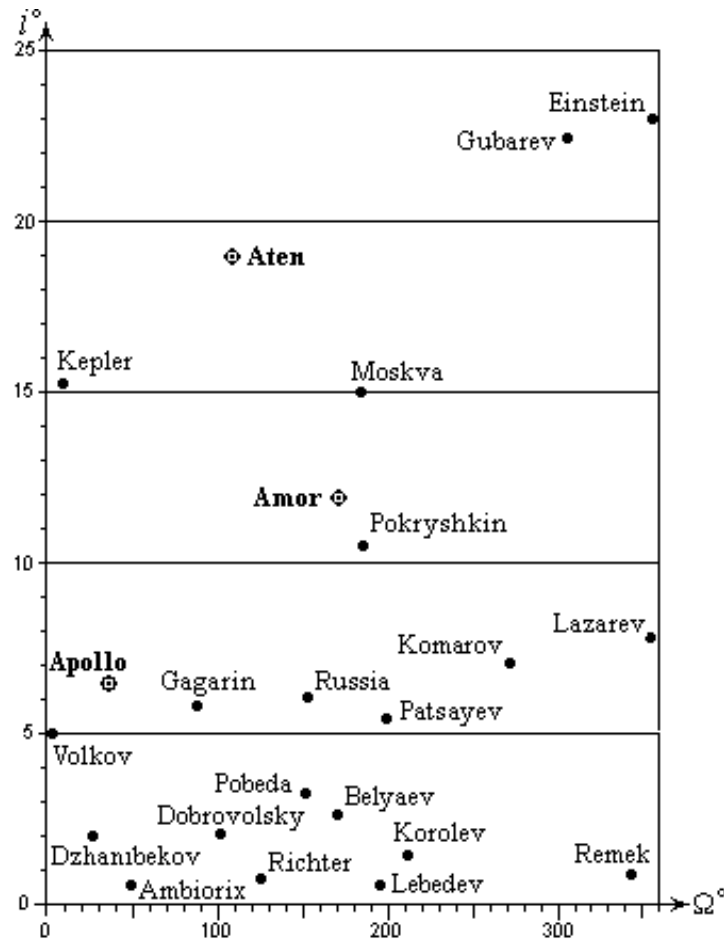
На рисунке 4 показаны долготы  $\Omega$  восходящих узлов и наклонения  $i$  орбит астероидов, перечисленных в таблице 1, и некоторых других, в частности, упомянутых выше потенциально опасных астероидов. Названия опасных астероидов выделены жирным шрифтом [9], [10].

Таблица 2

Основные параметры орбит Земли, Марса и Юпитера

<b>Планета</b>	$i^\circ$	$a$ а.е.	$rn$ а.е.	$ra$ а.е.
Земля	0	1,00000023	0,9833	1,0167
Марс	1°51'1",20	1,52368839	1,3814	1,6659
Юпитер	1°18'31",45	5,202561	4,9508	5,4548

Наиболее близко к орбите Земли расположен перигелий малой планеты Кеплер (1134). Его расстояние от Солнца равно 1.438 а.е.. Но наклонение ее орбиты к плоскости орбиты Земли составляет 15°,17' (рис. 4). Поэтому полет к ней потребовал бы значительно бóльших энергетических затрат, чем к указанным в таблице 1 астероидам.

Рис. 4. Распределение некоторых групп астероидов в координатах  $\Omega$ ,  $i$ 

Траектория полета к астероиду состоит из участков (рисунок 5):

- выведения космического аппарата на промежуточную орбиту;
- перелета с промежуточной орбиты в поле тяготения Земли на границу ее сферы действия в системе Солнце–Земля;
- перелета в поле тяготения Солнца к астероиду.

Структура дальнейшей части траектории полета космического аппарата зависит от содержания задания на полет. В простейшем случае космический аппарат пролетает мимо астероида, не входя в его сферу действия, и возвращается к Земле.

Если космический аппарат входит в сферу действия астероида, то для возвращения на Землю потребуется коррекция его орбиты.

