БабкинАндрейНиколаевичФормированиетехникоэргономическихтребованийксистемесредстввнекорабельнойдеятельностиэкипажанаповерхностиМарсадискандтехннаукМосквасРГБОД

Министерство образования и науки РФ Московский авиационный институт (Государственный технический университет)

На правах рукописи

Бабкин Андрей Николаевич

**Формирование технико-эргономических требований к системе средств внекорабельной деятельности экипажа на поверхности Марса**

Специальность 05.13.01 - системный анализ, управление и обработка информации

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Полтавец Геннадий Афанасьевич

Москва 2006

**Содержание**

[Принятые сокращения 5](#bookmark3)

[Введение 7](#bookmark4)

**Глава 1. Отличительные особенности и преемственность в развитии**

**внекорабельной деятельности 13**

§1.1. Условия для внекорабельной деятельности на поверхности

Марса и требуемое вспомогательное оборудование 13

§ 1.2. Техническая декомпозиция взлетно-посадочного комплекса

как базы для деятельности марсонавтов 25

§ 1.3. Анализ модели обеспечения эффективности орбитальной

внекорабельной деятельности космонавтов 35

§ 1.4. Целевой подход к постановке задач исследования 47

[Выводы 53](#bookmark51)

**Глава 2. Математическое моделирование деятельности марсонавтов на**

**различном удалении от взлетно-посадочного комплекса 54**

§2.1. Структура системы планетной внекорабельной деятельности и комплекса математических моделей деятельности экипажа на

поверхности Марса 54

§ 2.2. Математическая модель готовности и оценки эффективности

исследовательской работы марсонавтов 58

§ 2.3. Математическая модель перемещений и разгрузки

марсонавтов с использованием мобильного модуля поддержки 73

§ 2.4. Математическая модель перемещений пилотируемого

марсохода 82

§ 2.5. Метод анализа иерархий в оценке средств деятельности

марсонавтов 88

Выводы 94

**Исследование и отработка компонентов системы планетной внекорабельной деятельности экипажа на поверхности**

**Марса** 95

§3.1. Экспериментальный анализ фактора рабочею

позиционирования марсонавта 96

§ 3.2. Экспертиза современных приспособлений, адаптированных к

скафандру, на пригодность к деятельности марсонавтов 106

§ 3.3. Экспериментальная оценка номенклатуры целевых задач и операций с оптимизацией маршрутов перемещений марсонавта... 114 § 3.4. Адаптация математической модели орбитальной

**Выводы.** Глава 4.

внекорабельной деятельности к условиям гравитации 121

127

**Направления по использованию результатов работы для принятия инженерных решений и формирования элементов**

**концепций 129**

§4.1. Разработка технико-эргономических требований к научной аппаратуре и приспособлениям для ареологических исследований на

поверхности Марса 129

§ 4.2. Разработка мероприятий по управлению внекорабельной

деятельностью марсонавтов 137

§ 4.3. Положения концепции группировки средств инструментальной поддержки экипажа в составе экспедиционного

комплекса 141

§ 4.4. Положения антропоцентрической концепции взлетно-

посадочного комплекса 151

§ 4.5. Положения концепции целевого опережения для фактора

«квалификация марсонавта» 160

**Выводы**

165

Заключение

166

Список использованной литературы 168

Приложения:

1. Орбитальная внекорабельная деятельность. Содержание и хронолої ия ... 174
2. Моделирование палеобиологической разведки Марса 187
3. Разработка мероприятий, оптимизирующих использование марсохода... 192
4. Положения образовательной проі-раммьі «АСКЕТ» на базе студенческой летающей лаборатории для повышения уровня квалификации марсонавтов 198
5. Перечень инструментального состава приспособлений и его оптимизация для ареологических исследований и сопроводительных работ 207
6. Копии документов о внедрении результатов работы в тематику РКК «Энергия» 213

**Принятые сокращения**

БТС - большая техническая система В А - взлетный аппарат ВМ - взлетный модуль ВКД- внекорабельная деятельность ВПК - взлетно-посадочный комплекс

ГНЦ ИМБП РАН - Государственный научный центр «Институт медико­биологических проблем» Российской академии наук ДОС - долговременная орбитальная станция МКС - международная космическая станция ММП - мобильный модуль поддержки МОК - межпланетный орбитальный корабль МЭК - межпланетный экспедиционный комплекс НА - научная аппаратура НТС - научно-технический совет ОРК - объединенный разъем коммуникаций ОЦМ - объединенный центр масс ПА - посадочный аппарат ПГ - полезный груз ПК - персональный компьютер ПМ - посадочный модуль ПМХ - пилотируемый марсоход ПН - полезная нагрузка PH - ракетоноситель СА - спускаемый аппарат СК - скафандр

