



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА «КОМПАС»

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ЗА РУБЕЖОМ



МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ПРОГРАММА США HERRO ПО ОСВОЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИЛОТИРУЕМЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ	11
1.1 Американская программа HERRO по освоению ближайших планет Солнечной системы.....	14
1.2 Использование базовых пилотируемых роботизированных систем космического базирования для исследования ближайших планет Солнечной системы.....	19
1.3 Разработка пилотируемых и дистанционно управляемых модульных роботизированных систем космического базирования для выполнения операций в космическом пространстве	37
2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ЗА РУБЕЖОМ.....	49
2.1 Эволюция зарубежных космических роботизированных систем.....	50
2.1.1 Орбитальные роботизированные системы.....	50
2.1.2 Роботизированные системы для исследования планет	52
2.2 Перспективы развития зарубежных космических роботизированных систем.....	57
2.2.1 Продукция зарубежной космической робототехники	57
2.2.2 Мягкие роботы.....	58
2.2.3 Летающие роботы.....	61

2.2.4 Космические мультироботные системы и облачные роботы	64
2.2.5 Космические роботы с искусственным интеллектом	66
2.3 Технологии создания космических роботизированных систем	68
2.3.1 Технология динамического моделирования	68
2.3.2 Технология планирования движения и управления.....	68
3 ПОДГОТОВКА И ПОДДЕРЖАНИЕ В ГОТОВНОСТИ К ПРИМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ ORION В КОСМИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ИМ. КЕННЕДИ.....	72
3.1 Система прекращения запуска космического корабля Orion и ее основные элементы.....	72
3.1.1 Основные элементы системы прекращения запуска космического корабля Orion	74
3.1.2 Концепция операции по аварийному прекращению запуска.....	78
3.1.3 Пассивная подсистема терморегулирования LAS	84
3.2 Мероприятия по поддержанию в готовности системы LAS космического корабля Orion на стартовом комплексе	85
9.3 Мобильная башня обслуживания и подготовки системы SLS/Orion к запуску	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БЛА	- беспилотный летательный аппарат
ЕКА	- Европейское космическое агентство
ЕС	- Европейский союз
ЗУ	- запоминающее устройство
КА	- космический аппарат
КК	- космический корабль
КПД	- коэффициент полезного действия
МКС	- Международная космическая станция
МТКК	- многоразовый транспортный космический корабль
НИОКР	- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
ПН	- полезная нагрузка
ПО	- программное обеспечение
ППВМ	- программируемая пользователем вентильная матрица
РК	- роботизированный комплекс
РЛС	- радиолокационная станция
РН	- ракета-носитель
РС	- роботизированная система
РС КБ	- роботизированная система космического базирования
РС ПБ	- роботизированная система планетарного базирования
ТИИ	- технологии искусственного интеллекта
ТК	- технологический кандидат
ЦНС	- центральная нервная система
ЯЭУ	- ядерная энергетическая установка

ААН	- Automatic Attitude Hold (система автоматического удержания положения)
АСМ	- Attitude Control Motor (двигатель управления ориентацией)
АМ	- Abort Motor (двигатель прерывания запуска)
AR&D	- Automated/Autonomous Rendezvous and Docking (автоматическое/автономное сближение и стыковка)
ARM	- Asteroid Redirect Mission (Миссия для изменения траектории движения астероида)
ATHLETE	- All-Terrain Hex-Legged Extra-Terrestrial Explorer (автоматический шестиногий транспортный планетоход для исследования поверхностей внеземных объектов)
BiCMOS	- Bipolar Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (запоминающая биполярная КМОП-структура)
C&ET	- Critical & Emerging Technologies (программа критических и инновационных технологий)
CM	- Crew Module (модуль экипажа)
CMG	- Control Movement Gyroscope (система управления движением на основе гироскопов)

CMOS	- Complementary Metal-Oxide Semiconductor (комплементарные элементы металл-оксид-полупроводник)
COTS	- Commercial Off-The-Shelf (продукты, имеющиеся в свободной продаже)
CTCV	- Crew Telerobotics Control Vehicle (пилотируемая роботизированная система с телеуправлением)
DARPA	- Defense Advanced Research Projects Agency (Управление перспективных исследований и разработок Министерства обороны США)
DLR	- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (Центр авиации и космонавтики Германии)
DOF	- Degree Of Freedom (степень свободы)
DRA	- Design Reference Architecture (предполагаемая при проектировании архитектура)
DRM	- Design Reference Mission (предполагаемая при разработке миссия)
DSG	- Deep Space Gateway (шлюз для глубокого космоса)
DSM	- Deep Sub Micron (технология субмикронных интегральных схем)
DSP	- Digital Signal Processors (процессор цифровой обработки сигналов)
EADS	- European Aeronautic Defense and Space Co. (Европейский аэрокосмический и оборонный концерн)
EAP	- Electroactive Polymer (электроактивный полимер)
ESA	- European Space Agency (Европейское космическое агентство)
ETS-VII	- Engineering Test Satellite No. 7 (технологический испытательный космический аппарат № 7)
EVA	- Extra-Vehicular Activity (работа в открытом космосе)
E3	- Electromagnetic Environmental Effects (электромагнитные воздействия окружающей среды)
FDIR	- Fault Detection, Isolation, and Recovery (обнаружение, изоляция и компенсация неисправностей)
FDTD	- Finite Difference Time Domain (временная область с конечной разностью)
FPGA	- Field Programmable Gate Array (программируемая пользователем вентильная матрица – ППВМ)
FPS	- Fission Power and Propulsion Systems (энергосиловые двигательные установки на основе расщепления ядра)
FRAM	- Ferroelectric Random Access Memory

GN&C	- (ферроэлектрическое оперативное ЗУ) Guidance Navigation & Command (целеуказание, навигация и управление)
GPS	- Global Positioning System (глобальная навигационная спутниковая система)
GPU	- Graphics processing unit (графический процессор)
HALO	- Habitation And Logistics Outpost (обитаемая логистическая роботизированная система)
HEMT	- High-Electron Mobility Transistor (транзисторы с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия)
HEOMD	- Human Exploration and Operations Mission Directorate (Директорат пилотируемых исследований)
HERF	- Hazards of Electromagnetic Radiation to Fuel (опасность электромагнитного излучения для топлива)
HERO	- Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance (опасность электромагнитного излучения для боеприпасов)
HERRO	- Human Exploration using Real-time Robotic Operations (исследование человечеством космического пространства с использованием роботизированных систем в реальном времени)
HERP	- Hazards of Electromagnetic Radiation to Personnel (опасность электромагнитного излучения для персонала)
HIDN	- Human Integration Design Handbook (интегрированная справочная система по проектам)
HLS	- Human Landing System (система посадки аппарата с космонавтами)
ISPR	- International Standard Payload Rack (библиотека международных типовых операций для дистанционного управления)
IVHM	- Integrated Vehicle Health Management (интегрированный контроль состояния корабля)
JAXA	- Japan Aerospace Exploration Agency (Агентство аэрокосмических исследований Японии)
JEMRMS	- Japanese Experiment Module Remote Manipulator System (система дистанционного манипулятора японского экспериментального модуля)
JM	- Jettison Motor (двигатель отделения системы прекращения запуска)
JPL	- Jet Propulsion Laboratory (Лаборатория реактивного движения NASA)
LAS	- Launch Abort System (система прекращения запуска)
LAV	- Launch Abort Vehicle (аппарат аварийного спасения экипажа, состоящий из модуля экипажа и системы прекращения запуска)
LLT	- Low-Latency Telerobotics

	(технология телероботизированных систем с низкой по времени задержкой связи и высокой пропускной способностью каналов передачи данных)
LOP-G	- Lunar Orbital Platform-Gateway (лунная орбитальная шлюзовая систем)
LTV	- Lunar Terrain Vehicle (лунный вездеход)
MISFET	- Metal-Insulator-Semiconductor Field-Effect Transistor (полевые транзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник)
MMEVR	- Multi-Mission Extra Vehicular Robot (многофункциональная роботизированная система для работы в открытом космическом пространстве)
MMU	- Manned Maneuvering Unit (пилотируемый маневренный блок)
MPES	- Multiple Payload Experiment Structural System (структурная многофункциональная экспериментальная система)
MRAM	- Magnetoresistive Random Access Memory (запоминающее устройство с произвольным доступом, которое хранит информацию при помощи магнитных моментов, а не электрических зарядов)
MSL	- Mars Science Laboratory (марсианская научная лаборатория)
MST	- Mobile Service Tower (мобильная башня обслуживания)
NASA	- National Aeronautics and Space Administration (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США)
NAVSYS	- Navigation systems (навигационная система)
NRAM	- Nonvolatile Random Access Membraneless (энергонезависимое оперативное ЗУ)
NRHO	- Near-Rectilinear Halo Orbit (околорунная орбита)
NRC	- National Research Council (Национальный исследовательский совет США)
NTEC	- NASA Technology Executive Council (Исполнительный совет NASA по технологиям)
NTP	- Nuclear Thermal Propulsion (ядерный тепловой двигатель)
ОСТ	- Office of the Chief Technologist (Управление главного технолога)
ОСТАРМ	- OSTopus (осьминог) и ARM (рука) (серия гибких роботов)
ОСТОР	- sOfT robotiC manipulaTOR (автоматизированный робот-манипулятор)

ORU	- Orbital Replacement Units (орбитальные сменные блоки)
PCI	- Peripheral Component Interconnect (последовательный интерфейс периферии)
PID control	- Proportional-integral-derivative control (пропорционально-интегральное и дифференциальное управление)
PROM	- Programmable Read Only Memory (программируемое постоянное запоминающее устройство)
PT	- Proximity Telerobotics (технология дистанционной обработки данных роботизированных систем)
PVT	- Piloted Transfer Vehicle (пилотируемые малые роботизированные системы, позволяющие выполнять маневры и операции в открытом космосе)
RCC	- Robotic Construction Crew (роботизированная монтажная бригада)
RCS	- Reaction Control System (система управления навигации)
RFID	- Radio Frequency Identification (идентификация по радиочастотному коду)
RMS	- Remote Manipulator System (система удаленного управления манипулятором)
ROTEX	- Robot Technology Experiment (технологический демонстрационный робот)
ROV	- Remotely Operated Vehicle (дистанционно управляемая роботизированная система)
RPS	- Radioisotope Power Systems (радиоизотопные энергетические системы)
SA	- Spacecraft Adapter (переходной адаптер КК для его соединения с РН)
SEE	- Single Event Effect (одиночный случайный эффект, вызываемый пролетом частиц с высокой энергией)
SEV	- Space Exploration Vehicle (космический исследовательский аппарат)
SM	- Service Module (сервисный модуль)
SMURFS	- Society of Multiple Robots for Space (сообщество мультироботных систем для космоса)
SoC	- System-on-a-Chip (однокристалльный микропроцессор)
SOI	- Silicon-on-Insulator (структура «кремний на диэлектрике»)
SOS	- Silicon-on-Sapphire (полупроводниковая структура «кремний на сапфире»)
SPDM	- Special Purpose Dexterous Manipulator

SRMS	<p>(маневренный манипулятор специального назначения)</p> <p>- Shuttle Remote Manipulator System</p> <p>(система дистанционного манипулятора МТКК Space Shuttle)</p>
SSRMS	<p>- Space Station Remote Manipulator System</p> <p>(система дистанционного манипулятора космической станции)</p>
TA	<p>- Technology Area</p> <p>(технологическая область)</p>
TRL	<p>- Technology Readiness Level</p> <p>(уровень развития технологии)</p>
TX	<p>- Technology Taxonomy</p> <p>(технологическая область (таксономия))</p>
VASIMR	<p>- Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket</p> <p>(магнитоплазмодинамический ракетный двигатель)</p>
VSM	<p>- Vehicle Systems Management</p> <p>(управление системами корабля)</p>

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий научно-технический обзор представляет собой сборник технических информационных материалов, содержащих сведения о передовых критических технологиях создания и производства за рубежом ракетно-космической техники (РКТ) двойного назначения. Представленные в обзоре данные подготовлены с использованием программных документов и реализуемых проектов Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США (NASA), национальной стратегии безопасности США (National Security Strategy – NSS), новой политики в области разработки критических и инновационных технологий (Critical&Emerging Technologies – C&ET) и космической политики, а также программы разрабатываемого компанией Lockheed Martin американского пилотируемого космического корабля (КК) Orion. Научно-технический обзор подготовлен на основе

В качестве главных тем, рассмотренных в представленных технических информационных материалах, определены: в разделе 1 – программа США HERRO по освоению космического пространства с использованием пилотируемых роботизированных систем космического базирования; в разделе 2 – современное состояние роботизированных систем космического базирования за рубежом; в разделе 3 – подготовка и поддержание в готовности к применению системы прекращения запуска космического корабля ORION в Космическом центре им. Кеннеди.

В целом книга научно-технический обзор содержит:

- информацию о программе HERRO по освоению ближайших планет Солнечной системы, использованию в США пилотируемых роботизированных систем космического базирования для исследования ближайших планет Солнечной системы, разработке пилотируемых и дистанционно управляемых модульных роботизированных систем космического базирования;
- сведения о перспективах развития зарубежных космических роботизированных систем, в том числе орбитальных и роботизированных систем для исследования планет;
- информацию о системе прекращения запуска космического корабля Orion и ее основных элементах.

1 ПРОГРАММА США HERRO ПО ОСВОЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИЛОТИРУЕМЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Стратегия и тактика использования роботизированных систем космического и планетарного базирования (РС КБ и РС ПБ) определяет характер космической политики ведущих зарубежных стран, влияющей на реализацию их военно-технического потенциала.

Развитие космической инфраструктуры ближнего и дальнего космоса является одной из основных целей США. В рамках планирования деятельности США в космическом пространстве на основе проведенных научных исследований был определен порядок реализации главных целей национальной космической политики. Приоритетным направлением считается концентрация ресурсов страны и бизнеса, необходимых для создания к 2050 г. космической инфраструктуры с помощью роботизированных систем космического и планетарного базирования различного назначения, необходимых для освоения космического пространства Солнечной системы.

Размеры космического пространства Солнечной системы и разнообразие космических объектов, по мнению американских специалистов, требуют детальной разработки стратегии и тактики освоения ближнего и дальнего космоса с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования.

Глобальность задачи освоения и исследования космического пространства Солнечной системы с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования, по мнению американских специалистов, требует концентрации всех существующих ресурсов независимо от их принадлежности, таких как: государственные, коммерческие, гражданские, военные, международные, научные, производственные и т.д.

Основой нового стратегического доминирования США в космическом пространстве, по мнению независимых экспертов, является создание универсальных пилотируемых роботизированных систем космического и планетарного базирования с использованием наборов блочных энергетических систем на основе универсальных ядерных энергетических установок, обеспечивающих исследование и освоение космического пространства экипажем в течении длительного периода времени.

Блочные ядерные энергетические установки для роботизированных систем космического базирования используют различные физические принципы для получения энергии, включая устройства типа радиоизотопных термоэлектрических генераторов, радиоизотопных нагревателей, ядерных реакторов деления и т.д., применяемых для выделения тепла, получения электрической и кинетической энергии, которые обеспечивают запланированный функционал изделия, увеличивая сроки эксплуатации как автономных, так и пилотируемых роботизированных систем. Разнообразие операций, выполняемых в космическом пространстве и на поверхности ближайших планет (развертывание, изготовление, сборка, ремонт больших объемных конструкций и т.д.) формирует дополнительные требования к энергетическим устройствам роботизированных систем, включая надежность и длительный период их использования.

Имеющийся у мировых космических держав военно-промышленный и научный потенциал, включая космические отрасли отдельных стран, позволяет США в рамках договорного и международного сотрудничества использовать передовые технологии для обеспечения долговременного участия космонавта в процессе освоения космического пространства Солнечной системы с применением автономных и пилотируемых роботизированных систем космического базирования.

Выбор стратегии исследования и освоения космического пространства Солнечной системы с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования дает возможность специалистам США осуществлять эффективное планирование механизмов достижения главной цели национальной космической программы США – быстрого и оптимального освоения ближнего и дальнего космоса, как основы обеспечения лидерства США в мире. Создавая космическую инфраструктуру Солнечной системы, американские специалисты опираются на концепцию создания постоянных пунктов (форпостов) на основе автономных, дистанционно управляемых и пилотируемых роботизированных систем космического базирования, находящихся на планетарных орбитах ближайших планет. Основным фактором, ограничивающим использование пилотируемых роботизированных систем в космосе, по мнению независимых экспертов, является высокая стоимость содержания экипажа роботизированной системы на орбитах ближайших планет Солнечной системы, включая ограниченное время нахождения человека на орбите, затраты на возврат экипажа на Землю, восстановление здоровья людей, находившихся на орбите и т.д.

Оперативность управления процессами исследования и освоения космического пространства экипажем роботизированной системы, находящейся на планетарной орбите, позволяет на порядок повысить эффективность исследований, включая доставку роботизированных систем на поверхность планеты, забор проб грунта, выполнение химического анализа и т.д., ускоряя процессы исследования и освоения космического пространства Солнечной системы.

Реализация механизма управления роботизированными системами космического и планетарного базирования с использованием наземного центра управления ограничивается необходимостью дополнительной комплексной синхронизации действий, связанных с системой гарантированной передачи команд РС КБ, наличием задержки сигналов передачи и приема между оператором на Земле и РС, отсутствием необходимого количества специализированных датчиков позиционирования в конструкции роботизированных систем космического и планетарного базирования, в т.ч. системы объемной визуализации процессов, происходящих при выполнении различных работ, и маневрирования в космическом пространстве или на поверхности планеты.

Ускорение процесса освоения космического пространства Солнечной системы, по мнению американских специалистов, зависит от эффективности использования потенциала экипажа при проведении исследовательских работ в открытом космосе или на поверхности планеты на основе роботизированных систем космического и планетарного базирования различного функционального назначения и управления.

Максимальное использование функциональных возможностей экипажа роботизированной системы космического базирования позволит последовательно создать космическую инфраструктуру Солнечной системы, увеличить доступность всех ресурсов ближнего и дальнего космоса.

1.1 Американская программа HERRO по освоению ближайших планет Солнечной системы

Программа «Исследование человечеством космического пространства с использованием роботизированных систем в реальном времени» (Human Exploration using Real-time Robotic Operations – HERRO), разработанная специалистами Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration – NASA), является промежуточной перед возвращением человека на поверхности планет и других космических объектов Солнечной системы (Луны, Марса, Фобоса, Деймоса и т.д.). По мнению американских специалистов, этапы реализации программы HERRO являются первыми шагами по освоению космического пространства РС КБ за пределами околоземной орбиты.

Новая стратегия программы HERRO по исследованию и освоению космического пространства учитывает и дополняет опыт совместной реализации предыдущих программ по взаимодействию космонавта (оператора) и роботизированной системы космического базирования. Для малых планетных тел Солнечной системы (астероидов, Луны, Марса и т.д.) исследование с использованием роботизированных систем космического базирования является наиболее эффективным. Отсутствие специальных модулей посадки у роботизированных систем космического базирования позволяет уменьшать затраты на их создание.

Развертывание на поверхности планет Солнечной системы или других космических тел совместимых с оператором автономных/дистанционно управляемых роботизированных систем космического и планетарного базирования позволяет получить когнитивный эффект в исследовании космоса из-за реализации механизма принятия космонавтом (оператором) решений в реальном времени.