Когда в полетном задании запланирован переход на орбиту спутника астероида, в составе траектории полета предусматриваются участки перелета на такую траекторию, полета по орбите вокруг астероида, выхода с орбиты спутника астероида за пределы сферы его действия и возвращения к Земле.



На этапе возвращения на Землю в структуре траектории космического аппарата предусматриваются участки входа в сферу действия Земли, входа в ее атмосферу для гашения гиперболической скорости полета и спуска на Землю.

Если плоскость промежуточной орбиты не совпадает с плоскостью орбиты астероида, в структуру траектории полета к астероиду вводятся боковые маневры.

На рисунке 5 представлена схема траектории компланарного перелета к астероиду.

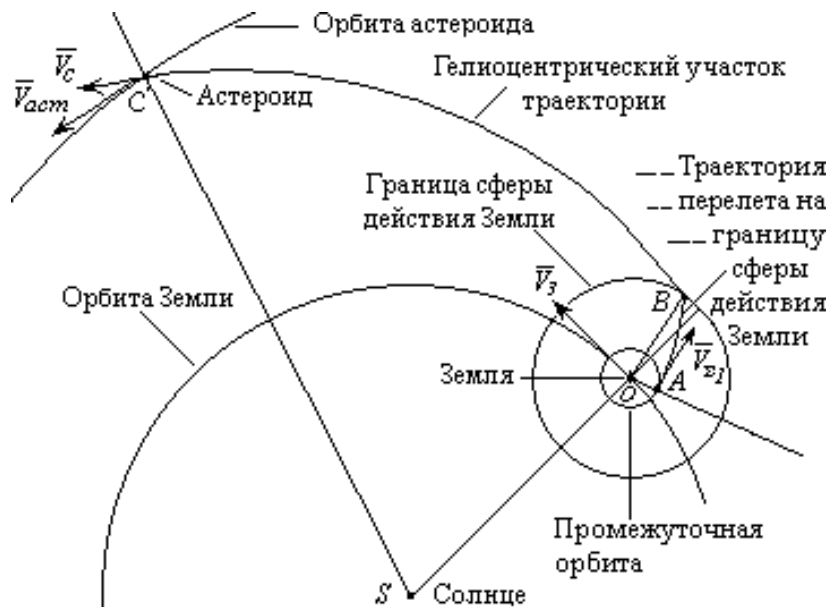


Рис. 5. Схема траектории полета к астероиду

Характеристики траектории выведения космического аппарата на промежуточную орбиту определяются не только законами небесной механики, но и конструктивными параметрами ракет-носителей и космических аппаратов. Ввиду большого числа факторов, влияющих на параметры этого участка траектории полета, он здесь не рассматривается.

В качестве промежуточной обычно выбирают круговую орбиту высотой 200–250 км. Скорость  $V_0$  движения космического аппарата по этой орбите зависит от ее высоты.

Эклиптические координаты плоскости промежуточной орбиты: долгота  $\Omega_{экл}$  восходящего узла и наклонение  $i_{экл}$  зависят от наклонения  $i_{np}$  к земному экватору плоскости промежуточной орбиты космического аппарата и звездного времени – долготы  $\Omega_{np}$  восходящего узла плоскости промежуточной орбиты относительно направления на точку весны.

В сферическом треугольнике ABC (рисунок 6):

$$AC = \arctg \left( \frac{\sin \Omega_{np}}{\sin \beta \operatorname{ctg} i_{np} + \cos \beta \cos \Omega_{np}} \right)$$

$$\Omega_{экл} = \arcsin\left(\frac{\sin i_{np} \sin AC}{\sin \beta}\right)$$

$$i_{экл} = \arcsin\left(\sin \beta \sin \Omega_{np} \sqrt{1 + \text{ctg}^2 AC}\right).$$

Угол  $\beta$  – это угол между плоскостью эклиптики и плоскостью экватора Земли,  $\beta = 23^\circ 27'$  (рисунок 6).