CJ1J1 - студенческая летающая лаборатория СОЖ - система обеспечения жизнедеятельности СТР - система терморегулирования

ФГУП ЦНИИМаш - федеральное государственное предприятие центральный научно - исследовательский машиностроения

унитарное

институт

ЧМС - человеко-машинная система ЭВТИ - экранно-вакуумная теплоизоляция

**Введение**

На сегодняшний день, уже обозрима проектная граница полета первой десантной (с высадкой на поверхность) экспедиции на Марс (не позднее 2030г). Космонавтам предстоит работать в новых условиях. Дело в том, что, в отличие от долговременных орбитальных станций, успех практически каждой операции марсианской экспедиции напрямую влияет на безопасность экипажа. Сит>ация более сложная чем при полете на Луну. Количество операций и их масштаб, по сравнению с лунной программой, делают экспедицию на Марс качественно иной [64].

Выполнение научной программы зависит от полноты реализации деятельностных задач экипажа при взаимодействии с научной аппаратурой и другим оборудованием на поверхности планеты и, в целях исключения принятия неэффективных решений, требуется аванпроектная проработка средств обеспечения внекорабельной деятельности (ВКД) на Марсе с учетом большого положительного орбитального опыта ВКД.

В процессе многолетней эксплуатации долговременных орбитальных станций «Салют», «Мир», международной космической станции (МКС) решение ряда задач требовало выхода космонавтов в открытый космос (см. приложение I). Непрерывно изучались проблемы ремонта, размещения и использования научной аппаратуры на внешней поверхности станций, и сопрягаемых с ней инструментов, контейнеров, приспособлений нршодныч для взаимодействия с оператором в скафандре (СК), разрабатывалось экспериментальное оборудование для проведения тренировок экипажа[83). Тем самым была обеспечена эффективность и безопасность исследовательской деятельности в открытом космосе в процессе полета, при успешном выполнении всех поставленных в проектах и программах задач.

Проведенные в данной работе исследования ставят своей целыо дополнение научно-технической базы деятельности человека в открытом космосе, с учетом специфики условий десантной марсианской экспедиции.

Первым шагом в этом направлении является анализ отличительных планетных условий, разрабатываемых проектов и преемственности существующей математической модели внекорабельной деятельности, разработанной для космонавта в СК под избыточным давлением в состоянии невесомости [5], что позволит осуществить заданный в практике орбитальной ВКД высокий уровень безопасности и эффективности при работе экипажа на поверхности Марса.

Актуальность темы проводимых исследований состоит в обеспечении положений Федеральной космической программы на 2006 - 2015 г. В рамках подраздела “Пилотируемые полеты” предусмотрено проведение мероприятий по «... разработке научно-технического и технологического заделов и отработке ключевых элементов перспективных средств реализации пилотируемых программ, а также разработке базовых средств для реализации пилотируемой экспедиции на Марс» [84].

В сферу обеспечения планетных программ, окажется вовлеченным большое число оріанизаций, предприятий и специалистов, что актуализирует задачу упорядочения знаний и опыта, полученного и сконцентрированною в данной области космической техники.

Моделирование и исследование деятельности десантной группы экипажа на поверхности Марса, как тематическое направление, поддержано положительными заключениями ФГУП ЦНИИМаш, ФГУП «АГАТ», решением проблемного совета №10 РК НТС ФКА от 07.07.04, секции №3 II ГС РОСКОСМОСа от 06.07.05, обсуждалось в рабочем порядке со специалистами Г1III, ИМБП PAII в плане совместного продолжения работ по этой теме.

Проблемой данного исследования является отсутствие системы для обеспечения процесса исследований на поверхности Марса, которая позволит реализовать функциональные возможности космонавта в СК иод избыточным давлением на поверхности Марса *(далее марсонавта*) вне базового гермообъема. С учетом того факта что, стоимость доставки каждого килограмма полезного груза на поверхность Марса будет в 50-100 раз больше стоимости доставки той же массы на околоземную орбиту [77], к средствам системы средств ВКД экипажа на поверхности Марса и методам обеспечения процесса исследований марсонавтами уделяется особенное внимание.

Таким образом, возникает необходимость в разработке единого комплекса требований к проектируемым элементам экспедиции: научной аппараіуре, оборудованию поддержки высадки, и специальным приспособлениям.