По мнению зарубежных экспертов, такой подход к реализации этапов космических национальных программ аналогичен исследованиям, связанных с освоением труднодоступных мест Земли дистанционно управляемыми роботизированными системами (Remotely Operated Vehicle – ROV).

Роботизированные системы космического базирования типа ROV также позволяют снизить нагрузку с экипажа базовой роботизированной системы космического базирования при работе в открытом космосе (Extra-Vehicular Activity – EVA).

Космическая программа HERRO реализует механизм использования космонавта (оператора) в процессе решения следующих задач:

- расширение диапазона и разнообразия направлений, которые можно рассмотреть на ближайшее время с использованием возможностей человека;
- снижение затрат и рисков за счет уменьшения управляющих элементов и снижения сложности управления роботизированной системой космического базирования и т. д.

Дополнительными положительными факторами программы HERRO являются:

- повышение эффективности использования роботизированных систем космического и планетарного базирования оператором/космонавтом в реальном масштабе времени;
- наличие механизма ускоренного принятия решений при выполнении операций в космическом пространстве или на поверхности планеты;
- упрощенный механизм возврата отобранных проб при наличии оператора/космонавта и т. д.

На рисунке 1 представлена диаграмма сравнения стратегий концепций освоения космического пространства традиционным способом и с использованием программы HERRO.

Реализация традиционных программ освоения космического пространства определяется наличием дополнительных проблем, связанных с практическим освоением человеком новых пространств, что требует дополнительных финансовых и энергетических затрат, необходимых для обеспечения жизнедеятельности человека на поверхности планет Солнечной системы.

Эксплуатация роботизированных систем космического и планетарного базирования позволяет принципиально решить вопрос освоения космического пространства, включая освоение поверхности планет Солнечной системы, с использованием эффекта «быстрого управления» за счет наличия в непосредственной близости от роботизированных систем космического и планетарного базирования космонавта (оператора) для формирования типовых условий, обеспечивающих жизнедеятельность человека, находящегося в космосе.

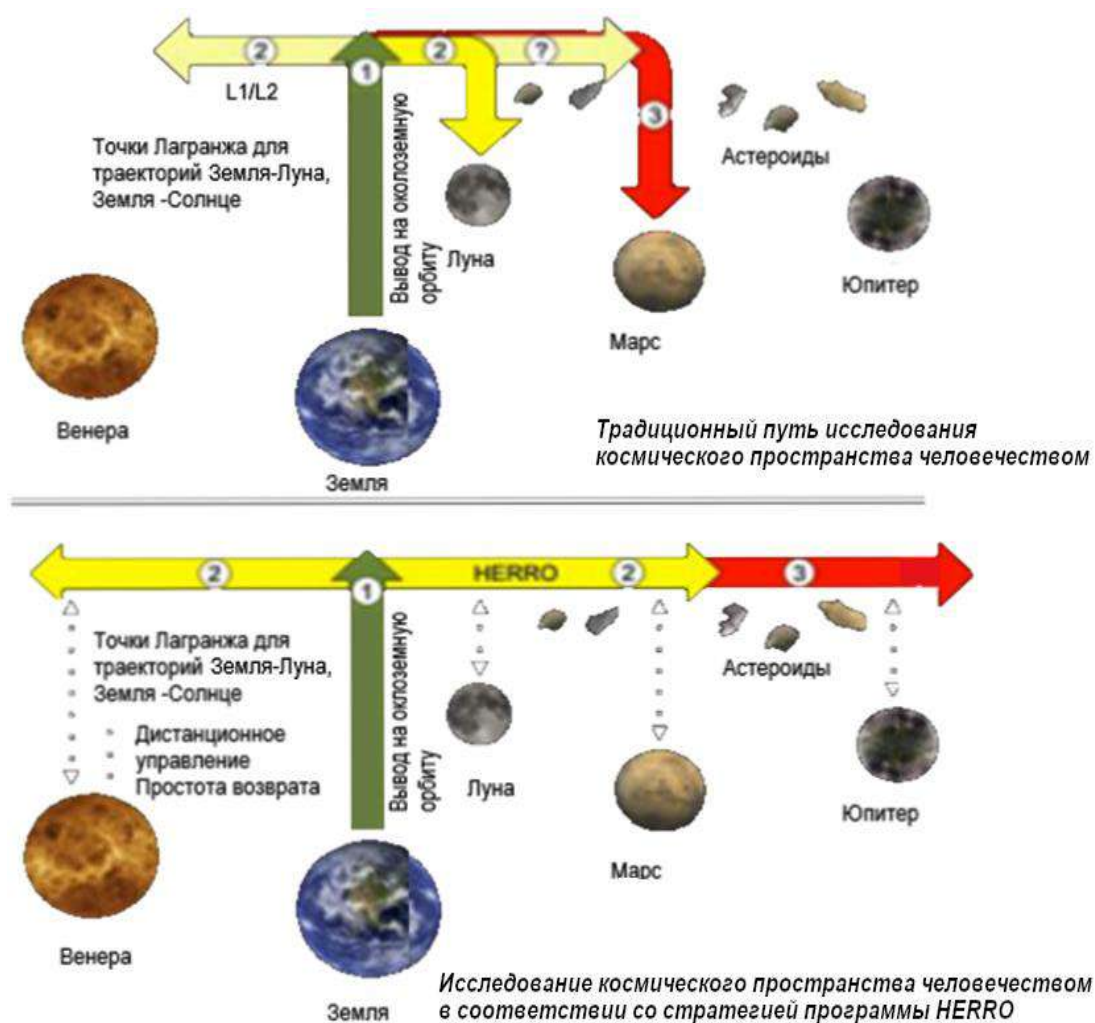


Рисунок 1. Диаграмма сравнения стратегий освоения космического пространства Солнечной системы традиционным способом и с использованием программы HERRO

Стратегия освоения планет Солнечной системы традиционным способом предполагает программу высадки людей на поверхность планеты, включающую наличие:

- управляемой системы спуска и посадки для тяжелых роботизированных систем космического базирования;
- обитаемой среды, обеспечивающей деятельность исследователей на срок не менее 500 суток;
- системы шлюзования, обеспечивающей целостность среды обитания человека, устойчивой к воздействию пыли и других враждебных факторов;
- системы обеспечения исследовательской деятельности (скафандры, транспортные системы, средства проведения исследований и т. д.);
- безопасной посадочной площадки;
- системы очистки среды после проведения исследований;

- системы защиты окружающей среды от деятельности человека и т.д.

По мнению экспертов США, потребность в энергии базовых роботизированных систем космического базирования, находящихся на околоземной орбите и на орбитах в точках Лагранжа, сопоставимы, однако время активности исследовательских программ превышает длительность околоземных программ, но позволяет использовать типовую универсальную базовую роботизированную систему в космическом пространстве. Наличие такой системы космического базирования позволяет реализовывать этапы космических программ, связанные с освоением ближнего и дальнего космоса одновременно в нескольких местах космического пространства.

В таблице 1 представлены задержки связи, возникающие при управлении с поверхности Земли или околоземной орбиты роботизированными системами космического и планетарного базирования, находящимися около или на поверхности ближайших планет Солнечной системы.

Таблица 1.

Задержка сигнала связи в космическом пространстве Солнечной системы

Положение в космическом пространстве роботизированной системы		Среднее время задержки сигнала связи
Геостационарная орбита		0,2 с
Земля – Луна	Точки Лагранжа L1/L2	около 2,5 с
	Точки Лагранжа L4/L5	2,5 с
Луна		2,5 с
Солнце – Земля	Точки Лагранжа L1/L2	10 с
	Точки Лагранжа L4/L5	520 с
Ближайшие астероиды		от 0,5 с до 2280 с
Марс		от 540 с до 2520 с
Венера		от 246 с до 1680 с

По мнению американских специалистов, нахождение космонавта (оператора) на ближайшей дистанции от действия роботизированных систем космического и планетарного базирования позволяет кардинально улучшить взаимодействие и управление системами для решения задач исследования ближнего и дальнего космоса.

На рисунке 2 представлена диаграмма сравнения требований к изменению скорости перемещения роботизированных систем космического базирования, предъявляемых американскими специалистами для выполнения космических программ освоения космического пространства с использованием традиционной стратегии и стратегией, предлагаемой программой HERRO.

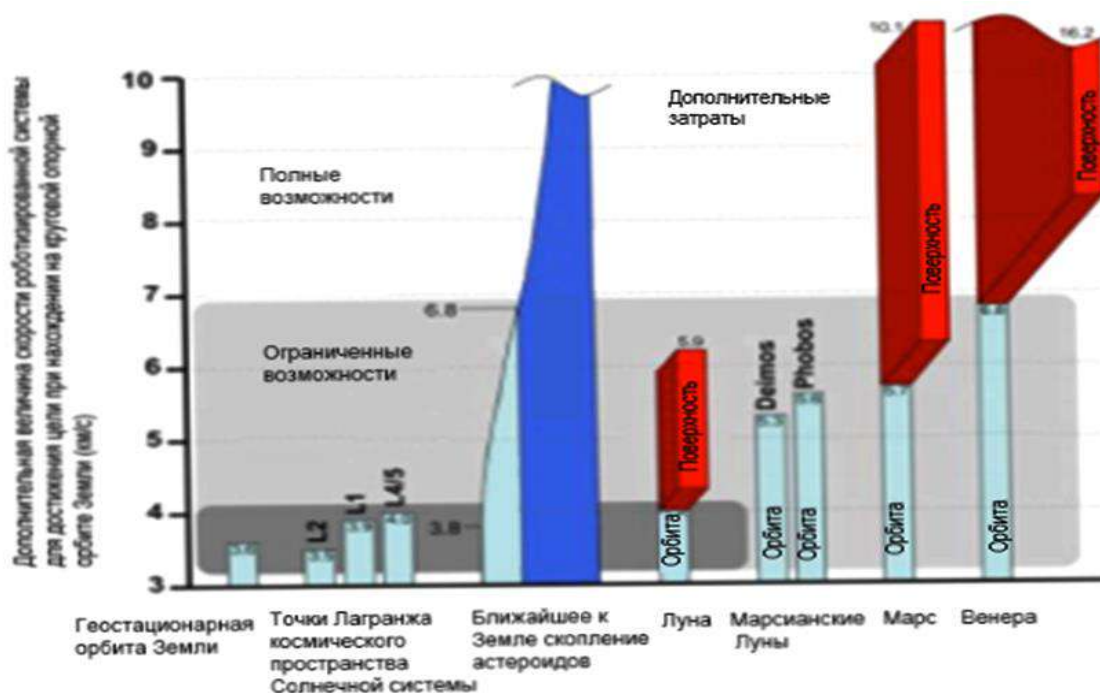


Рисунок 2. Диаграмма сравнения требований к изменению скорости передвижения роботизированных систем космического базирования при выполнении этапов космических программ по традиционной стратегии и по программе HERRO

Голубым и синим цветом отображены требования (затраты) к роботизированным системам космического базирования по достижению необходимой скорости и выполнению маневров на орбите.

Красным цветом на диаграмме выделены дополнительные затраты, необходимые для поддержания скорости роботизированной системы космического базирования при выполнении маневра, обеспечивающего посадку на поверхности ближайших планет Солнечной системы, включая наличие специализированных двигательных установок с повышенной тягой, дополнительных объемов топлива и т. д.

Программа HERRO, по мнению американских разработчиков, предлагает выполнять исследования с использованием роботизированных систем космического базирования, способных выдерживать агрессивные среды ближайших планет (например, Венера), при спуске на поверхность, выполнении задач с применением высокотемпературной электроники с использованием двигательных установок, выдерживающих постоянную температуру среды порядка 450°C и т. д., задач освоения космического пространства с применением современных технологий по совершенствованию роботизированных систем, включая техническое зрение, искусственный интеллект, аддитивные технологии и т. д.

1.2 Использование базовых пилотируемых роботизированных систем космического базирования для исследования ближайших планет Солнечной системы

По мнению американских исследователей, наиболее важными направлениями исследования космического пространства являются ближайшие к Земле планеты Солнечной системы.

На рисунке 3 представлена концепция исследования поверхности планет Солнечной системы с использованием роботизированных систем космического базирования на примере Марса.

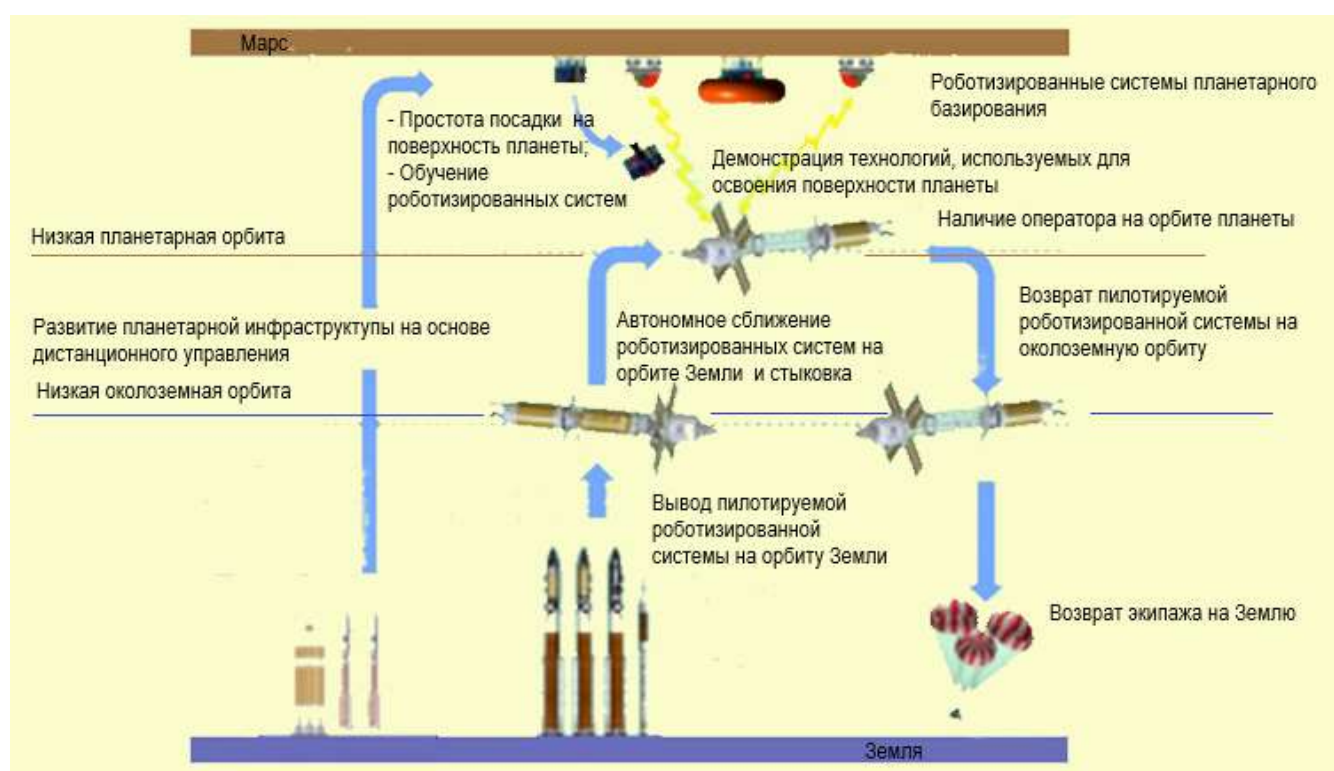


Рисунок 3. Диаграмма исследования поверхности планеты Марс с использованием роботизированных систем космического базирования

Стратегия концепции использования роботизированных систем космического базирования для освоения поверхности планеты Марс предполагает наличие нескольких этапов, позволяющих последовательно реализовать развертывание специальной системы, включающей в себя пилотируемые роботизированные системы космического базирования.

Транспортировка необходимой инфраструктуры с поверхности Земли на орбиту

включает в себя выполнение необходимого числа запусков для предварительного развертывания роботизированных систем космического базирования на околоземной орбите. Количество и тип ракет-носителей (РН) определяется, по мнению американских разработчиков, объемом и типом полезной нагрузки (ПН), включая базовые роботизированные системы космического базирования.

В качестве двигательной установки для базовой роботизированной системы космического базирования американскими специалистами предлагается использовать ядерный тепловой двигатель (Nuclear Thermal Propulsion – NTP), способный доставить экипаж на орбиту Марса и вернуть обратно на околоземную орбиту и использующий в качестве рабочего тела водород.

Для выполнения плана исследований, находясь на орбите Марса, экипаж (оператор/космонавт) обеспечит спуск роботизированных систем различного назначения на поверхность Марса, будет осуществлять прямое управление создаваемой на поверхности Марса инфраструктуры, включая марсоходы, сборщики образцов, станции быстрого анализа и т.д.

При открытии окна для возврата базовой роботизированной системы космического базирования экипаж будет возвращен к Земле и спустится с орбиты, используя роботизированную систему типа Orion.

На рисунке 4 представлена концепция применения роботизированных систем космического базирования для освоения поверхности малых планет Солнечной системы. По мнению американских разработчиков, принципиальным отличием от концепции освоения поверхности больших планет Солнечной системы является отсутствие необходимости предварительного размещения активной инфраструктуры на поверхности малых планет. Низкое гравитационное поле, по оценке экспертов, позволит пилотируемой базовой роботизированной системе космического базирования состыковаться с исследуемым космическим телом.

Работа в открытом космосе (EVA) будет выполняться оператором/космонавтом напрямую из пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования. Часть исследовательских работ будет выполняться оператором с использованием роботизированного телескопического манипулятора, установленного на системе, и обеспечивающего контакт/сбор/захват образцов грунта с поверхности космического тела, или кос-

монавтом с использованием роботизированной системы космического базирования – пилотируемого маневренного блока (Manned Maneuvering Unit – MMU), способного осуществлять полеты в условиях слабой гравитации.

Самым простым вариантом базовой пилотируемой роботизированной системы космического базирования в соответствии с требованиями программы HERRO, по мнению американских экспертов, является роботизированная система типа Orion с верхней ступенью РН.

Другая пилотируемая базовая роботизированная система космического базирования типа Centaur с верхней ступенью РН, по оценке экспертов, в соответствии с требованиями программы HERRO подходит для выполнения исследования поверхности Луны.