Рис. 6. Взаимная связь геоцентрических экваториальных  $\Omega_{np}$ ,  $i_{np}$  и гелиоцентрических эклиптических  $\Omega_{экл}$ ,  $i_{экл}$  координат плоскостей промежуточных орбит

График эклиптических координат плоскостей промежуточных орбит для их наклонения к экватору Земли  $i_{np} = 51^\circ,6$  в функции звездного времени  $\Omega_{np}$  выхода космического аппарата на эти орбиты приведен на рисунке 7.

Период этой функции равен звездным суткам. В таблице 3 приведены некоторые характеристики орбит астероидов, наиболее близких к плоскостям возможных промежуточных орбит и имеющих, за некоторыми исключениями, перигелии  $r_n \leq 2$  а.е.. Выбирая звездное время выхода космического аппарата на промежуточную орбиту, можно обеспечить минимальную взаимную некопланарность плоскостей промежуточной орбиты и орбиты астероида.

Таблица 3

Некоторые данные орбит астероидов, отмеченных на рисунке 7, наиболее близких к плоскостям промежуточных орбит

№ п/п	Planet	$\Omega^0$	$i^0$	r n а.е.
1	25 Phocaea	214,2286	21,59389	1,762397
2	105 Artemis	188,3292	21,45499	1,957866
3	183 Istria	141,97876	26,3861	1,809853
4	323 Brucia	97,40922	24,22717	1,666404

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Planet	$\Omega^0$	$i^0$	r n a.e.
5	148 Gallia	145,12354	25,31239	2,260154
6	176 Iduna	200,69541	22,58779	2,659756
7	434 Hungaria	175,37612	22,50983	1,801223
8	502 Sigune	133,04999	25,0278	1,952385
9	350 Ornamenta	90,16111	24,90673	2,620453
10	391 Ingeborg	212,96228	23,17	1,609924
11	582 Olympia	155,75071	30,03311	2,031545
12	594 Mireille	155,13174	32,59266	1,700826
13	531 Zerlina	197,84185	33,9949	2,23249
14	679 Pax	112,2846	24,38256	1,779084
15	950 Ahrensa	181,8294	23,47097	1,997809
16	1019 Strackea	144,45636	26,97348	1,775176
17	1025 Riema	163,42816	26,86234	1,901354
18	1090 Sumida	148,06625	21,50164	1,842725
19	1108 Demeter	234,42134	24,9319	1,804191
20	1134 Kepler	6,33005	15,17019	1,437896
21	1164 Kobolda	156,99585	25,1859	1,853825
22	1355 Magoeba	225,28427	22,82653	1,770195
23	1252 Celestia	140,95804	33,83641	2,139047
24	1263 Varsavia	158,52291	29,26768	2,166417
25	1301 Yvonne	161,61319	34,04264	2,0229
26	1509 Esclangona	283,56371	22,3184	1,805543
27	1566 Icarus	88,02798	22,82825	0,186652
28	1600 Vyssotsky	60,63019	21,17341	1,779999
29	1656 Suomi	175,60012	25,06709	1,646477
30	1727 Mette	133,06478	22,89385	1,665186
31	1866 Sisyphus	63,55748	41,19288	0,873623
32	1951 Lick	130,76852	39,08971	1,304869
33	1980 Tezcatlipoca	246,63486	26,86252	1,085468
34	1981 Midas	356,9937	39,83489	0,621951
35	2001 Einstein	357,12809	22,68914	1,742115
36	2035 Stearns	77,06809	27,75096	1,636706
37	2048 Dwornik	157,68765	23,75323	1,87073
38	2049 Grietje	200,12093	24,42169	1,785016
39	2074 Shoemaker	207,31875	30,07877	1,652436

Окончание таблицы 3

№ п/п	Planet	$\Omega^0$	$i^0$	r n a.e.
40	2102 Tantalus	94,3744	64,00474	0,904302
41	3101 Goldberger	154,95968	28,55165	1,887535
42	3225 Hoag	188,89227	25,05968	1,779717
43	3266 Bernardus	110,67256	26,37293	1,698286
44	3553 Mera	232,55866	36,76764	1,117902
45	3839 Epona	235,60224	29,23853	0,448403

Для перехода с промежуточной орбиты на траекторию перелета к астероиду космическому аппарату придается импульс скорости  $\Delta \bar{V}_1$ .