**Объект диссертационного исследования** - система планетной внекорабельной деятельности, которая предназначена для решения исследовательских и вспомогательных задач. В систему включены: марсонавт, *взлетно-посадочный комплекс* (ВПК), оборудование поддержки ВКД, *научная аппаратура* (НА), специальные приспособления (инструментарий), физическая среда и объекты исследования на поверхности Марса.

**Предмет исследования** - технико-эргономические требования к средствам обеспечения ВКД на поверхности Марса и элементы концепции обеспечения продуктивной работы экипажа.

**Цель работы** - обоснование и формулирование технико-эргономических требований и предложений для реализации инженерных решений по обеспечению ВКД на поверхности Марса с помощью математических моделей деятельности и перемещений на различном удалении от базы, с учетом эрготехнических особенностей взаимодействия марсонавта с НА и другим вспомогательным оборудованием вне базового гермообъема.

**Me і оды диссертационного исследования.** Постановка и решение задачи осуществляется на основе методов системного анализа. При разработке комплекса математических моделей использованы элементы теории управления запасами, целочисленные методы оптимизации, различные методы одномерного поиска, метод ветвей и границ, метод анализа иерархий. Методы математической статистики применялись при обработке экспериментальных данных.

**Научная новизна** результатов работы состоит в следующем:

1. разработана модель структуры системы планетной внекорабельной деятельности;
2. разработан комплекс математических моделей деятельности и перемещений марсонавтов на различном удалении от места посадки (впервые учитывалась конфигурация доминирующих структур рельефа на поверхности Марса);
3. разработана модель готовности системы планетной ВКД и введен показатель оценки качества деятельности тандема марсонавтов;
4. сформированы положения концепции применения инверсных элементов в построении взлетно-посадочного комплекса для увеличения расстояния между точками посадки отдельных модулей, обеспечивающих высадку экипажа и возвращение с поверхности планеты (что расширяет границы исследуемою пространства).

**Практическая ценность** состоит в использовании:

1. технико-эргономических требований к ВПК, НА, приспособлениям и оборудованию поддержки ВКД для принятия проектно-конструкторских решений;
2. разработанных методов и предложений по реконструкции и загрузке экспериментальной стендовой базы РКК «Энергия» (стенд «Селен») для обеспечения аванпроектной отработки ВКД;
3. разработанного программного продукта информационной поддержки для экспериментальною моделирования решения исследовательских задач;
4. проекта технического задания на разработку мобильного модуля поддержки, полученного по результатам математического моделирования перемещений и элементов концепции группировки средств инструментальной поддержки экипажа в составе экспедиционного комплекса;
5. положений концепции целевого опережения при обучении школьников и студентов как будущих марсонавтов, а именно, в рамках образовательной программы «АСКЕТ» на базе студенческой летающей лаборатории (с учетом фактора «квалификация марсонавта») и как экспериментального полигона для оценки предложений по марсианскому СК, которые изложены в приложении к техническому заданию на космический эксперимент «РадиоСкаф».

**Достоверность результатов,** полученных в работе, подтверждается при сопоставлении результатов проведенных экспериментов с результатами математического моделирования. А также использованным в диссертации практическим опытом обеспечения ВКД на орбитальных станциях «Мир» и МКС, приобретенным в процессе:

экспериментальной испытательной деятельности в скафандре, создания и применения специализированных инструментов для ВКД,

разработки бортовой документации для работ в открытом космическом пространстве.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты диссертационной работы доложены автором и обсуждены:

* на научных чтениях, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского в Калуге [10,13,14, 15, 19,21,22,24,26,27,30,31, 83, 86];
* на международной научно-практической конференции в Алма-Ате [66];
* на международных конференциях в Евпатории [23, 25, 67];
* в ходе конкурса на соискание премии им академика С.П. Королева и на XVI научно-технической конференции молодых ученых специалистов [18] в Королеве;
* на международных конференциях в Москве [9,20].

Кроме тезисов и материалов перечисленных конференций, результаты опубликованы в работах [11, 12, 33, 16, 17, 28, 29]. Имеются акты о внедрении результатов работ автора в тематику РКК «Энергия».

**На защиту** выносятся следующие основные положения работы:

1. модель структуры системы планетной внекорабельной деятельности, сформированная на основе системного анализа орбитальной ВКД;
2. комплекс математических моделей деятельности и перемещений марсонавтов;
3. технико-эргономические требования к системе средств внекорабельной деятельности экипажа на поверхности Марса;
4. элементы концепции:

* группировки средств инструментальной поддержки экипажа в составе экспедиционного комплекса;
* применения инверсных элементов в построении взлетно-посадочного комплекса;
* применения целевого опережения для фактора «квалификация марсонавта».