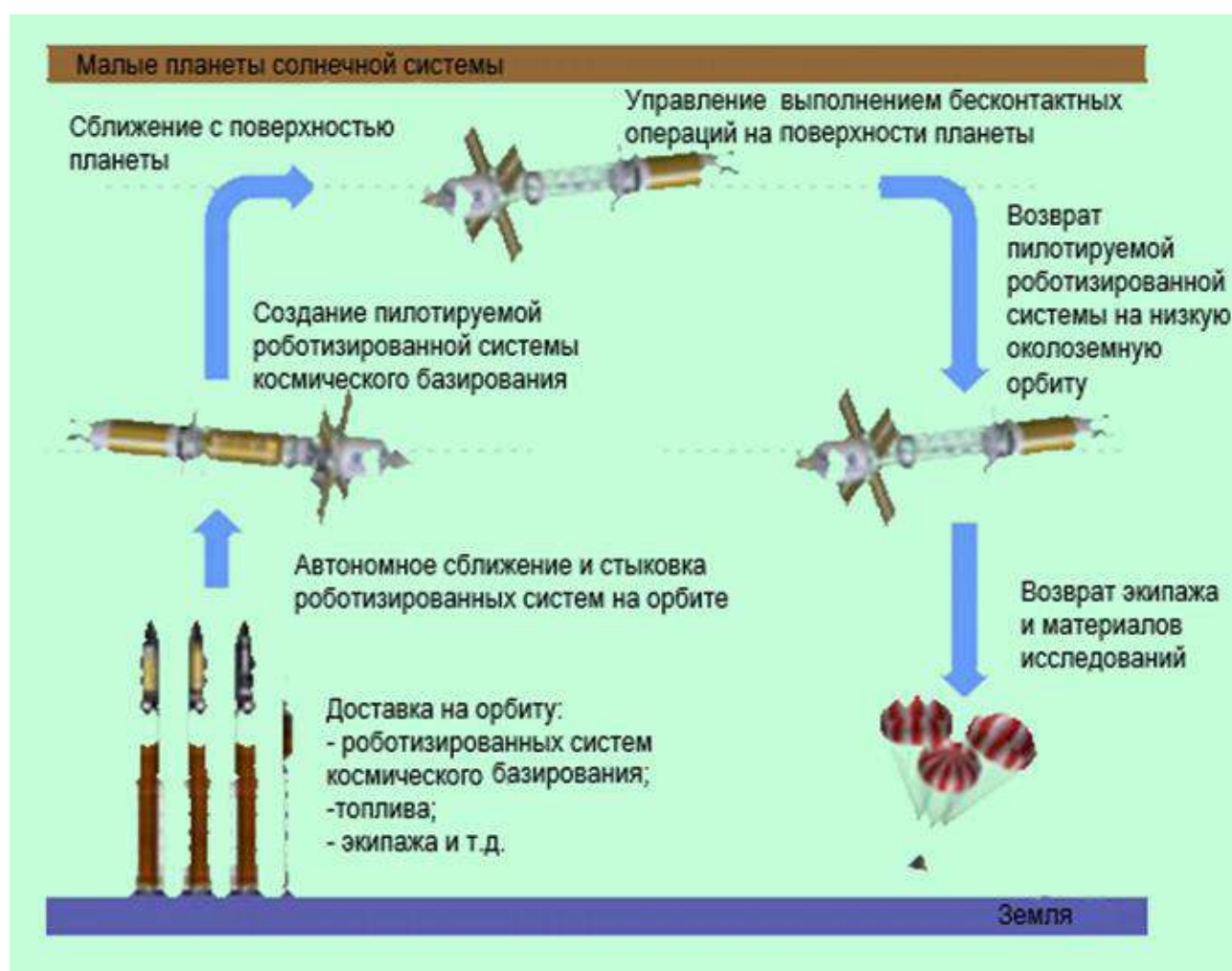


Рисунок 4. Концепция исследования малых космических тел Солнечной системы с использованием пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования

На рисунке 5 представлена диаграмма сравнения эффективности полета базовой пилотируемой роботизированной системы по программе HERRO и традиционного космического полета.

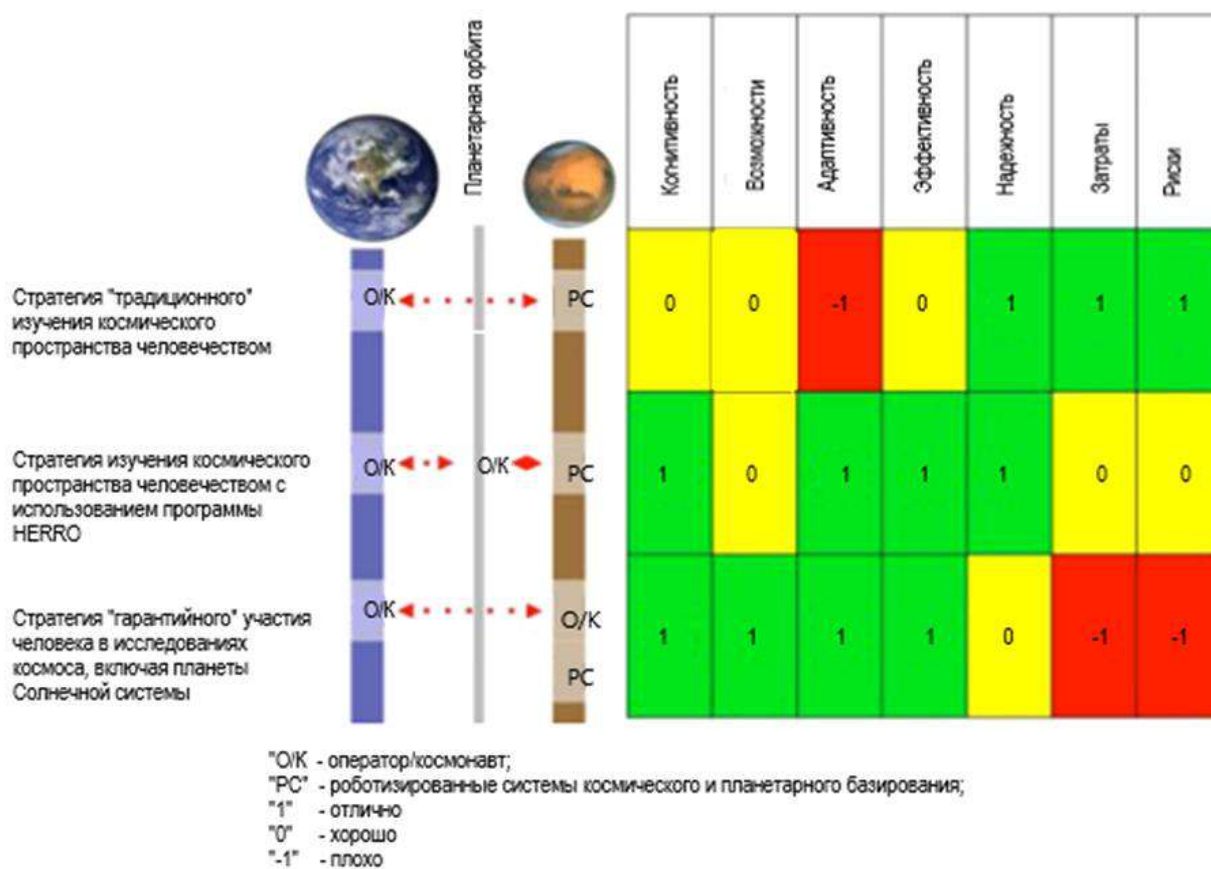


Рисунок 5. Диаграмма сравнения эффективности космических исследований, проводимых по программе HERRO и традиционной стратегии с использованием пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования

Разработчики программы HERRO предложили выполнить сравнение эффективности использования роботизированных систем космического базирования по семи критериям, включающим следующие понятия: когнитивность, возможности, адаптивность, эффективность, степень надежности, стоимость (затраты) и риски. По мнению американских экспертов, выбранные критерии позволяют охватить наиболее важные аспекты функциональной готовности роботизированных систем космического базирования к проведению комплексных разведывательных исследований космического пространства. Понятие когнитивности пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования включают в себя быстрое распознавание космического объекта или ситуации, требующей немедленной (быстрой) реакции, включая процесс выявления закономерностей и т.д.

Понятие «возможности» пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования определяет эффективность выполнения различных задач, включающих операции в космическом пространстве с использованием дополнительных роботизированных систем космического базирования, управляемых космонавтом (оператором) и т.д.

Под понятием адаптивности пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования американские специалисты понимают возможность адекватной реакции системы, выполняющей исследование космического пространства, при реагировании на новые возникающие ситуации в реальном времени и т. д.

Понятие эффективности пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования подразумевает минимизацию различных ресурсов при выполнении операций в космическом пространстве.

Понятие стоимости (рисков) включает общие ресурсы, необходимые для выполнения программы, и возможности потери основных ресурсов пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования, включая оператора/космонавта.

Используемые цвета в матрице соответствуют следующим критериям: зеленый – сильная позиция; желтый – слабая позиция; красный катастрофическая позиция.

По мнению независимых экспертов, первые четыре критерия определяют уникальное преимущество космонавта (оператора) при выполнении операций в космическом пространстве по сравнению с роботизированной системой космического базирования. Остальные критерии определяют воздействие космической среды на космонавта (оператора), что является ограничением при выполнении операций в космическом пространстве и понижает рейтинг. При выполнении долговременных космических программ космонавт (оператор) проигрывает автономным роботизированным системам космического базирования. Выполнение альтернативных космических программ с использованием автономных и дистанционно управляемых роботизированных систем дешевле и менее рискованно, чем полет космонавта в космическое пространство, имеющее гарантированно опасную для человека среду. Главным преимуществом автономных и дистанционно управляемых систем космического базирования является надежность, низкая стоимость и низкий уровень рисков при выполнении операций в космическом пространстве.

Анализ диаграммы сравнения различных стратегий освоения человечеством космиче-

ского пространства с использованием роботизированных систем космического базирования показывает, что подход к освоению ближнего и дальнего космоса эффективен при использовании стратегии космической программы HERRO, при этом основными достоинствами этой программы являются быстрая оценка возникающих в космосе ситуаций в реальном времени, включая реакцию и адаптивность к возникшим условиям.

Дополнительным фактором в пользу использования стратегии космической программы HERRO, по мнению независимых экспертов, является создание среды и условия усовершенствования интерфейса между оператором/космонавтом и роботизированной системой космического базирования. Специалисты NASA считают, что повышение эффективности интерфейса между оператором/космонавтом и роботизированной системой космического базирования способствует выполнению комплексных (по нескольким направлениям) исследований космического пространства за пределами околоземной орбиты, что позволяет избежать привязки к конкретной точке пространства и выполнять параллельные исследования.

Упрощенный подход космической программы HERRO к выполнению исследований космического пространства за границей околоземной орбиты обеспечивает снижение затрат и рисков на их проведение с использованием пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования.

Снижение рисков и стоимости использования пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования при выполнении программ освоения поверхности ближайших планет за счет отказа от спуска на поверхность планеты экипажей позволяет увеличить количество полетов пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования и реализовывать одновременное нахождение космонавтов (операторов) в различных областях космического пространства Солнечной системы.

На рисунке 6 представлена диаграмма эффективности использования стратегии космической программы HERRO для увеличения скорости выполнения отдельных видов космических операций с применением базовых пилотируемых роботизированных систем космического базирования, в частности при реализации программ освоения Венеры и Марса.

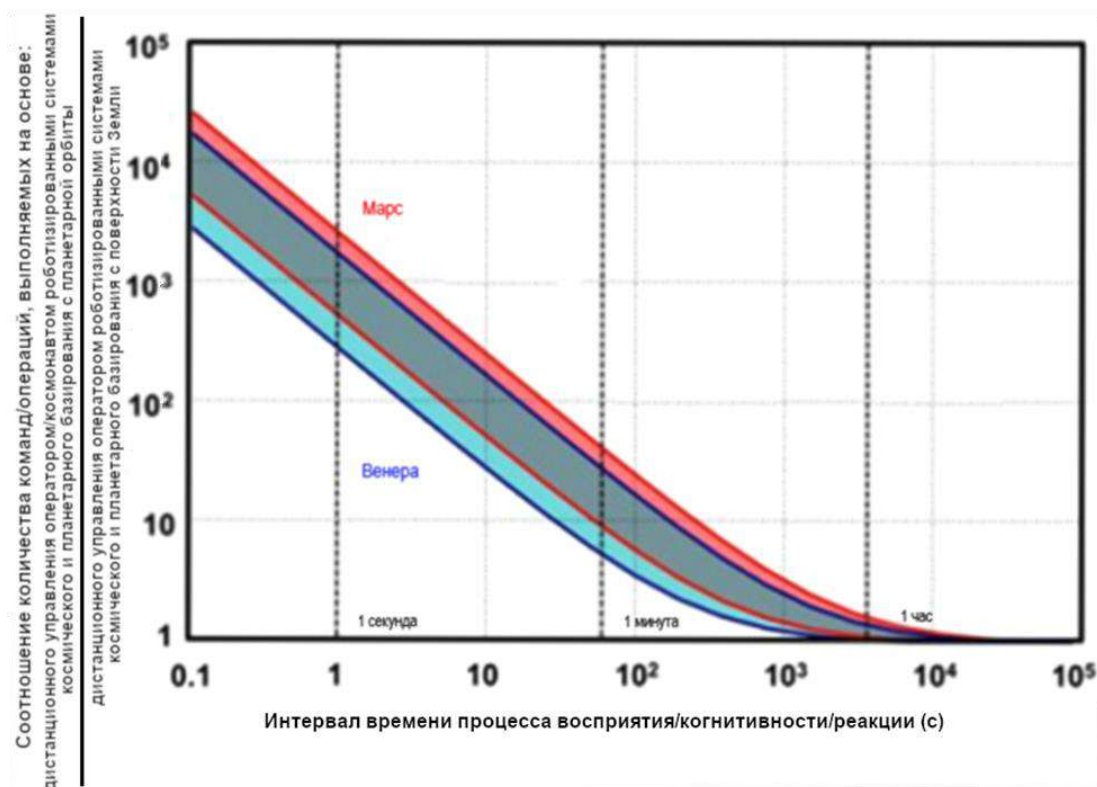


Рисунок 6. Диаграмма сравнения эффективности выполнения операций управления на Марсе и Венере пилотируемой роботизированной системой космического базирования и дистанционно управляемой с Земли роботизированной системой космического базирования

Наиболее важными технологиями для обеспечения этапов программы HERRO являются технологии, обеспечивающие эффективность работы интерфейса «оператор/космонавт – роботизированная система космического базирования и планетарного базирования».

Как считают эксперты NASA, первоначальное исследование планеты Марс человеком будет более эффективным при максимальном использовании потенциала космонавтов, когда они остаются на планетарной орбите и управляют телероботизированными системами на поверхности Марса. Технология телероботизированных систем с низкой по времени задержкой связи и высокой пропускной способностью каналов передачи данных (Low-Latency Telerobotics – LLT) подходит для исследования Марса, когда оператор, находясь на планетарной орбите, реализует возможности использования роботизированных систем планетарного базирования аналогично управлению роботизированными системами на Земле за счет эффекта телеприсутствия.

Технология типа LLT, по мнению независимых экспертов, обеспечивает высокоскоростное, качественное сенсорное восприятие, позволяющее оператору, находящемуся на

орбите Марса, иметь максимальную осведомленность о реально происходящей ситуации с помощью роботизированных систем, находящихся на поверхности планеты, путем эффективного управления ими, включая операции по забору грунта.

На рисунке 7 представлен эскиз использования экипажем, находящимся на планетарной орбите, роботизированных систем планетарного базирования различного назначения.



Рисунок 7. Эскиз диаграммы использования экипажем, находящимся на планетарной орбите, роботизированных систем планетарного базирования различного назначения с помощью технологии управления типа LLT

Экипаж роботизированной системы космического базирования на планетарных орбитах, находясь в непосредственной близости от места исследования поверхности планеты, минимизируя задержки связи, расширяет возможности процесса исследования ближайших планет Солнечной системы, включая Марс, Венеру, Луну, и других космических объектов, снижая уровень рисков при непосредственном нахождении космонавтов на поверхности космического объекта.

Высадка экипажа роботизированной системы космического базирования на поверхность ближайших планет является одной из важнейших целей исследований, но требует создания безопасных условий на основе создаваемой планетарной инфраструктуры, требующих значительных финансовых, временных и человеческих затрат.

Научное исследование Марса по технологии типа LLT, по мнению американских экспертов, является прорывной технологией, обеспечивающей революционный подход к выполнению геологических исследований поверхности Марса, включая отбор биогеохимических проб, операций глубокого бурения поверхности планеты и т.д. с использованием дистанционно управляемых роботизированных систем планетарного базирования.

Возможность возврата образцов проб на роботизированную систему космического базирования позволяет экипажу выполнять исследования полученного вещества без криогенной заморозки, что качественно изменяет уровень исследований. Использование опыта проведения исследований на Земле позволяет выполнять аналогичные операции на поверхности ближайших планет Солнечной системы.

Один из возможных сценариев использования роботизированных систем планетарного базирования, отработанный специалистами NASA на Земле, предполагает использование нескольких телероботизированных марсоходов для визуализации изображения объектов на поверхности Марса с высокой четкостью, используя технологию типа LLT, позволяющую адаптировать экипаж роботизированной системы космического базирования к «полевым» условиям планеты.

Использование технологии типа LLT обеспечит экипажу роботизированной системы космического базирования на планетарной орбите возможность оптимальной настройки роботизированных систем планетарного базирования.

Включение в функции роботизированной системы планетарного базирования технологии дистанционной телеобработки данных (Proximity Telerobotics – PT) позволит дополнительно уменьшить задержки связи и вместе с технологией типа LLT обеспечит высокую пропускную способность каналов связи, значительно увеличивая объем передаваемой информации, улучшая качество связи и позволяя реализовывать сбор данных в режиме реального времени, качественно повышая уровень управляемости РС ПБ.

По мнению экспертов NASA, экипаж роботизированной системы космического базирования сможет использовать роботизированные системы космического и планетарного базирования для выполнения операций на поверхности планет Солнечной системы, включая обследование площадки для планетарной инфраструктуры, развертывание специализированных роботизированных систем, процессы технического обслуживания РС, находящихся на поверхности планеты и т.д.

По мнению специалистов NASA, следующим этапом национальной космической программы США в области освоения ближайших планет Солнечной системы с использованием автономных и пилотируемых роботизированных систем космического и планетарного базирования является использование технологий типа LLT и РТ на основе программы HERRO для планирования и реализации исследований ближнего и дальнего космоса, включая выполнение геологоразведочных операций на поверхности ближайших космических тел и создания космической инфраструктуры на основе пилотируемых роботизированных систем космического базирования.

Разработка универсальной роботизированной системы космического базирования, находящейся на планетарной орбите, имеющей в своем составе энергетическую установку, среду обитания экипажа, систему спуска на планету и подъема на орбиту космонавта или роботизированной системы, блок логистики, обеспеченный набором интегрированных манипуляторов, космическую лабораторию и т.д., позволяет ускорить процесс создания условий для присутствия человека на планете, включая процессы, связанные с ее освоением.

По мнению экспертов США, космическая программа HERRO-Mars должна включать несколько вариантов действий:

- насыщение поверхности Марса роботизированными системами планетарного базирования, управляемыми экипажем роботизированной системы, находящейся на планетарной орбите Марса с использованием технологий типа LLT и РТ;
- использование космической инфраструктуры для создания планетарной инфраструктуры с экипажем на Фобосе или Деймосе;
- реализация возможности высадки космонавтов на поверхность планет, используя планетарную космическую инфраструктуру;
- дублирование планетарной инфраструктуры на основе роботизированных систем в других регионах поверхности Марса и т.д.

По мнению независимых экспертов, использование пилотируемых роботизированных систем космического базирования для исследования Марса также возможны на планетарной орбите Венеры, исходя из существующих космических двигательных установок и сроков доставки экипажа на орбиту Венеры. Стратегия программы HERRO, разработанная с использованием технологий LLT и РТ с учетом американских достижений в

области высокотемпературной электроники и энергосистем, может сделать Венеру главным кандидатом на создание космической пилотируемой роботизированной системы на планетарной орбите. Ключевым моментом, по мнению американских специалистов, является возможность использовать для ее исследования роботизированные системы планетарного базирования, разработанные для планеты Марс.