После создания этого импульса космический аппарат приобретает скорость

$$\bar{V}_{\Sigma 1} = \bar{V}_0 + \Delta \bar{V}_1 \text{ (рис. 5).}$$

От величины и направления этой скорости зависят дальность и время перелета к орбите астероида, величина, направление скорости и траектория движения космического аппарата вблизи него.

Максимальное приращение скорости космический аппарат получает, когда этот импульс направлен параллельно вектору орбитальной скорости  $\bar{V}_0$ .

В приближенных расчетах управляющие импульсы скорости считаются мгновенными. При таком допущении траектории перелетов с промежуточной орбиты к орбитам астероидов представляются в виде эллиптических, параболических или гиперболических орбит.

Для перелета на границу сферы действия Земли с любой промежуточной орбиты космическому аппарату требуется создавать орбитальную скорость меньшую, чем вторая космическая. Поэтому, если минимальное расстояние между Землей и орбитой астероида меньше радиуса сферы действия Земли, перелет к астероиду возможен по эллиптической траектории. Возможен также выход космического аппарата за пределы сферы действия Земли по эллиптическим геоцентрическим орбитам.

В таблице 4 приведены основные характеристики эллиптических траекторий полетов в пределах сферы действия Земли для высоты круговой промежуточной орбиты  $H = 250$  км и горизонтального направления первого управляющего импульса скорости  $\Delta \bar{V}_1$ .

По этим траекториям при запуске космического аппарата во время нахождения Земли вблизи асид ее орбиты можно достигать расстояний от Солнца от 0,97712 до 1,022907 а.е..

На рисунке 8 показаны эллиптические координаты восходящих узлов орбит астероидов, перечисленных в таблице 3. На рисунке 9 изображены эллиптические координаты нисходящих узлов орбит тех же астероидов.

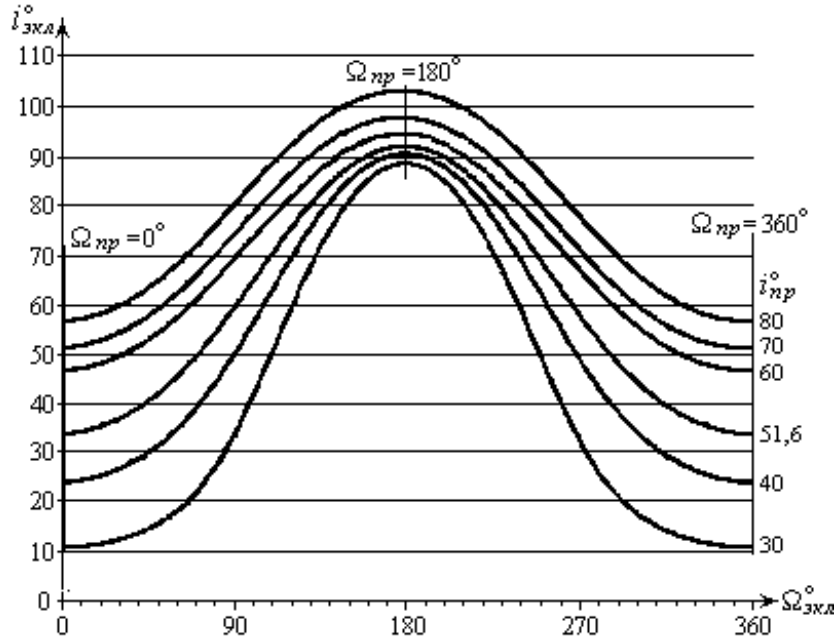


Рис. 7. Эклиптические координаты  $\Omega_{экл}$ ,  $i_{экл}$  плоскостей промежуточных орбит в зависимости от их наклона  $i_{np}$  и звездного времени  $\Omega_{np}$  выхода на эти орбиты