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Работа изложена на 216-ти страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 34 таблицы, и 95 наименований литературных источников.

**Заключение**

Б представленной работе проведена опережающая по времени постановка и отработка задач планетной ВКД, на фоне предварительных сценариев и проектов межпланетной экспедиции, что позволяет определить, какими предпочтительными характеристиками должны обладать компоненті.! системы средств ВКД, чтобы обеспечить достижение поставленной перед ней цели.

1. Определенны фундаментальные факторы и отличительные условия орбитальной ВКД, которые вместе с проектируемыми элемешами межпланетной экспедиции использованы для построения новой системы планетной ВКД марсонавтов, обеспечивающей техническую эффективность и безопасность операций.
2. Представленный комплекс математических моделей позволил провести анализ системы с учетом доминирующих структур рельефа планеты при помощи различных методов исследования операций в зонах деятельности 100 м, 3500 м и до 1000 км от места посадки. Моделируемые оценки при 100% затратах времени на пешее перемещение дают 60% на совместную работу в цикле, что является достаточным минимумом для выполнения совместных операций с ММП. Определен оптимальный диапазон затрат 6423-7088 единиц топлива для марсохода.
3. При выбранной циклической схеме управления запасами показано наличие резервного ресурса кислорода (один литр под давлением 420 атм), что позволяет иметь аварийный запас в скафандре на 15 минут с расходом 29 л/мин. Уровень основного ресурса определен в объеме 360 л кислорода^с учетом времени для стыковки объединенного разъема коммуникаций скафандра, которое принято как показатель оценки качества деятельности марсонавтов, связанный с безопасностью. Это в наглядной количественной форме отражает состояние всей системы, влияющее на решение по досрочному прекращению ВКД.
4. На основе сформированных в работе технико-эргономических требований разработаны предложения по группировке средств инструментальной поддержки экипажа, которые направлены на экономию массы грузов, доставляемых на поверхность Марса, что может быть достигнуто за счет:

* исключения функционального дублирования инструментов между группами ремонтных и исследовательских приспособлений;
* 90% плотности упаковки цилиндрических контейнеров ВКД унифицированных для возврата образцов;
* максимально возможного объема контейнера, который можно изготовить из плоской листовой заготовки (10 х 400 х 400 мм для элементов лабораторного оборудования ВКД).

1. На базе утилизируемых скафандров создан полигон для оценки технических предложений по марсианскому скафандру, в том числе и реализации образовательной программы «АСКЕТ» для целевой опережающей подготовки марсонавтов. Экспериментально подтверждена возможность создания молодежных научно-исследовательских аппаратов, не требующих больших материальных затрат (общее время работы передатчика «РадиоСкафІ» на орбите составило 14 суток 7 часов 34 минуты).

Результаты диссертационного исследования являются основой технических предложений для принятия решений по концептуальному облику ключевых элементов десантной экспедиции на Марс.

**Список литературы**

1. Абрамов И.П., Северин Г.И. и др. Скафандры и системы для работы в открытом космосе. М.: Машиностроение, 1984г., 256с.
2. Абрамов И.П., Северин Г.И. и др. Космические скафандры России.- М., 2005. - 360с.
3. Аков Р., Сасиени М. Основы исследования операций. Мир, М. 1971. - 536с.
4. Александров А.П., Гречка В.Д., Кобрин В.Н., Цыганков О.С. Сборочно - монтажные и РВР в космическом пространстве: Учеб. пособие для вузов. - Харьков: ХАИ, 1990. - 248с.
5. Александров А.П., Цыганков О.С. Тенденции и перспективы оптимизации деятельности в открытом космическом пространстве.// Полет, 2000, №**11**, стр.22-25.
6. Александровская JI.H., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: Учебник.- М.: Логос, 2003.-208с.: ил.
7. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1991. - 225с.
8. Арден М. Эргономическая биомеханика. - М., Мир. 1988.- 156с.
9. Бабкин А. Н. Анализ и перспективы развития комплекса средств обеспечения ВКД. // Труды молодежной конференции «Всемирная космическая неделя ООН»,- М.: МАИ,

2003.