Наличие доступных технологий для создания роботизированных систем космического и планетарного базирования, включая наличие экипажа на планетарной орбите Венеры, позволяет облегчить и ускорить исследования планеты Венера по сравнению с традиционными подходами с использованием автономных роботизированных систем.

Прямое управление роботизированными системами планетарного базирования позволяет снизить уровень сложности электронных систем РС, упрощение которых ведет к повышению надежности и работоспособности, включая используемые для Венеры высокотемпературные карбидокремниевые материалы, находящиеся на стадии отработки технологии. Использование новых материалов для роботизированных систем космического и планетарного базирования снизит требования, предъявляемые к охлаждению роботизированной системы, увеличивая период жизненного цикла изделий с часов до суток, месяцев и лет.

Для реализации этапа программы HERRO-Mars предполагается использовать пилотируемую роботизированную систему космического базирования, представленную на рисунке 8. Дополнительным элементом пилотируемой роботизированной системы космического базирования типа CTCV (Crew Telerobotics Control Vehicle) является реализация механизма возврата полученных проб с поверхности на планетарную орбиту для проведения исследований экипажем.

В таблице 2 представлено сравнение эффективности стратегий реализации выполнения исследований по космическим программам DRA 5.0 Campaign (с высадкой экипажа на поверхность Марса) и по программе HERRO-Mars, использующей экипаж на планетарной орбите Марса.



Основной энергетический блок	Вспомогательный энергетический блок	Блок подачи топлива	Блок жизнеобеспечения деятельности экипажа	Блок доставки проб и экипажа
<ul style="list-style-type: none"> - Интегрированная компьютерная система и т.д.; - Космические трекеры на основе солнечных датчиков и инерциального измерительного блока и т.д. - Коммуникации на основе внешней антенны и т.д.; - Энергопитание на основе батарей; - Силовая установка – ядерный тепловой реактор типа NTR, включая радиационную защиту, топливные баки, реактивную систему управления положением и т.д.; - Контроль окружающей среды, включая защиту авионики роботизированной системы, защиту от микрометеоритов и космического мусора и т.д.; - Наличие переходника на роботизируемой системе космического базирования, адаптера стыковки, переходной фермы, кормовой силовой установки, защитной передней «юбки» и т.д. 	<ul style="list-style-type: none"> - Интегрированная компьютерная система и т.д.; - Космические трекеры на основе солнечных датчиков и инерциального измерительного блока и т.д. - Коммуникации на основе внешней антенны и т.д. - Энергопитание на основе батарей; - Силовая установка – ядерный тепловой реактор типа NTR, включая радиационную защиту, топливные баки, реактивную систему управления положением и т.д.; - Контроль окружающей среды, включая защиту авионики роботизированной системы, защиту от микрометеоритов и космического мусора и т.д.; - Наличие переходника на роботизируемой системе космического базирования, адаптера стыковки, переходной фермы, кормовой силовой установки, защитной передней «юбки» и т.д. 	<ul style="list-style-type: none"> - Интегрированная компьютерная система и т.д.; - Космические трекеры на основе солнечных датчиков и инерциального измерительного блока и т.д.; - Коммуникации на основе внешней антенны и т.д.; - Емкость с водородом; - Энергопитание на основе батарей и топливных элементов; - Силовая установка – ядерный тепловой реактор типа NTR, включая радиационную защиту, топливные баки, реактивную систему управления положением и т.д.; - Контроль окружающей среды, включая защиту авионики роботизированной системы, защиту от микрометеоритов и космического мусора и т.д.; - Наличие переходника на роботизируемой системе космического базирования, адаптера стыковки, переходной фермы, седельной фермы и т.д. 	<ul style="list-style-type: none"> - Интегрированная компьютерная система для экипажа и т.д.; - Космические трекеры на основе солнечных датчиков и инерциального измерительного блока и т.д.; - Коммуникации на основе внешней антенны и т.д. - Энергопитание – батареи, топливные элементы и т.д.; - Силовая установка – космическая двигательная установка, реактивная система управления, многослойная изоляция роботизированной системы, реактивная система управления положением и т.д.; - Контроль окружающей среды, включая защиту для авионики, радиационную защиту, радиатор, систему экологического контроля и жизнеобеспечения деятельности экипажа, емкость с питанием, места работы и отдыха экипажа; - Адаптер стыковки, ферма, конструкция блока для экипажа и т.д. 	<ul style="list-style-type: none"> - Интегрированная компьютерная система для экипажа и т.д.; - Космические трекеры на основе солнечных датчиков и инерциального измерительного блока и т.д. - Коммуникации на основе внешней антенны и т.д. - Энергопитание на основе батарей, топливных элементов; - Силовая установка на основе космической двигательной установки, реактивная система управления и т.д.; - Адаптер стыковки, системы хранения проб, места экипажа и т.д.

Рисунок 8. Эскиз пилотируемой роботизированной системы космического базирования, находящейся на планетарной орбите Марса, обеспечивающей дистанционное управление роботизированными системами планетарного базирования с использованием технологий LLT и PT

Таблица 2.

Сравнение эффективности стратегий реализации выполнения исследований космических программ DRA 5.0 Campaign (с высадкой экипажа на поверхность Марса) и с космической программой HERRO-Mars

Критерий	Космическая программа DRA 5.0 Campaign	Космическая программа HERRO
Область исследования: три региона поверхности Марса радиусом 100 км, удаленные друг от друга	Три отдельных этапа программы исследования поверхности Марса с использованием спуска/подъема космонавтов с (на) орбиту: пилотируемые задачи по спуску, приземление в трех местах, размещение груза на одной возможной площадке	Одноэтапная программа исследований поверхности Марса с использованием роботизированных систем планетарного базирования, управляемых экипажем роботизированной системы, находящейся на низкой орбите Марса, с использованием телероботизированных технологий управления типа LLT и PT
Место исследования и время исследования	Три региона Марса радиусом 100 км, удаленных друг от друга в течение трех периодов времени по 500 суток пребывания в космосе	Три региона Марса радиусом 100 км, одновременное исследование с использованием телероботизированных технологий/500 суток пребывания в космосе
Состав экипажа роботизированной системы	18 человек (3 экипажа по 6 человек)	6 человек (1 экипаж из 6 человек, включая 4 операторов-геологов, составляющих две смены, и двух специалистов поддержки)
Используемые в программе средства доставки полезной нагрузки на орбиту Марса	21 PH Ares V; 6 PH Ares I	- 4 PH Ares V; - 2 PH Ares , - 7 PH EELV - 4 тяжелых PH; - 2 Ares I; - 3 PH EELV для доставки трех роботизированных систем планетарного базирования типа вездеходов; - 3 PH EELV для трех роботизированных систем для возврата на орбиту Марса; - роботизированная система для отправки ПН на орбиту Марса с места сбора
Конфигурация роботизированной системы, используемой в космической программе	- 3 роботизированные системы типа Mars; - 6 роботизированных систем типа Orion; - 3 роботизированных систем типа грузовых посадочных модулей; - 3 роботизированные системы жилых посадочных модулей; - 3 роботизированные системы – подъемники на орбиту; - 3 роботизированные системы типа жилых помещений для космонавтов; - 6 роботизированных систем планетарного базирования типа герметичных вездеходов; - 6 роботизированных систем планетарного базирования типа негерметичных вездеходов, включая 27 ядерных энергетических установок типа NTR	- роботизированная система типа Mars; - 3 роботизированные системы планетарного базирования типа дистанционно управляемых транспортных средств; - 6 роботизированных систем планетарного базирования дистанционного управления типа Rockhounds; - 3 роботизированных системы отправки грузов на орбиту Марса; - роботизированная система планетарного базирования для создания инфраструктуры места сбора, включая 3 ядерных энергетических установки тип NTR
Основные технологии, обеспечивающие выполнение этапов космической программы	Экипаж на орбите, действующий длительное время, среда обитания, управление криогенными жидкостями и передача топлива, ядерные тепловые ракеты, радиационная защита, посадочный спуск с воздушным захватом (грузовым), посадочные системы подъема, уникальные марсианские среды обитания/ пилотируемые системы, пилотируемые вездеходы, надводные костюмы, наземный реактор, местная добыча топлива для системы подъема	Среда обитания экипажа на орбите в течение длительного времени, управление криогенными жидкостями и передача топлива, ядерные тепловые ракеты, радиационная защита, искусственная гравитация, телеробототехника, телеуправляемые вездеходы, система подъема образцов, дистанционно управляемая система обнаружения и сбора образцов

Выполнение программы HERRO-Venus зависит от наличия у роботизированной системы космического базирования типа CTCV средств и систем планетарного базирования, способных выдерживать высокие температуры и давления, что, по мнению американских специалистов, возможно не ранее 2030 г., после выполнения исследований с использованием автономных роботизированных систем космического базирования.

Основными требованиями, выдвигаемыми космической программой HERRO, являются обеспечение жизнедеятельности экипажа базовой пилотируемой роботизированной системы космического базирования.

Для реализации требований, связанных с жизнедеятельностью экипажа пилотируемым базовым роботизированным системам космического базирования, по мнению разработчиков, необходима разработка улучшенного экологического контроля для минимизации количества воды, кислорода и других жидкостей, требующихся для обеспечения жизненных условий экипажа. Пилотируемые базовые роботизированные системы космического базирования при выполнении этапов космических программ зависят от воздействия космических лучей, излучений различного типа, включая солнечную радиацию.

В рамках программы HERRO разработчики предлагают при создании пилотируемых роботизированных систем космического базирования использовать для защиты экипажа специальные экраны, смягчающие эффект излучения на основе использования многофункциональных материалов и применения специальных конструкций изделия. Наиболее эффективным средством защиты экипажа роботизированной системы, находящейся в космическом пространстве, по мнению американских исследователей, является использование водорода.

Для защиты экипажа от действия микрогравитации во время длительных космических исследований предполагается использовать в конструкции роботизированных систем космического базирования механизмы создания искусственной гравитации на основе систем вращающихся конструкций, требующих длительного тестирования в невесомости и дополнительной сертификации.

Программа NASA и ESA Artemis, по мнению американских разработчиков, являющаяся дополнением космической программы HERRO-Mars, формирует роботизированную систему космического базирования типа Gateway (шлюз), способную обеспечить

создание космической инфраструктуры на основе объединения разнообразных роботизированных систем, находящихся на высокой окололунной орбите. Американские ученые считают, что создание космической инфраструктуры, способной решать задачи управления роботизированными системами планетарного базирования, позволит отработать технологию освоения планетарной орбиты Марса.

При этом необходим запуск с использованием тяжелой РН интегрированной пилотируемой роботизированной системы космического базирования. В состав такой системы должны входить:

- космический энергосиловой блок;
- космическая двигательная установка;
- обитаемый блок;
- лунная обитаемая логистическая роботизированная система типа HALO (Habitation And Logistics Outpost – HALO);
- роботизированная система космического базирования типа Orion;
- роботизированная система типа HLS (Human Landing System – HLS), обеспечивающая перемещение космонавтов на поверхность планет Солнечной системы в обоих направлениях и т.д.

На последних этапах космической программы Artemis создаваемая интегрированная пилотируемая роботизированная система космического базирования должна получить дополнительные роботизированные системы типа INAB и ESPRIT, разработанные специалистами ЕС в сотрудничестве с другими странами, для постепенного наращивания возможностей для исследования и освоения Луны как этапа освоения Марса. В соответствии с планами национальной космической программы США 2028 г. определен годом возвращения космонавтов на поверхность Луны.

Для доставки ПН на поверхность планет и других тел Солнечной системы (в частности Луны) специалистами NASA создана коммерческая служба CLPS (Commercial Lunar Payload Services). Служба предназначена в том числе для доставки на них роботизированной системы планетарного базирования – ровера VIPER (Volatiles Investigating Polar Exploration Rover) на поверхность Марса.

Действующий план полетов NASA предусматривает высадку на Луну и постоянное присутствие на Луне как на испытательном полигоне РС ПБ для реализации в дальнейшем национальных космических программ на Марсе к 2030 г.

Динамическое изменение целей космической программы США повлияло на процесс исследования и освоения поверхности Луны, включая исследование окололунных пространств на различных лунных орбитах.

Современным вариантом космической программы освоения Луны является программа, связывающая лунную исследовательскую роботизированную систему космического базирования с роботизированной системой типа «шлюз», обеспечивающей перемещение полезной нагрузки и космонавтов с лунной орбиты на поверхность Луны и обратно (Lunar Orbital Platform-Gateway – LOP-G). Программа представляет собой пилотируемую базовую роботизированную систему космического базирования типа DSG (Deep Space Gateway – DSG), расположенную на лунной орбите типа NRHO (Near-Rectilinear Halo Orbit – NRHO).

По замыслу разработчиков, роботизированная система космического базирования типа DSG будет принимать многоцелевые пилотируемые роботизированные системы типа Orion, выводимые на околоземную орбиту PH SLS, находясь на лунной орбите типа NRHO.

Нахождение пилотируемой роботизированной системы космического базирования типа LOP-G на лунной орбите типа NRHO, по мнению разработчиков, позволит выполнять исследовательские работы, связанные с изучением планеты Луны, ее поверхности, астероидов, Марса, поверхности Марса и т.д. Выбор орбиты типа NRHO позволяет осуществлять запуск различных роботизированных систем космического базирования к ближайшим планетам Солнечной системы, дополнительно увеличивая скорость РС КБ в диапазоне от 2,5 до 4,0 км/с, уменьшая затраты на доставку ПН на Марс, Венеру и т.д.

Основной проблемой программы LOP-G, по мнению независимых экспертов, является отсутствие дополнительных преимуществ нахождения роботизированной системы на орбите типа NRHO перед нахождением на опорной околоземной орбите. Кроме того, они считают, что космическая программа возврата человечества на поверхность Луны ведет к неэффективному использованию средств, выделяемых на исследование и освоение космического пространства Солнечной системы, включая планету Марс.

Другим важным направлением исследований является совершенствование конструкций роботизированных систем космического базирования, включая способы и методы обеспечения высокой мощности энергетической установки, необходимой для обеспечения мобильности при выполнении операций в космосе в режиме реального времени

на основе высокоэффективных солнечных фотоэлектрических установок, электрических радиоизотопных генераторов и т.д.

Использование в качестве двигательной системы пилотируемой роботизированной системы ядерной тепловой установки позволит удвоить уровень тяги при выполнении планетарных исследований ближайших планет Солнечной системы. В качестве прототипа силовой установки пилотируемой роботизированной системы космического базирования американские разработчики предлагают использовать ядерный тепловой двигатель типа Nerva.

Космическая ядерная энергетика и двигательные установки, включая радиоизотопные энергетические системы (Radioisotope Power Systems – RPS) и энергосиловые двигательные установки (Fission Power and Propulsion Systems – FPS) позволяют США реализовывать космическую национальную программу, направленную на изучение и освоение космического пространства Солнечной системы.

Высокие затраты и неопределенность стабильной долговременной эксплуатации энергетических систем типа RPS для пилотируемых роботизированных систем космического базирования, по мнению американских специалистов, требуют комплексной сертификации, что ограничивает их реальное применение.

Длительность срока утверждения американскими сертификационными органами, использования роботизированными системами космического базирования ядерных энергетических установок определяется временным периодом от 6,5 лет, при этом стоимость выполняемых работ колеблется в диапазоне от 30 до 40 млн долл.

По мнению американских исследователей, другим альтернативным решением двигательной установки космического базирования является плазменная двигательная установка или магнитоплазменно-динамический двигатель типа VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket).

На рисунке 9 представлена принципиальная схема магнитоплазменно-динамического двигателя типа VASIMR, рассматриваемого американскими специалистами в качестве варианта силовой установки для пилотируемой базовой роботизированной системы космического базирования.

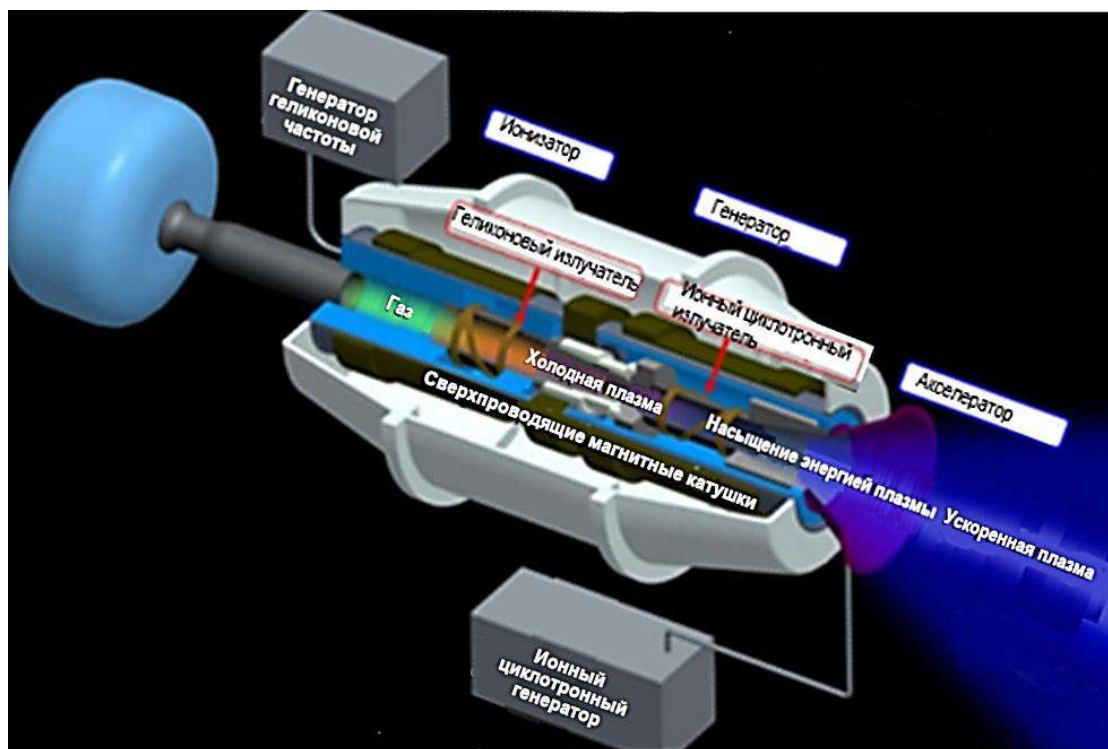


Рисунок 9. Схема альтернативной двигательной установки типа VASIMR для пилотируемых базовых роботизированных систем космического базирования программы HERRO

По мнению независимых экспертов, стратегия программы HERRO позволяет в короткие сроки использовать существующие пилотируемые базовые роботизированные системы космического базирования для реализации этапов освоения поверхностей ближайших планет Солнечной системы, пока эффективность использования дистанционно управляемых и автономных роботизированных систем космического базирования недостаточна из-за существующего низкого технологического уровня.

По оценке специалистов, стратегия использования пилотируемых роботизированных систем космического базирования в соответствии с программой HERRO позволит ускорить темп освоения космического пространства Солнечной системы.