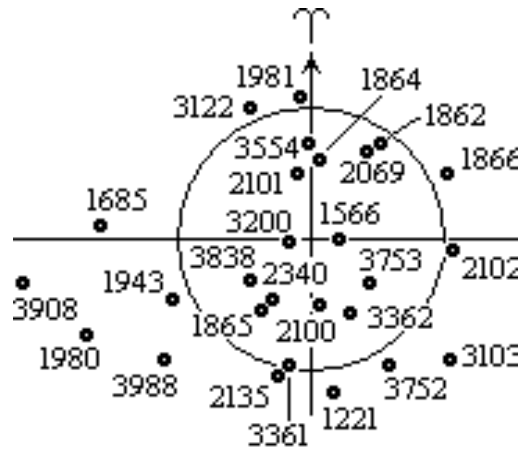


Рис. 8. Орбита Земли и точки пересечения ее плоскости орбитами астероидов в восходящих узлах

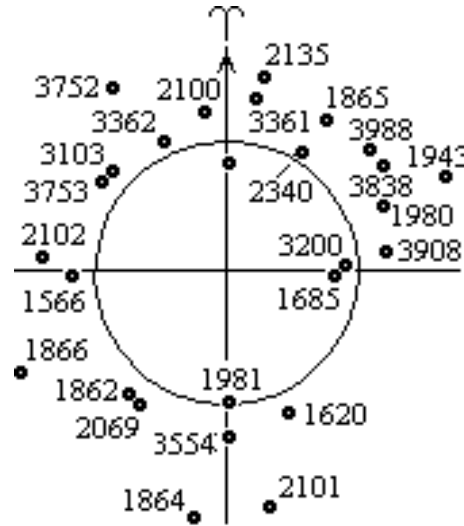


Рис. 9. Орбита Земли и точки пересечения ее плоскости орбитами астероидов в нисходящих узлах

Для перелета на границу сферы действия Земли и выхода за ее пределы по эллиптическим орбитам требуются минимальные энергетические затраты. Но такие перелеты занимают больше времени, чем перелеты по орбитам гиперболическим (рисунок 10).

В таблице 5 и на рисунке 10 приведены основные характеристики эллиптических траекторий с сидерическими периодами  $T$  до двух лет, близкими к минимальной длительности полета на облет Марса. Максимальная величина периодов на рисунке 10 ограничена одной тысячей суток. По этим траекториям при запуске космического аппарата во время прохождения Земли вблизи апсид ее орбиты можно достигать расстояний от Солнца от 0,9337 до 1,0663 а.е.

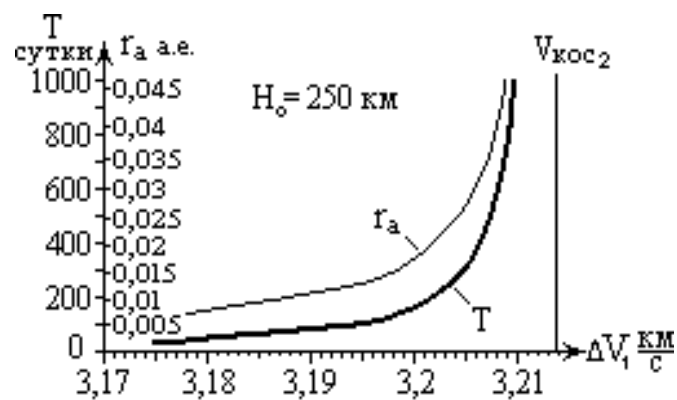


Рис. 10. Радиус апогеев  $r_a$  и периоды  $T$  эллиптических геоцентрических орбит при различных величинах тангенциального импульса скорости  $\Delta V_1$  на промежуточной орбите

Для перелета на границу сферы действия Земли и выхода за ее пределы по эллиптическим орбитам требуются минимальные энергетические затраты. Но такие перелеты занимают больше времени, чем перелеты по орбитам гиперболическим (рисунок 11).