1. Бабкин А.Н. Игровые элементы методики начального аэрокосмического образования // Тезисы докладов XXXII научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. М.: ИИЕТ РАН, 1997. с.216-217.
2. Бабкин А.Н. Как прийти в космонавтику через детские игры? Образовательный научно- популярный журнал //Дети, Техника, Творчество, 2001, №5.-с.12-14.
3. Бабкин А.Н. Лунный стенд для марсиан // Новости космонавтики.- 2003 , № 10.- с. 20.
4. Бабкин А.Н. Методические основы изложения темы «Внекорабсльная деятельность космонавтов» на школьном факультативе // Тезисы докладов XXXVI научных тений посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос, 2001. с.205-206.
5. Бабкин А.Н. Подготовка космонавта в аэрокосмическом образовании // Тезисы докладов XXXV научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. М.: ИИЕТ РАН, 2000.
6. Бабкин А.Н. Школьные уроки по теме космические скафандры // Тезисы докладов XXXIII научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. М.: ИИЕТ РАН, 1998. с.207.
7. Бабкин А. Н. Анализ и зкспериментшіьная отработка рабочего позиционироваиия космонавта на поверхности Марса / Труды МАИ, 2006, №24.
8. Бабкин А. II. Антропоцентрическая концепция взлетно-посадочного комплекса для экспедиции на Марс / Вестник МАИ, (в печати).
9. Бабкин А.Н., Артемьев О.Г. Отработка мультисегментных операций ВнеКД на МКС // Тезисы докладов XVI Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Королев, 2002, 25-29 ноября.
10. Бабкин А.Н., Дороничев А.Ю., Ульянов B.C., Цыганков О.С. Бортовая мастерская орбитальной станции //Тезисы докладов XXXVI научных чтений посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос, 2001. с.162-163
11. Бабкин А.Н., Полещук А.Ф. Проект «РадиоСкаф» - 1 этап студенческой летающей лаборатории // 4-я международная конференция «Авиация и космонавтика - 2005». Тезисы докладов,- М.:Изд-во МАИ, 2005. с.75.
12. Бабкин А.Н., Полещук А.Ф., Цыганков О.С. Технологические задачи и организация труда десантной группы экипажа на поверхности Марса // К.Э. Циолковский и проблемы развития науки и техники // Материалы XXXIX научных чтений памяти. К.Э. Циолковского. Калуга, 2004 с. 189-190.
13. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Адаптация специальных методик подготовки космонавтов как возможное прикладное направление в аэрокосмическом образовании // Тезисы докладов XXXVII научных чтений посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос, 2002. с.214
14. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Анализ и синтез системы обеспечения процесса исследований на поверхности Марса//Тезисы докладов 10-ой международной конференции «Системный анализ, управление и навигация» - М: изд-во МАИ, 2005. с.40-

41.

1. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Базовая платформа образовательной программы «АСКЕТ» // Научное творчество К.Э. Циолковского и современное развитие его идей: материалы XL научных чтений памяти. К.Э. Циолковского - Калуга: ИП Кошелев А.Б.,2005. с.253-254.
2. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Комплекс инструментального обеспечения подсистемы сопровождения и поддержки планетной экспедиции «Mars-ХХІ» // Тезисы докладов 7-ой международной конференции «Системный анализ и управление космическими комплексами». Евпатория, 2002.
3. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Системный подход к организации внекорабельной деятельности космонавтов. //Тезисы докладов XXXVI научных чтений посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос,
4. с.192-193.
5. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Аэрокосмическое образование на этапе подготовки пилотируемых полетов на Марс. // Тезисы докладов XXXVIII научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос, 2003. с.214.
6. Бабкин A.IL, Полтавец Г.А. Условия для внекорабельной деятельности на поверхности Марса и требуемое вспомогательное оборудование / Труды МАИ, 2006, №24.
7. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А. Формирование структуры системы планетной внекорабельной деятельности экипажа на поверхности Марса / Вестник МАИ (в печати).
8. Бабкин А.Н., Полтавец Г.А., Цыганков О.С. Специальное обучение контингента для экспедиций на Марс // К.Э. Циолковский и проблемы развития науки и техники // Материалы XXXIX научных чтений памяти. К.Э. Циолковского. Калуга, 2004 с.263-264.
9. Бабкин А.Н. Цыганков О.С. Предпроектная отработка деятельности экипажа и оборудования поддержки ВКД на поверхности Марса // Научное творчество К.Э. Циолковского и современное развитие его идей: материалы XL научных чтений памяти. К.Э. Циолковского - Калуга: ИП Кошелев А.Б.,2005. с.191-192.
10. Бабкин А.Н. Цыганков О.С. Внекорабельное бурение в процессе палеобиологической разведки Марса. // Материалы XLI научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга: ИД Эйдос, 2006.- с. 199-200.