1.3 Разработка пилотируемых и дистанционно управляемых модульных роботизированных систем космического базирования для выполнения операций в космическом пространстве

В настоящее время операции в открытом космосе, по мнению независимых экспертов, представляют собой процессы с высоким риском. Эти операции в основном выполняют люди, которые являются необходимым звеном для освоения космического пространства с использованием роботизированных и пилотируемых систем космического базирования.

Для повышения эффективности проведения операций в космическом пространстве, зарубежные страны разрабатывают концепции их применения с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования.

Концепция выполнения операций в открытом пространстве, разработанная странами ЕС, с использованием роботизированных систем типа MMEVR (Multi-Mission Extra Vehicular Robot) предлагает промежуточное решение выполнения задач, связанных с операциями в открытом космосе.

По мнению европейских специалистов, формирование симбиоза между оператором/космонавтом и роботизированной системой позволит сократить время нахождения космонавта в открытом космическом пространстве с использованием специализированной роботизированной системы, приспособленной для выполнения типовых операций и осуществления «свободного автономного» или «дистанционно управляемого» полета для выполнения операций с заранее спланированными компонентами, связанными с обслуживанием или модернизацией систем, находящихся на орбите или на поверхности планеты Солнечной системы.

В рамках программы NASA и ESA Artemis Lunar Gateway концепция использования РС типа MMEVR представляет модульную роботизированную систему, которая позволяет оператору/космонавту настраивать ее для выполнения конкретных работ с заданными требованиями. Модуль роботизированной системы типа MMEVR имеет от 2 до 4 дополнительных роботизированных конечностей, собственную систему навигации, блок коррекции на основе системы RCS/CMG (Reaction Control System/Control Movement Gyroscope), блок, реализующий интерфейс для выполнения РС автономных задач или в сотрудничестве с оператором/космонавтом во время его выхода в открытый космос (EVA), включая системы стыковки с оборудованием костюма космонавта.

Основным решением роботизированной системы космического базирования типа MMEVR, по мнению разработчиков, является созданный модуль (блок) интегрированного управления с библиотеками международных типовых операций для дистанционного управления (International Standard Payload Rack – ISPR) в качестве роботизированного дополнения к костюму космонавта и для работы в автономном режиме. Другим решением для блока управления типа ISPR является наличие стыковочного узла, обеспечивающего надежный интерфейс со всеми известными устройствами.

Разработчики роботизированной системы типа MMEVR при формировании библиотеки типовых операций использовали опыт взаимодействия оператора/космонавта с роботизированными системами типа MMU, Safer, Robonaut и реализовали механизм машинного обучения, что позволяет системе повысить уровень эффективности и надежности при выполнении типовых операций в космическом пространстве, используя процедуру предварительной генерации пошагового выполнения заданной операции.

Работа космонавта в открытом космосе может проводиться экипажем прямо с базовой роботизированной системы космического базирования с использованием малых роботизированных систем, позволяющих выполнять маневры и операции с использованием различных телескопических систем в открытом космосе типа PTV (Piloted Transfer Vehicle). Пилотируемый маневренный блок (MMU) – роботизированная система космического базирования, осуществляющая автономное и пилотируемое перемещение в космическом пространстве. С использованием блока типа MMU американский астронавт выполнил удачную стыковку с роботизированными системами типа PALAPA B-2, WESTAR и пытался безуспешно состыковаться с роботизированными системами космического базирования типа STS 51-A, Solar MAX Satellite. Он, используя систему автоматического удержания положения роботизированной системы MMU (Automatic Attitude Hold – ААН), достиг максимальной скорости 20 м/с, позволившей осуществить стыковку с обслуживаемой роботизированной системой.

На рисунке 10 представлена фотография процедуры захвата роботизированной системы типа WESTAR американским астронавтом с использованием роботизированной системы типа MMU. При проектировании роботизированной системы космического базирования типа MMU специалистами Лаборатории моделирования операций в космосе (Space Operations Simulation – SOS) NASA осуществило этот процесс в реальном масштабе времени, что ускорило процесс создания изделия.



Рисунок 10. Снимок операции захвата роботизированной системы типа WESTAR с использованием роботизированной системы типа MMU

Основные характеристики роботизированной системы космического базирования типа MMU представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Основные технические характеристики роботизированной системы космического базирования типа MMU

№ п/п	Техническая характеристика	Значение
1	Вес MMU с полной зарядкой, кг	153,8
2	Время работы от одной батареи, ч	6
3	Расстояние при дневном свете, м	137,2
4	Расстояние ночью с ходовыми огнями, м	45,7
5	Скорость перевода, м/с	0,09
6	Ускорение вращения, град/с	10
7	Высота, м	1,27
8	Ширина, м	0,84
9	Длина со сложенными конечностями, м	0,69

Для реализации операций в космическом пространстве по автономному сближению и стыковке с использованием роботизированной системы типа MMU, по мнению разработчиков, необходимо выполнить на орбите следующие операции:

- стыковка/захват космического объекта;
- стыковка и швартовка с базовой роботизированной системой космического базирования и т.д.

Основными элементами роботизированной системы космического базирования типа MMU, реализующей операции в открытом космосе по сближению и стыковке, является

наличие блока авионики и системы удаленного управления манипулятором (Remote Manipulator System – RMS) и т.д. При этом структурная многофункциональная экспериментальная система (Multiple Payload Experiment Structural System – MPESS) используется в качестве ПН. Команды на двигательную установку могут подаваться через интерфейс ручного контроллера оператором/космонавтом на основе алгоритма автоматизированного управления.

На рисунках 1.11 - 1.12 представлены фото и эскиз роботизированной системы космического базирования типа MMU, используемой американскими астронавтами в открытом космосе.

Внедрение роботизированных систем в космические операции является основной возможностью для реализации будущих этапов космических национальных программ большой длительности и на большом расстоянии от центра управления полетом.

По мнению независимых экспертов, основными операциями для роботизированных систем являются операции, связанные со сборкой конструкций изделий на орбите. Использование роботизированных манипуляторов, являющимися роботизированными системами космического базирования для выполнения операций сборки конструкций, отражает состояние процессов, проходящих в открытом космосе.



Рисунок 11. Эскиз роботизированной системы космического базирования типа MMU (США)

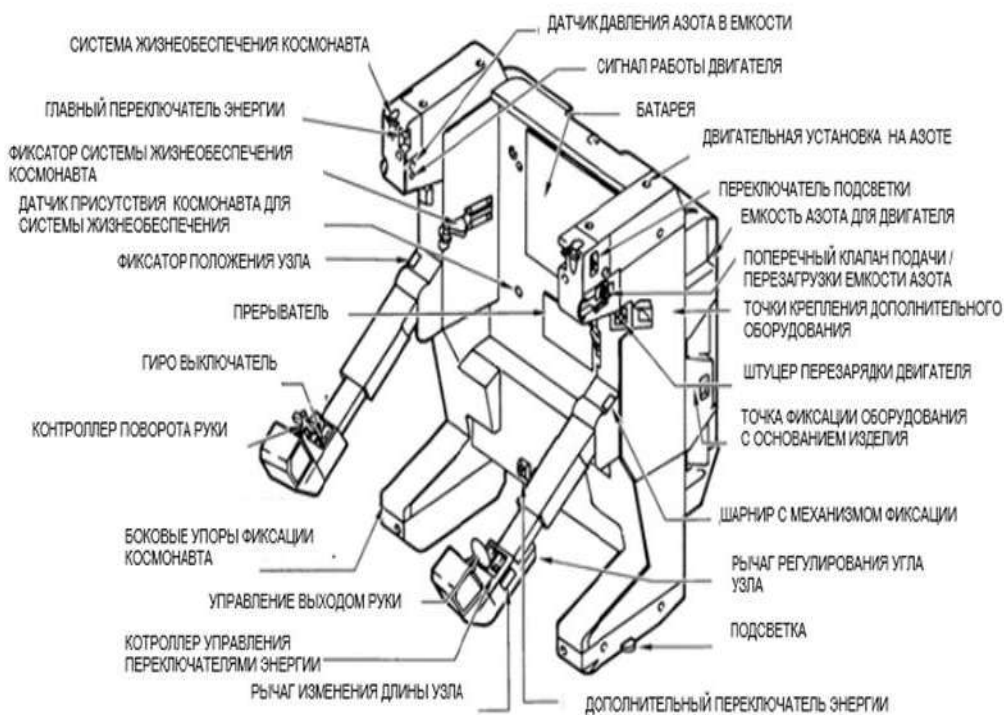


Рисунок 12. Эскиз роботизированной системы космического базирования типа MMU (США)

Американскими и европейскими специалистами для определения существующих требований к роботизированной системе космического базирования была выбрана справочная система типа HNDH (Human Integration Design Handbook).

Справочник проектирования процесса интеграции человека в космосе типа HNDH был разработан американскими специалистами по указанию NASA для организации деятельности человека на орбите, включая нахождение в открытом космосе при выполнении операций и следующих задач:

- перемещение ПН, включая операции дублирования;
- обслуживание и перемещение роботизированных систем космического базирования с орбиты на орбиту;
- выполнение научных экспериментов на орбите и в открытом космическом пространстве в автономном, совместном и управляемом режиме с роботизированными системами различного назначения;
- операции, выполняемые с ПН, оборудованием, включая перемещение космонавтов в пространстве из одной точки в другую;
- создание больших конструкций с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования;

- инициация и поиск роботизированных систем, находящихся на орбите или поверхности планеты;
- выполнение сервисного обслуживания, ремонта, восстановления роботизированной системы различного назначения;
- проведение инспекции и специальных осмотров роботизированных систем, находящихся на орбите или на поверхности планеты и т.д.

Концепция справочника по интеграции человека в космическое пространство с использованием роботизированной системы космического базирования, по мнению американских специалистов, определяет основную цель его создания – анализ информационных данных, ранее полученных специалистами разных стран при разработке систем адаптации деятельности человека в космическом пространстве или на поверхности планет Солнечной системы. Взаимодействие оператора/космонавта с роботизированными системами для перераспределения нагрузок при выполнении конкретной космической операции между человеком и машиной с проведением оперативного анализа и моделирования перед выполнением операции в космическом пространстве включает:

- выявление, определение и оценка потенциальных проблемных мест возникновения коллизий при эксплуатации роботизированных систем космического базирования на орбите;
- разработка методик устранения выявленных проблемных мест изделий, находящихся на орбите;
- планирование и моделирование операций по устранению аварийной ситуации на роботизированной системе;
- оказание помощи по обеспечению нахождения изделия в работоспособном состоянии и т.д.

Номенклатура справочника типа НІДН охватывает ответы на вопросы, связанные со здоровьем космонавтов, обитаемостью, окружающей средой, человеческими факторами, влияющими на выполнение основной задачи космических программ освоения ближнего и дальнего космоса.

По мнению независимых экспертов, в настоящее время ускорению процесса освоения космического пространства мешает дефицит автономных и управляемых оператором/космонавтом роботизированных систем космического и планетарного базирования универсального и специального типов.

Отсутствие «универсализма» у роботизированных систем космического базирования формирует область операций в космическом пространстве, которые может выполнить только космонавт. Перечень операций, проводимых космонавтом в космическом пространстве, превосходит перечень операций, выполняемых РС КБ на орбите или на поверхности планеты Солнечной системы.

По мнению американских специалистов, часть космических операций не являются заранее спланированными из-за коллизий, возникающих в процессе эксплуатации роботизированных систем космического и планетарного базирования, устранение которых должно быть выполнено в кратчайшие сроки. Вторым фактором является то, что роботизированные системы космического базирования не предоставляют специальных возможностей космонавту, включая возможность использования дополнительных инструментов (устройств) для устранения конкретных проблем.

Ограниченный ресурс космонавта, выполняющего операции в открытом космосе, предполагает наличие дублера, способного продолжить выполнение начатой операции, дополнительное время на подготовку космонавта, время на восстановление космонавта после работы в космическом пространстве, а также наличие опасных факторов воздействия открытого космоса на космонавта и т.д.

Специалисты ESA при создании роботизированной системы космического базирования типа MMEVR для работы в тандеме с космонавтом в открытом космическом пространстве расширили возможности космонавта за счет операций манипулирования с различными конструкциями и узлами, превышающими стандартные возможности космического скафандра.

Роботизированная система космического базирования типа MMEVR, по мнению разработчиков, должна облегчить работу космонавта в открытом космосе при возникновении аварийных ситуаций с базовой роботизированной системой или роботизированной системы, находящейся на орбите, требующей обслуживания для устранения возникшей коллизии, включая вариант выполнения аварийных работ без участия членов экипажа.

Роботизированная система космического базирования типа MMEVR является сложной платформой, обеспечивающей обслуживание на орбите, и состоит из трех основных элементов:

- сервисного модуля;
- пульта (блока) управления;
- модульной роботизированной системы с несколькими конечностями.

По мнению независимых экспертов, роботизированная система типа MMEVR адаптируется к любой другой системе, находящейся на орбите. Универсализм конструкции

роботизированной системы типа MMEVR независимо от поставленной цели обеспечивается коммерческими готовыми изделиями (продуктами) (Commercial Off-The-Shelf – COTS), за счет чего сокращается время опытной эксплуатации, необходимое для проведения исследований и доработок на этапе тестирования.

На рисунке 13 представлен эскиз использования роботизированной системы типа MMEVR космонавтом со скафандром типа EMU (Extra-Vehicular Mobility Unit) в открытом космическом пространстве.



Рисунок 13. Эскиз роботизированной системы космического базирования типа MMEVR со скафандром космонавта типа EMU

Роботизированная система типа MMEVR представляет собой модульную, мобильную, многокомпонентную роботизированную платформу, реализующую различные варианты обслуживания роботизированных систем космического базирования, включая транспортировку космонавта к цели.

Роботизированная система типа MMEVR может работать в автономной конфигурации, объединяться с навигационным модулем или модулем конечностей тройной конфигурации.

Механизм каждой конечности представляет собой роботизированную руку с 10 степенями свободы, конструктивно обеспечивающую достижение манипулятором руки любой точки в радиусе до 2,2 м сектора рабочего пространства, доступного космонавту на уровне грудного отдела, без помех для обзора шлема или дополнительной системе стереокамер.

Использование роботизированной системы космического базирования типа MMEVR увеличивает количество возможных совершаемых операций, включая дополнительную систему навигации при наличии навигационного модуля. Космонавт управляет роботизированной системой типа MMEVR через устройство дистанционного управления, находящееся у оператора, или через роботизированный блок управления на основе искусственного интеллекта.

Блок конечностей роботизированной системы типа MMEVR, по мнению разработчиков, дополнительно можно использовать в качестве средства передвижения и фиксации космонавта на поверхностях базовой роботизированной системы, находящейся на орбите.

Система технического зрения на основе стереозрения с использованием камер-лидаров роботизированной системы типа MMEVR предоставляет возможность экипажу базовой роботизированной системы, находящейся на орбите, осуществлять контроль за обстановкой в открытом космосе, определять расстояние до цели (обслуживаемой роботизированной системы космического базирования) в режиме реального времени.

Система энергообеспечения роботизированной системы типа MMEVR, состоящая из 4 литий-ионных аккумуляторных батарей, запитывает две шины (по две батареи на каждую шину). Одна батарея является основной, вторая – резервной. Это позволяет обеспечивать питанием одну конечность роботизированного блока, систему управления на основе компьютера и одну камеру-лидар, осуществляющую формирование изображения происходящих событий в среде около конечности, предоставляя экипажу числовые изображения изменяющихся событий, расстояние конечности до цели в режиме реального времени, используя блок управления, находящийся на базовой роботизированной системе космического базирования.

В автономном режиме роботизированная система космического базирования типа MMEVR, используя блок коррекции на основе системы RCS/CMG, может осуществить процесс стыковки (докования) с базовой роботизированной системой космического базирования. Каждый порт дока (стыковки) дополнительно оснащен радиально направленным лазером системы центровки блока и оснащен автономной системой стыковки/расстыковки с базовой роботизированной системой космического базирования.

Навигационная система (Navigation systems – NAVSYS) роботизированной системы космического базирования типа MMEV по замыслу разработчиков является дополнительным блоком и состоит из 4-х блоков корректировки вектора движения типа RCS, что обеспечивает роботизированную систему 20-ю векторными подруливающими двигателями на топливе на основе азота, с двумя соплами на каждый двигатель, включающий в себя два бака, заполненных 18 кг азота.

Наличие блоков корректировки положения типа RCS преобразует роботизированную систему космического базирования типа MMEVR в полноценную космическую транспортную систему.

Для повышения эффективности работы разработчики используют топливные баки двигательных установок навигационной системы и роботизированной системы типа MMEVR, накладывая ограничение на угол поворота векторов системы корректировки типа RCS. Для уменьшения габаритов танков используются реактивные «колеса» систем NAVSYS, RCS и MMEVR, которые работают в тандеме, ограничивая использование системы RCS векторным смещением и используя опорные колеса для ориентации. Система NAVSYS учитывает опыт, полученный при эксплуатации систем MMU и Safer, расширяя при этом мобильность системы MMEVR. Благодаря системе NAVSYS платформа MMEVR стала способна осуществлять аппаратный поиск как в автономном, так и в дистанционном режиме. Когда система NAVSYS используется вместе с устройствами работы в открытом космосе (EVA), управление устройством RCS осуществляется с системы MMEVR аналогично PC MMU, которая также обеспечивает аппаратный интерфейс между костюмом xEMU и системой MMEVR. Интерфейс управления RCS очень похож на интерфейс системы MMU и основан на двух 4-осевых джойстиках, размещенных на ремне безопасности. Длина подлокотников регулируется в зависимости от роста космонавта. В случае падения давления в двух баллонах с азотом они могут

быть удалены из модуля NAVSYS с помощью пружинного механизма с предварительным натягом. Бортовой сдвоенный компьютер обеспечивает реальный расчет тяги по времени с учетом смещения центра масс, вызванного движениями конечностей.

Таким образом, исследование человечеством ближнего и дальнего космоса с использованием роботизированных систем космического и планетарного базирования (РС КБ и ПБ) в реальном масштабе времени отличается от классического способа исследования космического пространства Солнечной системы.

Программа HERRO, разработанная специалистами NASA предусматривает снижение рисков космических исследовательских программ, исключает необходимость использования сложных и дорогостоящих спускаемых пилотируемых роботизированных систем космического и планетарного базирования с участием человека непосредственно на поверхности ближайших планет Солнечной системы. Нахождение экипажа в пилотируемой роботизированной системе космического базирования на орбите ближайших планет Солнечной системы, в непосредственной близости от их поверхности, позволяет устранить существующую задержку двусторонней связи, ограничивающую возможности эффективного использования РС на поверхности планеты, между роботизированной системой на планете и оператором центра управления на Земле.

Применение современных телекоммуникационных систем экипажем пилотируемой роботизированной системы космического базирования облегчает принятие решений, выполнение операций в космическом пространстве и на поверхности планеты, управление автоматизированными системами. Использование роботизированной системы на планетарной орбите с экипажем на борту, по мнению независимых экспертов, является целесообразным решением процесса освоения космического пространства Солнечной системы.

Пилотируемая роботизированная система космического базирования на планетарной орбите ближайших планет Солнечной системы позволяет реализовывать идею создания космического форпоста около планет Солнечной системы, расширить космическую инфраструктуру освоения ближнего и дальнего космоса, способную решать задачи в интересах правительства США в военной и коммерческой области.