Таблица 4

Основные характеристики эллиптических орбит полетов в пределах сферы действия Земли.  
 $H_0=250$  км,  $\psi_1=90^\circ$

$\Delta V_1$ км/с	$V_{\Sigma 1}$ км/с	e	$V_a$ км/с	$r_a$ км	$r_a$ а.е.	T сутки
0,000001	7,759021	2,58E-07	7,759016677	6621,003	4,43E-05	0,06205589
0,5	8,25902	0,133035	6,31955955	8652,972	5,78E-05	0,07687417
1	8,75902	0,274375	4,987355732	11628,1	7,77E-05	0,10039559
1,5	9,25902	0,424021	3,745032252	16369,41	0,000109	0,14196215
2	9,75902	0,581972	2,578774147	25056,27	0,000167	0,22960121
2,5	10,25902	0,748228	1,477459683	45974,16	0,000307	0,49121449
3	10,75902	0,922789	0,432034556	164883,7	0,001102	2,8924552
3,1	10,85902	0,958698	0,228976871	313994,9	0,002099	7,39315932
3,11	10,86902	0,962307	0,208775402	344694,7	0,002304	8,4800588
3,12	10,87902	0,96592	0,188592688	381934,2	0,002553	9,86351028
3,13	10,88902	0,969536	0,168428676	428051,8	0,002861	11,6706809
3,14	10,89902	0,973155	0,148283316	486652,3	0,003253	14,1085971
3,15	10,90902	0,976777	0,128156555	563596,8	0,003767	17,5353159
3,16	10,91902	0,980403	0,108048343	669097,1	0,004473	22,6204259
3,17	10,92902	0,984032	0,08795863	822671,3	0,005499	30,7548721
3,1748296	10,93385	0,985786	0,07826272	925000	0,006183	36,6194139

Таблица 5

Основные характеристики геоцентрических эллиптических орбит, выходящих за границу сферы действия Земли.  $H_0=250$  км,  $\psi_1=90^\circ$

$\Delta V_1$ км/с	$V_{\Sigma 1}$ км/с	e	$V_a$ км/с	$r_a$ км	$r_a$ а.е.	T сутки
3,174829	10,93384	0,985786	0,078262	925000	0,006183	36,619
3,195	10,95401	0,993119	0,0378149	1917934	0,012820	108,729
3,199	10,95801	0,99457534	0,0298025	2434453	0,016273	155,318
3,201	10,96001	0,995303486	0,0257975	2812916	0,018803	192,805
3,203	10,96201	0,996031764	0,0217931	3330377	0,022262	248,248
3,2044	10,96341	0,996541637	0,0189905	3822358	0,025550	305,124
3,2053	10,96431	0,996869448	0,0171890	4223303	0,028231	354,283
3,206	10,96501	0,99712443	0,0157880	4598379	0,030738	402,436
3,20667	10,96568	0,9973685	0,0144471	5025489	0,03359	459,703
3,2071	10,96611	0,997525149	0,0135865	5344004	0,035722	504,033

Окончание таблицы 5

$\Delta V_1$ км/с	$V_{\Sigma 1}$ км/с	e	$V_a$ км/с	$r_a$ км	$r_a$ а.е.	T сутки
3,2075	10,96651	0,997670875	0,0127860	5678776	0,037960	552,069
3,2079	10,96691	0,997816607	0,0119856	6058250	0,040496	608,253
3,2082	10,96721	0,997925909	0,0113853	6377861	0,042633	656,963
3,2084	10,96741	0,997998778	0,01098511	6610336	0,0441873	693,170
3,2087	10,96771	0,998108085	0,01038481	6992637	0,0467428	754,102
3,2089	10,96791	0,998180958	0,00998463	7273036	0,0486172	799,86899
3,209	10,96801	0,998217395	0,00978454	7421834	0,0496118	824,518



Рис. 11. Зависимость длительности перелета с промежуточной орбиты на границу сферы действия Земли в сутки от величины импульса скорости  $\Delta V_1$  на промежуточной орбите

На рисунке 12 показаны величины радиальной  $\Delta V_r$  и горизонтальной  $\Delta V_u$  составляющих геоцентрической орбитальной скорости космического аппарата на границе сферы действия Земли при различных величинах импульса скорости  $\Delta V_1$  на промежуточной орбите.