Экипаж роботизированной системы космического базирования на планетарных орбитах в соответствии с программой HERRO обеспечивает преимущество прямого уча-

ствия в исследованиях космонавта (оператора) на основе получаемых данных от роботизированных систем, оснащенных различными датчиками, включая систему «технического зрения», находящимися на поверхности планеты при выполнении конкретной операции путем виртуального присутствия человека на поверхности планеты.

Основным достоинством космической программы HERRO является менее рискованная стратегия освоения Солнечной системы с максимальным использованием потенциала присутствия человека на планетарной орбите для обеспечения эффективного управления создаваемой космической инфраструктуры.

Используемая стратегия космической программы HERRO позволяет в кратчайшие сроки увеличить эффективность и скорость исследования космического пространства с уменьшением затрат на обеспечение безопасности экипажа в процессе высадки космонавтов на поверхность ближайших планет Солнечной системы и выполнения работ по созданию инфраструктуры.

Дополнительным фактором, влияющим на освоение ближнего и дальнего космоса, является возможность эффективного использования дополнительного периода времени для совершенствования автономных роботизированных систем космического и планетарного базирования.

Отдельным направлением стратегии создания космической инфраструктуры является создание на планетарных орбитах ближайших планет Солнечной системы пилотируемых экипажем универсальных роботизированных систем космического базирования, способных обеспечивать решение задач как в интересах военных, так и коммерческих структур.

Использование пилотируемых роботизированных систем космического базирования, разработанных на основе существующих современных технологий, позволяет значительно ускорить процесс освоения человечеством космического пространства Солнечной системы, включая ближайшие к Земле планеты.

2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

С 1997 по 2004 г. американские роботизированные аппараты Sojourner, Spirit и Opportunity последовательно совершали мягкие посадки и проводили исследования Марса. В 2012 г. на Марсе начал работу марсоход Curiosity. Он был разработан для исследования кратера Гейла в рамках программы Национального управления США по авиации и космическим исследованиям (NASA) «Марсианская научная лаборатория» (Mars Science Laboratory – MSL). Марсоход представляет собой автономную химическую лабораторию, его вес в несколько раз больше предыдущих марсоходов, работа с ним продолжается до настоящего времени. Все названные марсоходы были оснащены манипуляторами в качестве основного инструмента для выполнения программы исследований.

С 2005 г. Лаборатория реактивного движения NASA (Jet Propulsion Laboratory – JPL) в г. Пасадина (США) работает над созданием большого мобильного робота для исследования лунной поверхности (All-Terrain Hex-Legged Extra-Terrestrial Explorer – ATHLETE). Его главная особенность – использование шагающего способа передвижения (локомоции) и возможность перехода на колесный способ путем изменения конфигурации опорных поверхностей. Это новый тип роботизированной системы для исследования планет с улучшенной адаптацией к поверхности со сложным рельефом.

Перспективы космической робототехники связаны как с развитием отработанных прототипов в направлении расширения их функциональных возможностей, так и с созданием новых типов систем, не имеющих на сегодняшний день эксплуатируемых аналогов. При этом уникальность объектов космической робототехники, экстремальные условия функционирования, затрудненность полномасштабной наземной отработки определяют многообразие конструктивных решений и широкий спектр вопросов, требующих дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. Как наиболее эффективный инструмент для исследования и использования космического пространства и космических объектов (планет и их спутников, астероидов, комет) робототехника будет широко применяться по мере более глубокого проникновения человека в космос.

2.1 Эволюция зарубежных космических роботизированных систем

К настоящему времени космические роботизированные системы (РС) или комплексы (далее – роботы) широко используются как по программам пилотируемых полетов в космос, так и для исследования планет. В зависимости от сферы применения и технического уровня космическую робототехнику можно разделить на три вида:

- для практического применения;
- для технической демонстрации;
- для исследовательских целей на уровне начальной разработки.

2.1.1 Орбитальные роботизированные системы

В таблице 4 приведены данные о разработках РС для работы на орбите в различных странах мира.

Таблица 4.

Роботизированные системы для работы на орбите

№ п/п	Название РС/программы	Разработчик/страна	Варианты применения	Статус
1	Система дистанционного манипулятора МТКК (SRMS)	Канадское космическое агентство	Проверка состояния космического МТКК; сборка МКС; захват и запуск КА; удержание модулей и выполнение операций по стыковке на орбите	Впервые выведен на орбиту в 1981 г., снят с эксплуатации в 2011 г. Общее количество изготовленных систем – 5
2	Дистанционный манипулятор космической станции (SSRMS)	Канадское космическое агентство	Сборка и обслуживание модулей МКС; стыковка; помощь космонавтам во время работы вне МКС	Выведен на орбиту в 2001 г., находится в эксплуатации
3	Маневренный манипулятор специального назначения (SPDM)	Канадское космическое агентство	Эксплуатация малоразмерного оборудования МКС; участие в дозправке КА	Выведен на орбиту в 2001 г., находится в эксплуатации
4	Дистанционный манипулятор японского экспериментального модуля (JEMRMS)	Японское агентство аэрокосмических исследований	Погрузочно-разгрузочные работы, операции по установке оборудования на открытой площадке	Выведен на орбиту в 2008 г., находится в эксплуатации
5	Европейский роботизированный манипулятор	Европейское космическое агентство	Осмотр и обслуживание российского модуля МКС; обслуживание полезных нагрузок вне МКС; замена оборудования и т.д.	Проектно-изыскательские работы

6	Манипулятор Rotex	Германский центр авиации и космонавтики (DLR)	Монтаж ферменных конструкций; подключение и отключение электрических разъемов; замена орбитальных сменных блоков (Orbital Replacement Units – ORU); захват объектов на орбите; работа в телеоперационном режиме	Выведен на орбиту в 1993 г., выполнена техническая демонстрация возможностей
7	Орбитальный экспресс-манипулятор	Управление перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DAPRA)	Захват целей на орбите; замена ORU; дозаправка на орбите	Выведен на орбиту в 1993 г., выполнена техническая демонстрация возможностей
8	Роботизированный манипулятор для инженерных испытаний КА ETS-VII	Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA)	Захват целей на орбите; замена ORU, монтаж ферменных конструкций; сборка антенны	Выведен на орбиту в 2007 г., выполнена техническая демонстрация возможностей
9	Человекоподобный робот Robonaut2	Национальное управление по аэронавтике и космическим исследованиям США (NASA)	Работа с оборудованием на борту МКС и с внекорабельным оборудованием; отработка взаимодействия человека и робота	Выведен на орбиту в 2011 г., выполнена техническая демонстрация возможностей
10	Робот для космической лаборатории TianGong-2	Харбинский технологический институт, Китай	Проверка интеллектуальной работы на борту станции; проверка технического обслуживания на орбите с использованием инструментов	Выведен на орбиту в 2016 г., выполнена техническая демонстрация возможностей
11	Роботизированная рука для выполнения работ по программе Phoenix	Управление перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DAPRA)	Захват несотрудничающих целей; повторное использование полезной нагрузки КА, вышедшего из эксплуатации; ремонт и восстановление работоспособности полезной нагрузки	В стадии разработки
12	Роботизированная рука для выполнения работ по программе обслуживания техники на орбите (Германия)	Германский центр авиации и космонавтики (DLR)	Захват несотрудничающих целей на орбите	В стадии разработки
13	Робот Skyworker для обслуживания на орбите	Университет Карнеги-Меллона (США)	Автономная сборка, контроль и обслуживание больших космических конструкций	В стадии разработки
14	Мобильный робот Lemur IIb	Национальное управление по аэронавтике и космическим исследованиям США (NASA)	Сборка и обслуживание космических аппаратов	В стадии разработки

2.1.2 Роботизированные системы для исследования планет

В настоящее время существуют два типа роботизированных систем для исследования планет Солнечной системы.

Первый – это операционные роботы (или манипуляторы), установленные на спускаемом исследовательском аппарате (лендере), для выполнения функций отбора проб грунта и других манипуляций, например манипулятор для отбора проб на американском аппарате Phoenix (рисунок 14).

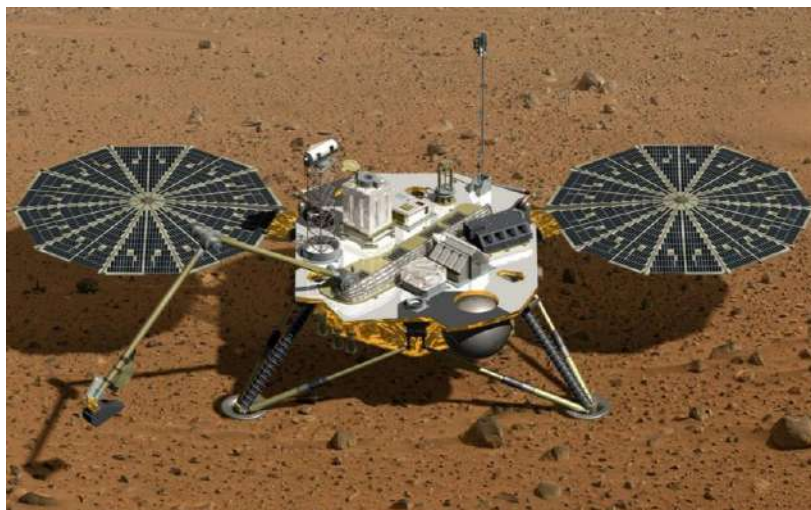


Рисунок 14. Посадочная ступень марсианского аппарата Phoenix

Второй – мобильные роботы с возможностью передвижения и проведения исследований (обычно их называют роверами), например, американский марсоход Curiosity. Роверы также можно разделить на пилотируемые и беспилотные. Некоторые роверы также оснащены манипуляторами с возможностью управления, как, например, три поколения роверов для исследования Марса, разработанных в США (Sojourner, Spirit-Opportunity и Curiosity).

Мобильные роботы в основном используют для передвижения по поверхности планеты колесные мобильные системы, включая четырехколесные, шестиколесные и восьмиколесные. Шестиколесная мобильная система в конфигурации «качающаяся тележка» занимает доминирующее положение, что является результатом оптимизации ее мобильности, использования ресурсов и компактности расположения. В то же время в последние годы появились новые типы мобильных роботов:

1. Шагающий мобильный робот – гибкий и устойчивый, способный перемещаться по различному типу рельефа (равнина, песок, горы), преодолевая разнообразные пре-

пятствия (канавы, хребты, ступеньки). Он может заменить человека при выполнении различных задач в сложных и рискованных условиях, его недостатком является относительно низкая скорость передвижения.

2. Гибридный разведывательный робот на ногах и колесах – это новый тип мобильного робота, разработанный путем объединения преимуществ мобильных роботов на ногах и колесах. Он обладает преимуществами в адаптации к местности и в скорости передвижения (рисунок 15).

3. Шагающий робот-гуманоид – человекоподобный робот (Robonaut2), который имеет конфигурацию с двумя ногами и имитирует человеческую походку, чтобы реализовать поддержку тела и непрерывное координированное движение исполнительным устройством, замещающим мышцы (рисунок 16). По сравнению с традиционными колесными мобильными системами существуют трудности в инженерном исполнении гуманоидной двуногой мобильной системы.



Рисунок 15. Гибридный колесно-шагающий планетоход ATHLETE



Рисунок 16. Робот NASA Robonaut2

Европейское космическое агентство (ЕКА) также тестирует новый вид робота. Это роботизированный шар (Daedalus) для исследования лунных пещер. Он должен помочь спланировать размещение обитаемой базы на поверхности Луны или под ней. Он представляет собой роботизированную сферу, в которой размещены инструменты для изучения пещер. В пещеру робот спускается с помощью троса, по которому он передает на основной аппарат полученные данные.

Компании Lockheed Martin и General Motors (обе – США) совместно разрабатывают луноход следующего поколения Lunar Terrain Vehicle (LTV) для программы NASA Artemis. Он будет не только перевозить космонавтов как пилотируемый ровер, но и сможет работать автономно с помощью дистанционного управления с наземной базы или дальнего космического поста Gateway после его развертывания с беспилотного космического корабля.

Основными странами, в которых ведутся разработки и технологические исследования роботов для исследования планет, являются США, Россия, Европейский союз и Китай. Основные продукты зарубежных разработок представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Роботы для исследования планет

№ п/п	Название робота/ программы	Разработчик/ страна	Варианты использования	Статус
1	Пилотируемый ровер «Аполлон-1»	NASA, США	Исследование поверхности Луны	Выполнены работы на Луне, июль-август 1971 г.
2	Марсоход Sojourner	NASA, США	Исследование поверхности Марса	Выведен в космос в декабре 1996 г., задача завершена в сентябре 1997 г.
3	Марсоходы Spirit и Opportunity	NASA, США	Исследование поверхности Марса; отбор проб грунта и научные эксперименты	Spirit выведен в космос в июне 2003 г., Opportunity – в июле 2003 г., оба аппарата совершили посадку на Марс в январе 2004 г. Задача Spirit завершена в марте 2010 г., Opportunity – в феврале 2019 г.
4	Марсоход Curiosity	NASA, США	Изучение поверхности Марса; научные эксперименты	Curiosity выведен в космос в ноябре 2011 г., посадка на Марс выполнена в августе 2012 г., по состоянию на июль 2021 г. находится в эксплуатации

5	Марсоход Perseverance	Лаборатория реактивного движения (JPL) NASA, США	Оценка жизнеспособности Марса; подготовка к высадке человека на Марс; изучение поверхности Марса; научные эксперименты; испытание БЛА Mars Helicopter Scout Ingenuity	Perseverance выведен в космос в 30 июля 2020 г., посадка на Марс выполнена 18 февраля 2021 г., находится в эксплуатации
6	Луноход Yutu-1	Китай	Исследование поверхности Луны	Выведен в космос в ноябре 2013 г., находится в эксплуатации
7	Луноход Yutu-2	Китай	Исследование поверхности Луны	Выведен в космос в ноябре 2018 г., находится в эксплуатации
8	Автоматический шестиногий транспортный планетоход ATHLETE	NASA, США	Многоцелевое исследование Луны; транспортировка оборудования по лунной поверхности	В стадии разработки
9	Мобильный робот Lemur IIb	NASA, США	Исследование поверхности планеты с адаптацией к крутому рельефу	В стадии разработки
10	Марсоход Exomars	EADS, Европейский союз	Исследование поверхности Марса; отбор проб	В стадии разработки
11	Космический исследовательский аппарат (SEV) для исследования планет	NASA, США	Версия SEV для планетарной разведки на поверхности планеты (герметичный модуль SEV может использоваться для пилотируемых космических полетов)	В стадии разработки

Таким образом, космические роботы широко используются в различных областях космической деятельности и играют важную роль в пилотируемых космических полетах и изучении дальнего космоса. Для решения таких задач ближайшего будущего, как сборка крупных объектов на орбите, обслуживание неисправных космических аппаратов, разработка и использование природных ресурсов Луны и других планет, профильные научно-исследовательские институты и предприятия космической отрасли ведущих стран мира активно разрабатывают новые концепции космических роботов и создают их различные прототипы для проведения наземных и лётно-конструкторских испытаний по программам различных космических полетов и задач.

Дальнейшее развитие космической робототехники связано с решением ряда задач, среди которых на первый план выходят следующие.

1. Выполняемые в настоящее время операции, например, захват находящихся на орбите целей, перемещение космических аппаратов и их модулей относительно друг друга, эксплуатация внекорабельного оборудования, не относятся к числу сложных и не требуют внедрения новых технологий. Однако все еще находятся на стадии проектных разработок или наземных испытаний такие операции, как захват высокоскоростных целей, точная сборка сложных конструкций, координация действий нескольких механических рук или совместных действий нескольких роботизированных систем. Принципиально новые конструктивные и проектные решения потребуются для совершенствования существующих роботов для исследования планет, которые пока могут выполнять исследовательские задачи только на относительно ровной местности, наклон свыше 30° является для них проблемой. Операции по отбору проб грунта также ограничены геологическими условиями, например, работа в твердых и глубоких слоях поверхности планеты в настоящее время неосуществима.

2. Недостаточная приспособленность к космической среде, в результате чего в условиях длительного космического полета космические роботы с учетом значительного ухудшения характеристик конструкционных материалов и снижения надежности электронных компонентов могут обеспечить работоспособность только при небольших механических нагрузках и значительном ограничении по энергопотреблению. Перспективная робототехника должна решить проблемы адаптируемости материалов к экстремально высоким или низким температурам, долговечности работы деталей, механизмов, систем управления и смазки, а также достаточного энергоснабжения даже в условиях длительного отсутствия освещения.

3. Относительно низкая автономность и интеллектуальность – современные космические роботы используют два основных режима оперативного управления: запрограммированное автоматическое управление и телеоперационный режим управления, оба из которых имеют свои недостатки. Первый требует от робота выполнения действий в соответствии с заранее заданной программой управления, что значительно ограничивает типы задач и эффективность их выполнения. Второй обуславливает повышенную нагрузку на человека-оператора, работающего с роботом, с учетом времени реакции оператора на изменяющиеся условия управления, что приводит к снижению эффективности и безопасности работы системы «робот-человек». В обоих режимах управления робот практически не обладает автономностью. В настоящее время завершаются испытания режимов автономного захвата цели роботом на орбите, который в дальнейшем будет постепенно внедряться для повышения автономности космических роботов.

2.2 Перспективы развития зарубежных космических роботизированных систем

Космические роботы создавались и совершенствовались в соответствии с требованиями программ полетов в космос и по мере развития требуемых технологий. Развитие космической робототехники предполагает интеграцию последних достижений науки и техники в целях совершенствования конструкции, повышения производительности существующих и формирования новых функций для достижения целей будущих космических полетов и задач.

2.2.1 Продукция зарубежной космической робототехники

Развитие программ космических полетов в первую очередь ставит вопрос о создании нового поколения роботов, принципиально отличающихся от существующих. Традиционно космические роботы отвечают за перемещение тех или иных грузов, орбитальных модулей, научного оборудования и представляют собой сочетание базового блока (орбитальный модуль или ровер) и манипуляторов.

Под влиянием усложненных требований к задачам космических операций появляются двурукие координированные операционные роботы и человекоподобные роботы, изучаются возможности применения гибких и мягких роботов в космосе. С диверсификацией направлений исследований, усложнением местности, на которой необходимо работать, повышением требований к эффективности исследования, ожидается, что ходьба/бег на ногах, прыжки и полеты станут новыми вариантами перемещения роботов для исследования планет и обеспечения жизнедеятельности обитаемых планетарных внеземных баз.

Расширение масштабов освоения человеком космического пространства и перспектив использования ресурсов других планет требует обеспечения высокой координации функционирования роботов и внедрения в их действия искусственного интеллекта, что становится основной тенденцией развития космической робототехники. Например, если разрозненные роботы, такие как орбитальная операционная система, выполняющая сервисные задачи (т.е. сборка и обслуживание космических аппаратов на орбите), и мобильная система, работающая на поверхности планеты, будут объединены в сетевую робототехническую систему, то их способность восприятия и комплексного использования информации, уровень автономности и качество принятия решений будут значительно повышены, в то время, как потребление ресурсов всей системы будет снижено. Внедрение таких технологий, как Интернет вещей (Internet of Things) и облачные вычисления, также будет способствовать глубоким изменениям в технологии космических роботов.

2.2.2 Мягкие роботы

Традиционные роботы обычно состоят из жесткой конструкции (каркаса) и подвижных элементов. «Жесткий» робот имеет преимущества быстрого движения, точного наведения и простоты управления. К его недостаткам можно отнести, например то, что минимальное пространство его использования ограничено размером жесткой структуры робота, а при неожиданном контакте с окружающей средой может возникнуть значительная противодействующая сила. Поэтому в последние годы была предложена концепция мягких бионических роботов, которая использует преимущества низкой жесткости мягких конструкций роботов, уменьшает силу давления при контактах во время работы и позволяет работать в ограниченном и сложном пространстве.

Мягкие роботы представляют собой новый тип бионических континуальных роботов. Они могут проходить через препятствия, которые блокируют большинство жестких металлических роботов. Мягкие роботы сделаны из эластичных материалов, которые имитируют биологические мягкотелые структуры и способны испытывать большие деформации. Их бионическим прототипом стали, в частности, естественные моллюски. Теоретически мягкие роботы могут демонстрировать способность к непрерывной деформации, приближенную к живым существам. В последние годы были успешно разработаны бионические мягкие роботы, имитирующие осьминога, хобот слона, червя и других животных.

Щупальца осьминога являются одним из самых интересных изобретений природы, ключевым свойством здесь, конечно же, является их гибкость. В рамках проекта Octopus, инициированного Европейской комиссией, был проведен глубокий биологический анализ мышечной структуры и нервной системы осьминога, на которые ориентируется конструкция робота. В этом приняли участие ведущие мировые исследовательские институты, такие как Scuola Superiore Santa Anna (Италия), Итальянский технологический институт, Университет Рединга (Великобритания), Университет Цюриха (Швейцария) и Институт Вейцмана (Израиль).

Команда ученых из Гарварда построила мягкий робот с четырьмя ногами в конфигурации X, используя мягкий и гибкий полимер. Он может выполнять изгибающие движения за счет создания объемов сжатого и разреженного воздуха, а также совершать движения типа «дюймового червя», комбинируя с ним простое повторение походки.

Мягкий робот Octopus Gripper («Захват осьминога»), разработанный компанией

Festo (Германия) совместно с Университетом Бейхан (Пекинский университет авиации и космонавтики – Beihang University), имеет мягкую силиконовую структуру (рисунок 17). После подсоединения сжатого воздуха его щупальце может изгибаться внутрь под действием пневматических мышц и прочно захватывать предметы различных размеров и форм с помощью присосок, установленных на его внутренней стороне. Благодаря особому способу захвата мягкий робот Octopus Gripper будет играть важную роль при работе в различных неструктурированных средах, в частности, выполнять захват космического мусора.

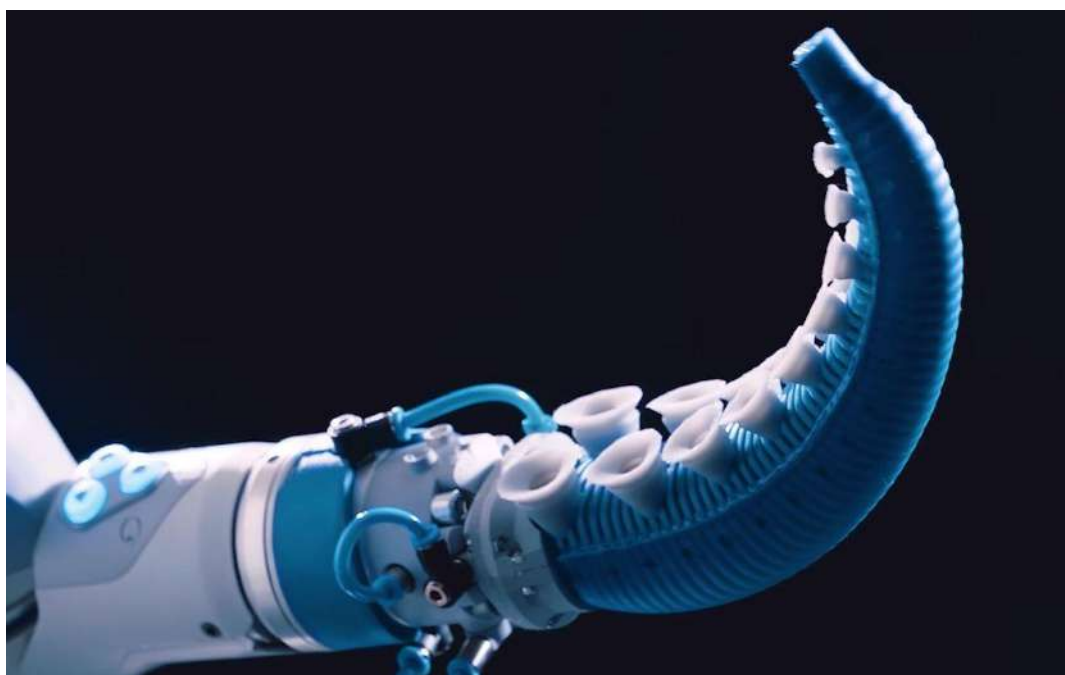


Рисунок 17. Бионический захват мягкого робота Octopus Gripper на основе щупальца осьминога

Американские разработчики в рамках проекта OCTOR (sOft robotiC manipulaTORs) по инициативе Управления перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DARPA) создали робот-манипулятор, напоминающий одновременно щупальце осьминога и хобот слона, в результате чего была создана серия гибких роботов OCTARM (OCTopus – осьминог и ARM – рука). Робот OCTARM может захватывать объекты сложной формы и большого размера. Как и настоящее щупальце, OCTARM свободно оборачивается вокруг объекта без учета его размеров и формы. Ограничением являются длина щупальца, а также вес предмета, если его нужно поднимать. В движе-

ние OCTARM приводится сжатым воздухом и управляется датчиками давления, имеющимися на поверхности «щупальца». Кроме них OCTARM использует датчики для пространственной ориентации и видеокамеру, расположенную на кончике щупальца. Это позволяет роботу исследовать трубы, туннели и другие узкие места. На текущий момент длина робота OCTARM составляет около метра, но по необходимости она может варьироваться. В перспективе предполагается использовать OCTARM во взаимодействии с несколькими взаимодействующими роботами.

В Китае Сианьский университет Цзяотун (Xi'an Jiaotong University), Китайский университет науки и технологий (China University of Science and Technology), Тяньцзиньский университет (Tianjin University), Университет Тунцзи (Tongji University), Чжэцзянский университет (Zhejiang University), Хуачжунский университет науки и технологий (Huazhong University of Science and Technology) и Шанхайский университет Цзяотун (Shanghai Jiaotong University) также начали исследования мягких роботов.

Движение мягких роботов осуществляется за счет непрерывного изменения их формы. К основным режимам движения относятся следующие.

1. Движение с помощью сплава с памятью формы (Shape-Memory Alloy – SMA). Этот вид сплава имеет высокий коэффициент массового напряжения (high mass stress ratio) и широко используется в качестве материала для гибких приводов. Однако напряжение, создаваемое сплавом SMA, сильно зависит от изменения температуры, что трудно контролировать в различных условиях.

2. Пневматический или гидравлический привод – эта технология обеспечивает быструю скорость реакции и большую мощность. Недостатком привода является то, что он требует наличия вспомогательной системы циркуляции воздуха или жидкости, которая имеет большие размеры.

3. Электроактивный полимерный привод (Electroactive polymer – drive) – это новый тип полимерного функционального материала, который значительно изменяется по размеру и/или форме под воздействием электрического поля. Когда внешнее электрическое воздействие прекращается, он может вернуться к своей первоначальной форме и объему, хотя для этого вновь требуется подать на привод более высокое напряжение.

4. Проволочный привод (Wire drive) – реализует управление переменной кривизной каждого сегмента гибкого узла с помощью различных групп проводов.

Свойства мягкого робота – малый вес, хорошая адаптация к требуемой форме и размерам объекта, малая сила взаимодействия с окружающей средой – определяют уникальные области потенциального применения мягких роботов, которые включают в себя следующие возможности.

1. Адаптивный захват цели. Для захвата космических целей, таких как космический мусор и вышедшие из строя КА, многие из которых вращаются вокруг собственной оси. Мягкие роботы могут значительно снизить точность измерения траектории цели и ударную нагрузку во время захвата, чтобы соответствовать требованиям эксплуатационной безопасности.

2. Работа в ограниченном пространстве. При обслуживании внутреннего оборудования космического корабля и эксплуатации модулей космической станции использование мягких роботов в узком, ограниченном по объему пространстве не только снижает риск повреждения находящегося там оборудования, но и обеспечивает саму возможность проведения работ.

3. Перемещение космических модулей и блоков орбитальных станций. Эта операция связана, как правило, с преодолением значительных инерционных сил. Использование крупногабаритных мягких роботов в данном случае дает большое преимущество с точки зрения возможности, точности и безопасности выполнения монтажных и демонтажных операций.

2.2.3 Летящие роботы

Применение свободнолетающих роботов в космосе и на орбитах является важной задачей совершенствования возможностей космических роботизированных систем и комплексов. В задачах по исследованию поверхности планеты наиболее сложной для разработчиков является улучшение адаптации к местности в дополнение к преодолению экстремальных условий окружающей среды.

Развитие технологий БЛА сделало возможным использование летающих роботов для выполнения задач по исследованию планет с атмосферной средой. В 2017 г. в рамках программы NASA «Новые рубежи» было предложено использовать робот-вертолет для исследования спутника планеты Сатурн Титана (рисунок 18). Этот робот, разработанный Лабораторией прикладной физики Университета Джона Хопкинса, называется Dragonfly. Он использует пониженную гравитацию и плотную атмосферу Титана для выполнения полетов для исследования его поверхности.



Рисунок 18. Квадрокоптер Dragonfly для исследования Титана, спутника Сатурна

В феврале 2021 г. была произведена мягкая посадка на поверхность Марса ровера Perseverance по программе NASA Mars 2020, на борту которого находился беспилотный вертолет Ingenuity. Это первый летательный аппарат с собственным двигателем, предназначенный для многократных полётов в атмосфере другой планеты (небесного тела). 19 апреля 2021 г. этот БЛА совершил первый полет в атмосфере Марса (рисунок 19).

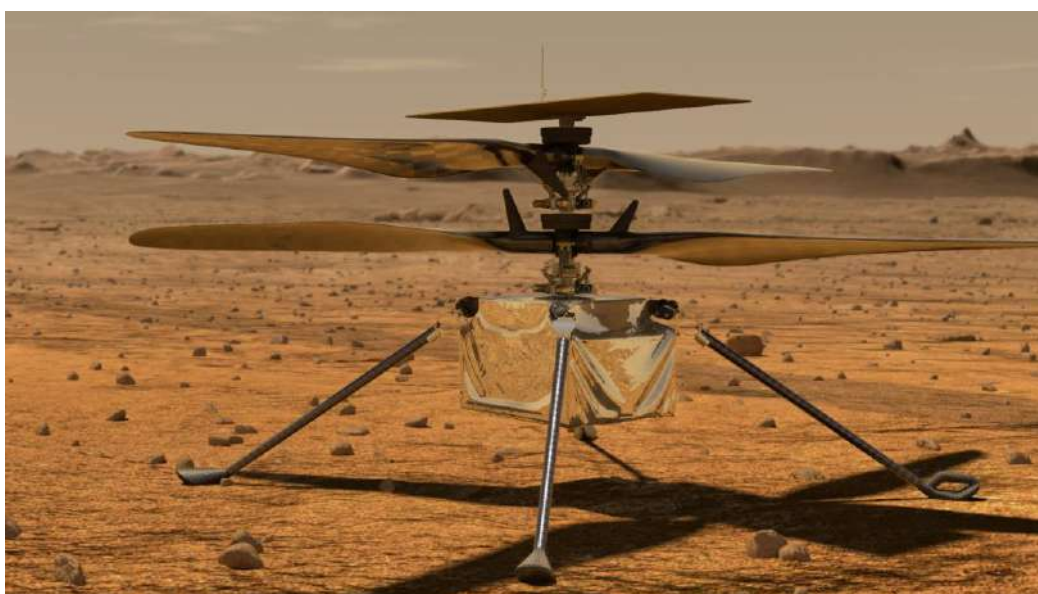


Рисунок 19. Беспилотный вертолет NASA Ingenuity

В последние годы быстро развиваются бионические летающие роботы (flapping-wing flying robots). Такие роботы имеют систему с машущими крыльями и могут выпол-

нять функции подъема, зависания и движения. Они отличаются небольшими размерами, хорошей маневренностью и высокой помехоустойчивостью, что подходит для планеты, где есть атмосфера, но воздушный поток нестабилен. Робот Bat Bot B2 (рисунок 20), разработанный Калифорнийским технологическим институтом (California Institute of Technology), является типичным бионическим летающим роботом, похожим на летучую мышь. Во время полета робот-летучая мышь может визуальнo воспринимать информацию об окружающей среде, одновременно отслеживая состояние собственного полета в режиме реального времени с помощью инерциального измерительного устройства и пяти энкодеров (датчиков угла поворота), расположенных на «суставах» робота. В настоящее время робот-летучая мышь может выполнять автономный полет и совершать различные маневры, в частности косой полет и крутое пикирование.

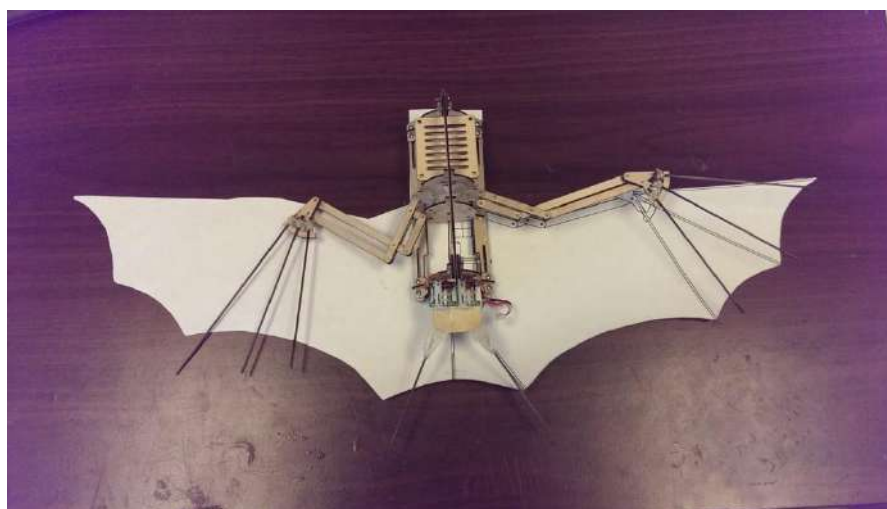


Рисунок 20. Бионический летающий робот Bat Bot B2

Основное требование для винтокрылых и машущих крыльями роботов – наличие атмосферы, что существенно ограничивает их применение, поскольку на многих небесных телах атмосферы нет или она очень разрежена. Летающие роботы, которые могут реализовать реактивный полет, имеют высокий расход топлива и очень ограниченный срок эксплуатации.

Несомненно, летающий робот имеет большой потенциал применения в полетах с задачами по исследованию поверхности планет. Эффективность и дальность перемещения летающего робота лучше, чем у колесного или ножного мобильного робота, но у летающих роботов есть и очевидные недостатки. В то же время топография и геологи-

ческие условия поверхности планеты содержат много неопределенностей, что представляет большую угрозу для безопасности и надежности летающих роботов. Помимо зависимости от атмосферы высота полета приводит к увеличению расстояния между роботом и целью, поэтому он менее подходит для выполнения задач детального научного исследования. В будущем летающий робот может органично сочетаться с колесными или ножными роботами, при этом общее исследование большой территории будет осуществляться летающим роботом, а детальное исследование локальных точек – колесными или ножными мобильными роботами.

2.2.4 Космические мультироботные системы и облачные роботы

Одним из направлений развития космических роботов является создание мультироботов, способных обеспечивать многостороннюю поддержку операций на орбите и на поверхности небесных тел. Для этого необходимо решить такие задачи, как обмен информацией между несколькими роботами, объединенная обработка информации, согласованное управление и совместная работа нескольких роботов, модернизация системы в процессе выполнения задачи и расширение функций робота.

Космическая мультироботная система состоит из нескольких роботов, взаимодействующих во внеземном пространстве для выполнения поставленных задач. Преимуществами мультироботной системы являются:

- возможности выполнения сложных операций, с которыми один робот не может справиться;
- повышение эффективности робототехнической системы при выполнении операций и задач за счет взаимодействия роботов;
- повышение приспособляемости робототехнической системы к окружающей среде;
- большее количество вариантов выполнения поставленных задач.

В рамках проекта «Сообщество мультироботных систем для космоса» (Society of Multiple Robots for Space) стратегии сотрудничества нескольких роботов и возможности адаптации системы к сложным условиям окружающей среды совместно исследовали Хельсинкский технологический университет (Helsinki University of Technology), Технологический университет Лулео (Lulea University of Technology) и Токийский университет (the University of Tokyo). В проекте NASA «Роботизированная монтажная бригада»

(Robotic Construction Crew) была изучена технология совместной работы мультироботных систем для строительства жилых модулей на поверхности планеты, включая сборку деталей, совместную транспортировку объектов, погрузочно-разгрузочные работы и т.д.

Потенциальные области применения космических мультироботных систем включают следующие направления.

1. Строительство крупных космических объектов на орбите, Луне и Марсе. С увеличением сложности космических полетов и задач, будущие космические аппараты будут развиваться в сторону больших размеров, таких как космические солнечные электростанции, большие космические научные платформы и орбитальные сервисные платформы. Из-за жестких ограничений по геометрии, размерам и весу ракеты-носителя этот тип космических аппаратов не может быть выведен на орбиту традиционным способом с помощью одного запуска и развертывания на орбите, а требует нескольких запусков и сборки/производства в космосе заданного крупного объекта. Для выполнения операций с большими космическими аппаратами от роботов потребуются не только захват и перемещение функциональных модулей, но и их сборка и установка деталей с высокой точностью. Одному роботу с поставленными задачами справиться практически невозможно, они должны решаться с помощью совместной согласованной работы нескольких роботов.

2. Исследование сложного рельефа поверхности внеземного объекта. По мере освоения человеком внеземных тел (планет, спутников, астероидов) экстремальные рельефы, такие как пещеры, глубокие ямы и трещины, будут представлять особый интерес и должны стать доступными для исследования. Совместная работа нескольких роботов позволяет сделать это и избежать серьезных повреждений всей системы за счет оптимального распределения функций, взаимного спасения в случае опасности, обеспечения восстановления (ремонта) поврежденного робота, что значительно повышает способность системы выполнять поставленные задачи и снижать сопутствующие риски. Таким образом, мультироботные системы имеют большую ценность в будущих исследованиях внеземных тел.

Новые решения подобных сложных проблем предлагает быстроразвивающаяся наука об облачных вычислениях. Облачная робототехника – это результат сочетания

технологии облачных вычислений и роботизированных систем и комплексов. Облачная робототехника имеет два преимущества:

- во-первых, возможности облачных вычислений и хранения данных обеспечивают функционирование более интеллектуально развитого «мозга»;
- во-вторых, роботы, находящиеся в разных местах, могут преодолеть пространственные ограничения за счет обмена информацией и обеспечить выполнение более масштабных и сложных задач с помощью совместной работы.