Одно из отличий полетов к астероидам от полетов к более крупным планетам состоит в том, что астероиды имеют во много раз меньший радиус сферы действия, чем большие планеты (рис. 13). Это обстоятельство повышает требования к точности навигации при полетах к астероидам со входом в сферы их действия.

На основании результатов проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

– полеты к астероидам потребуют энергетических затрат практически не меньших, чем полеты к ближайшим планетам;



- возможны перелеты к некоторым астероидам при скоростях, несколько меньших второй космической. Длительность таких полетов без перехода на орбиту спутника астероида не будет превышать 35-40 суток;
- полеты к некоторым астероидам могут проводиться при минимальных ограничениях окон стартов по времени.



Рис. 12. Радиальная  $V_r$  и горизонтальная  $V_u$  составляющие геоцентрической орбитальной скорости на границе сферы действия Земли при различных импульсах  $\Delta V$  скорости на промежуточной орбите



Рис. 13. Зависимость радиусов сфер действия астероидов от их масс и расстояний от орбиты Земли по гелиоцентрическому радиусу

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] [http://rnd.cnews.ru/natur\\_science/](http://rnd.cnews.ru/natur_science/) Планета или астероид? Станция Dawn изучит Весту. 04.04.2011
- [2] Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы. – М., 1971.
- [3] Хроника свидания с Ио. «Новости космонавтики», № 12, 1999.
- [4] <http://www.liveinternet.ru/users/3909035/post137387668>. Вода найдена еще на одном астероиде.
- [5] «Эфемериды малых планет» на 2011 год. Дисковая версия Института прикладной астрономии РАН. С-Пб, 2010.
- [6] [www.zvezdi-oriona.ru/242222/](http://www.zvezdi-oriona.ru/242222/). Библиотека «Звезды Ориона». Астероиды.
- [7] <http://wikipedia.ru/99942>. Апофис.
- [8] <http://science.compulenta.ru/597014/> Земле угрожают около 2400 космических объектов. 03.03.2011
- [9] Эрик К. Космический полет. Том II, Динамика. Часть 2 (главы 5–9). Перевод с английского. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы. М., 1970.
- [10] Соловьев Ц.В., Тарасов Е.В. Прогнозирование межпланетных полетов. – М.: «Машиностроение», 1973.

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

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 15 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) – 125х200 мм (без колонтитула и колонцифры). В начале статьи располагаются: заголовок, инициалы и фамилия автора, название института (организации), аннотация статьи (не более двух абзцев), ключевые слова на русском и английском языках. Верхнее поле – 48,2 мм, нижнее поле – 48,2 мм, левое – 42,5 мм, правое – 42,5 мм. 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. Страницы нумеруются карандашом на обратной стороне листа. В конце статьи необходимо дать сведения об авторах (3–4 строки), включая область научных интересов, сферы приложения.

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.

### **Вниманию читателей**

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редакция 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.

### ***Наши координаты для контактов (по вопросам публикации, рекламы и деловых предложений)***

**Крючков Борис Иванович**, начальник научного управления–заместитель начальника ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (по научной работе), доктор технических наук, профессор

тел.: 8 (495) 526-73-78, e-mail: [V.Kruchkov@gctc.ru](mailto:V.Kruchkov@gctc.ru).

**Кальмин Андрей Валентинович** (организационные вопросы)  
тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: [A.Kalmin@gctc.ru](mailto:A.Kalmin@gctc.ru).

**Генералов Александр Вячеславович** (статьи)  
тел.: 8 (495) 526-24-97, e-mail: [A.Generalov@gctc.ru](mailto:A.Generalov@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» и размещен на сервере <http://www.gctc.ru>

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

Научный редактор *Л.К. Васильева*  
Технический редактор *Н.В. Волкова*  
Корректор *Т.И. Лысенко*

Подписано в печать 05.10.2011.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 15,22. Тираж 100 экз. Зак. 605-11.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»