Кроме того, сочетание Интернета и облачных вычислений значительно повышает способность роботов к самообучению и позволяет преодолеть ограничения работы изолированного робота.

Как и другим сетевым терминалам, роботам «в облаке» не нужно хранить всю рабочую информацию и обладать высокоскоростными вычислительными возможностями. Им достаточно по мере необходимости подключаться к соответствующим серверам и получать необходимую информацию, когда это требуется. Космическое «облако» хранит всю информацию и способно быстро ее обрабатывать. Более того, в будущих задачах по исследованию планет использование группы облачных роботов с упрощенной конфигурацией имеет преимущество с точки зрения экономической эффективности по сравнению с работой небольшого количества сложных дорогостоящих роботов.

2.2.5 Космические роботы с искусственным интеллектом

Одной из важных тенденций в развитии космических роботов являются глубокая интеграция и применение технологий искусственного интеллекта (ТИИ), таких как компьютерное зрение, распознавание речи и машинное обучение.

В настоящее время космические роботы имеют ограниченный уровень интеллекта, недостаточную автономность и низкий уровень взаимодействия с другими системами. Космический робот и человек обычно находятся в отношениях «ведомый-ведущий», при этом робот действует как инструмент для пассивного получения инструкций, выполнения задач и обратной связи с необходимыми данными. Космические роботы в основном используются в хорошо известных средах, а их объекты наблюдения, как правило, являются совместными целями для робота и человека.

Благодаря постепенной интеграции ТИИ космический робот может выйти на качественно новый уровень в следующих направлениях.

1. **Восприятие окружающей среды.** Космический робот будет объединять данные мультимодального восприятия, такие как зрение, слух, сила, осязание и скольжение, и извлекать из них многомерную и многоуровневую информацию, чтобы создать последовательную интерпретацию и полное описание модели космической рабочей среды и цели космической операции, тем самым повышая надежность, устойчивость, достоверность и точность восприятия и обеспечивая более надежную основу для планирования движения и принятия поведенческих решений космических роботов.

2. **Взаимодействие человека и робота.** В процессе взаимодействия с человеком космический робот будет понимать команды и даже намерения, выраженные естественными средствами коммуникации человека, такими как взгляд, выражение лица, жесты, речь и движения тела, что значительно повысит эффективность и надежность взаимодействия человека и робота, а также поможет космическому роботу правильно взаимодействовать с другими членами экипажа и роботами для достижения высоких степеней интеграции и сотрудничества.

3. **Автономное планирование.** Основываясь на анализе и оценке рабочей среды и понимании намерений человека, космический робот должен научиться автономно планировать рабочие процедуры, принимать решения и выполнять инструкции по движению, то есть он сможет разумно сформировать полный космический мобильный и операционный план и реализовать его.

4. **Самообучение.** На основе адаптивного обновления динамики движения и формирования оптимальной стратегии управления, космический робот будет постепенно приобретать новые навыки посредством самообучения и взаимного обучения, а также совершенствовать анализ задач и способность к их планированию, что позволит ему в итоге стать независимым от человека и быть способным разумно и автономно выполнять мобильные и оперативные задачи.

ТТИИ значительно повысят автономность космических роботов, обеспечат возможности взаимодействия нескольких роботов, позволят улучшить восприятие и возможности управления космическим роботом в сложных рабочих условиях, а также способность роботов справляться со сложными, чрезвычайными и экстремальными ситуациями.

2.3 Технологии создания космических роботизированных систем

2.3.1 Технология динамического моделирования

По мере освоения космического пространства требования к применению космических роботов становятся все более разнообразными и сложными, например, они должны обеспечивать сборку на орбите крупногабаритной космической структуры, обслуживание неисправных космических аппаратов, исследование сложных рельефов. В соответствии с этими разнообразными задачами развиваются формы космических роботов. Разработка новых роботов, в том числе гибких и мягких, ставит новые задачи в области кинематики и теории динамики.

С учетом ожидаемых новых применений изучение динамики будущих космических роботов должно обеспечить решение следующих проблем.

1. Нелинейная динамика гибкого многокорпусного робота – роботы с тросовым приводом и мягкие роботы будут использоваться в будущем благодаря небольшому весу и хорошей маневренности. Этот вид космических роботов, особенно мягких, теоретически имеет бесконечное количество степеней свободы, что делает особенно сложным моделирование их работы в ходе опытно-конструкторских работ.

2. Эффективное динамическое моделирование – сборка оптической системы большого космического аппарата на орбите требует выполнения операций с точностью до микронов, что выдвигает повышенные требования к точности управления космическим роботом, выполняющим оперативные задачи. В связи с требованиями работы в реальном времени в процессе управления роботом модель системы должна полностью отражать ее характеристики и иметь возможность завершать численное решение в цикле управления роботом.

2.3.2 Технология планирования движения и управления

С увеличением сложности задач и разнообразия объектов, с которыми взаимодействуют роботы, их передвижение должно в максимальной степени учитывать жесткие ограничения окружающей среды, при этом необходимо решать задачи управления в реальном времени и быть готовым к совместной работе с несколькими роботами.

До настоящего времени для роботов, работающих на орбите, планирование движения в основном было сосредоточено на кинематическом уровне. Алгоритмы планирования не полностью учитывали динамические характеристики как самого робота, так и рабочего объекта (космического аппарата, станции). Для работы с большими гибкими космическими целями, захвата высокоскоростных целей и выполнения других задач

предварительный учет динамических характеристик связанных объектов при планировании движения может помочь улучшить характеристики управления космическими роботами, хотя и приведет к усложнению алгоритмов планирования движения.

Автономное планирование в реальном времени связано с ростом требований к точности управления и скорости реакции космического робота. Отработанные к настоящему времени наземные автономные методы предварительного планирования не обеспечивают решения всех поставленных задач. Чтобы быть готовым к эффективному решению таких задач, как захват на орбите несотрудничающих целей, исследование планет при наличии опасных условий или неожиданных препятствий на их поверхности, космический робот должен планировать траекторию движения в реальном времени, учитывая цели, операционную среду и информацию о рабочем объекте.

В мультироботной системе большую роль играют интеллектуальное планирование и управление согласованным движением частей мультиробота. Такие роботы могут эффективно дополнять друг друга для улучшения восприятия характеристик окружающей среды, принятия решений по управлению и выполнению задач, в результате чего вся система будет обладать повышенной адаптивностью и устойчивостью. Используя достижения ТИИ, можно обеспечить совместное планирование и управление действиями нескольких роботов на основе комплексной информации «окружающая среда-робот-цель», что может реализовать оптимальное движение каждого робота для достижения цели согласованной работы нескольких роботов.

2.3.3 Технология управления силовыми характеристиками роботов

Управление силовыми возможностями роботов разрабатывалось в течение последних 40 лет. На первых этапах оно включало в себя управление жесткостью и способностью к демпфированию, затем был совершен переход к гибридному управлению парой «сила-положение робота», импендансному управлению и использованию различных адаптивных и интеллектуальных алгоритмов. Однако единая теория управления силой робота, которая была бы универсально применима в инженерной практике, до сих пор не была создана.

С расширением применения космических роботов ожидается, что технология управления силовыми характеристиками космических роботов достигнет большого развития в следующих аспектах.

1. Управление силой на основе кинематических моделей. В связи с ограничениями по сложности реализации, вычислительной мощности и стоимости существующее управление силой робота в основном разрабатывается на основе PID-регулирования (пропорционально-интегральное и дифференциальное управление – Proportional-Integral-Derivative control – PID-control). С увеличением числа задач, связанных с контактной работой робота, развитием и совершенствованием высокоскоростных шин и процессоров, управление силой на основе моделей будет постепенно заменять простые методы управления силой в инженерной практике, а надежные адаптивные методы будут играть все более важную роль в обеспечении надежности модели и готовности объекта работать в разнообразных условиях.

2. Управление силовыми характеристиками на основе использования информации нескольких датчиков (sensor fusion). В настоящее время управление силой осуществляется в основном тремя методами:

- текущее управление в разомкнутом контуре;
- управление с помощью датчика учета совместных усилий;
- управление по сигналам датчика конечной силы.

Однако такие способности обработки восприятия силы недостаточно эффективны. Для того чтобы робот мог быстрее, точнее и полнее реагировать на тактильные ощущения, система слияния тактильной информации из нескольких источников, основанная на чувствительной к давлению электронной коже, и сигналов датчика на основе искусственных волосяных клеток, несомненно, станет важной тенденцией развития управления силой и обеспечит возможность более эффективного и интеллектуального тактильного управления роботом.

3. Интеллектуальное управление силовыми характеристиками. Космические роботы сталкиваются с такими проблемами, как взаимодействие со сложной изменчивой окружающей средой при ограниченных возможностях вмешательства человека в решаемые роботами задачи. С увеличением числа и сложности задач, решаемых в открытом космосе, космические роботы должны уметь работать автономно, самостоятельно принимать решения и планировать свои действия. Для этого предполагается использовать ТИИ робота и его машинное обучение, которое позволит реализовать потенциальные преимущества интеллектуального управления силовыми характеристиками роботов, обеспечения приспособляемости к окружающей среде и повышения энергоэффективности работы системы.

Таким образом, технический прогресс и расширение освоения космоса человеком ставят все более сложные задачи перед разработчиками космических роботов. Чтобы соответствовать требованиям будущих программ полета, конструкция и формы космических роботов, а также их технические системы постоянно обновляются и совершенствуются. В связи с различными ограничениями возможностей человека по работе в космическом пространстве беспилотные операции и разведка с помощью автономных роботов являются лучшим способом продолжить исследования космического пространства и небесных тел как в ближайшем, так и в отдаленном будущем. Целью ученых и инженеров является улучшение мобильности, надежности, способности к адаптации к окружающей среде и, безусловно, повышение интеллекта космического робота. Используя современные научно-технические достижения в области машиностроения, обработки зрительной, слуховой и тактильной информации, управления, материаловедения, механики и искусственного интеллекта, можно способствовать быстрому развитию теории и технологии космической робототехники, что позволит космическим роботам стать мощным инструментом исследования и использования космических ресурсов.

3 ПОДГОТОВКА И ПОДДЕРЖАНИЕ В ГОТОВНОСТИ К ПРИМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ ORION В КОСМИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ИМ. КЕННЕДИ

3.1 Система прекращения запуска космического корабля Orion и ее основные элементы

Система прекращения запуска (Launch Abort System – LAS) космического корабля Orion является одним из основных его элементов (рисунок 21), который, кроме неё включает следующие основные элементы:

- многоразовый модуль экипажа (Crew Module – CM) различной конструкции для полетов к МКС и к Луне;
- сервисный модуль (Service Module – SM);
- переходной адаптер космического корабля для его соединения с ракетой-носителем (Spacecraft Adapter – SA).

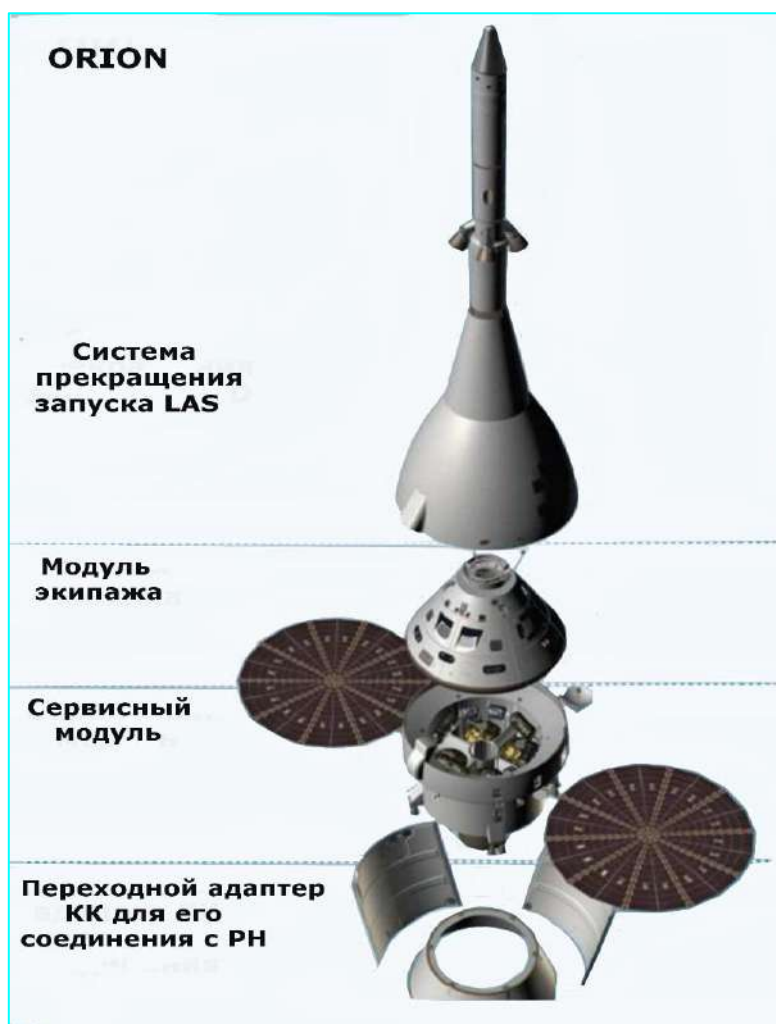


Рисунок 21. Конфигурация и основные компоненты КК Orion

Согласно рекомендациям NASA, система аварийного прекращения запуска (LAS) предназначена для спасения экипажа космического корабля в случае аварийной ситуации на ракете-носителе, при которой вывод КК на запланированную орбиту становится невозможным и возникает угроза жизни членов экипажа. При этом отмечается, что прекращение запуска является высокодинамичным процессом, требующим безопасного и немедленного отделения модуля экипажа от аварийной ракеты-носителя, которая в момент прерывания потенциально может иметь высокую скорость и произвольное пространственное положение. Наличие довольно большого количества критических параметров штатного режима запуска и полета, нарушение любого из которых может послужить причиной включения системы LAS, обуславливает высокие требования к надежности ее конструкции и готовности к срабатыванию.

Предусмотрены два варианта включения (подачи команды на срабатывание) системы прекращения запуска космического корабля Orion:

- автоматический – по команде автоматизированной системы контроля состояния и неисправностей ракеты-носителя и корабля;
- ручной – по команде персонала Центра управления полётом или члена экипажа.

Система прекращения запуска LAS космического корабля Orion должна отвечать двум основным требованиям:

- высокие надежность и скорость срабатывания;
- способность увести модуль экипажа на безопасное расстояние от аварийной ракеты-носителя при любых обстоятельствах, вплоть до взрыва на стартовой позиции или неуправляемого падения РН.

При этом на всем протяжении операции по спасению экипажа не должны превышать максимально допустимые перегрузки для человеческого организма, а внутренние и внешние условия аппарата соответствовать проектным диапазонам параметров в течение всего процесса прерывания, включая отрыв от РН и взлет, маневры при переориентации модуля экипажа, раскрытие парашюта и приводнение модуля экипажа. Диапазон высот для прекращения запуска составляет от 0 м (на стартовой площадке) до 91440 м (300000 футов). LAS регулируется системой наведения и навигации (GN&C) с обратной связью.

3.1.1 Основные элементы системы прекращения запуска космического корабля Orion

Конструктивно система прекращения запуска (LAS) космического корабля Orion включает три последовательно расположенных по «тянущей» схеме ракетных двигателя на твердом топливе: прерывания (Abort Motor – AM), пространственной ориентации (attitude control motor – ACM) и отделения системы LAS (Jettison Motor – JM). Кроме того, в ее состав входят обтекатель головной части, переходник-обтекатель и адаптер между системой LAS и модулем экипажа, защитный обтекатель модуля экипажа. Компоновочная схема основных элементов системы LAS представлена на рисунке 22.



Рисунок 22. Схема компоновки основных элементов системы аварийного прекращения запуска (LAS) космического корабля Orion

Общие характеристики системы LAS следующие:

- сухая масса – 3696 кг;
- масса топлива – 2480 кг;
- стартовая масса системы LAS – 6176 кг (по некоторым данным – 7075 кг).

Все три двигателя – основной прерывания (AM), пространственной ориентации (ACM) и отделения LAS (JM) – вместе с обтекателями образуют так называемую «мачту» системы LAS (single launch abort system stack). В свою очередь технологическая сборка системы

LAS с модулем экипажа представляет собой аппарат аварийного спасения экипажа – Launch Abort Vehicle (LAV) (рисунок 23).



Рисунок 23. Общий вид аппарата аварийного спасения экипажа

Двигательная установка системы LAS приводится в готовность к применению за 15 минут до назначенного времени запуска космического корабля (снимаются технологические заглушки с сопел двигателей).

Основные характеристики аппарата аварийного спасения экипажа следующие:

- максимальная динамическая нагрузка – до 11g;
- тяга основного двигателя АМ – 400 000 фунтов;
- удельный импульс тяги – 250 с;
- время разгона до скорости 800 км/ч – 3 с;
- угловая скорость маневра пространственного разворота – 25 град/с.

3.1.1.1 Двигатель прерывания запуска космического корабля АМ

Основным предназначением двигателя прерывания (АМ) является создание требуемого тягового усилия для отделения технологического блока спасения экипажа от аварийной РН. Двигатель АМ является твердотопливным с четырьмя противоточными соплами, расположенными под углом 25° к продольной оси двигателя (рисунок 24). Суммарная осевая тяга – не менее 400000 фунтов. Удельный импульс тяги – 250 с (над уровнем моря).



Рисунок 24. Общий вид двигателя прерывания запуска

В двигателе АМ используется смесевое топливо с высокой скоростью горения со связующим на основе полибутадиена с концевой гидроксильной группой, формируемое в заряды с большой площадью поверхности горения. Топливо помещается в композитный корпус из углеволокна, армированного синтетическим материалом кевлар с этилен-пропиленовым каучуком в качестве термоизолятора корпуса. Время полного выгорания топлива составляет 4,4 с.

Согласно техническому заданию NASA по проекту Orion (Spacecraft Systems Requirements Specification) для компании-разработчика Lockheed Martin по параметру «Задержка срабатывания системы аварийного прекращения запуска» (Abort Command Latency) основной двигатель LAS должен достигнуть 80% требуемой тяги (не менее 400000 фунтов) в течение 300 миллисекунд после поступления команды на запуск от бортового компьютера КК Orion.

В обосновании этого норматива указывается, что в случае необходимости прерывание запуска с помощью LAS должно обеспечить немедленное отделение и увод капсулы с экипажем от аварийной РН на расстояние не менее 3300 футов (около 1 км).

При аварийном прекращении запуска все последующие маневры аппарата аварийного спасения экипажа осуществляются автоматически, и модуль экипажа после отделения не должен вновь входить в соприкосновение с другими частями или элементами конструкции корабля. При этом минимально допустимое расстояние КК Orion после разделения с первой ступенью должно составлять не менее 54 м с учетом того, что аварийная РН может продолжать полет с ускорением вдоль запланированной траектории.

3.1.1.2 Двигатель пространственной ориентации

Двигатель пространственной ориентации (АСМ) системы LAS представляет собой твердотопливный двигатель с регулируемой тягой и восемью соплами, диаметрально расположенными под углом 45° к продольной оси (рисунок 25).

Расположенный в верхней части «мачты» системы LAS двигатель пространственной ориентации обеспечивает требуемое положение модуля экипажа в пространстве, направление движения и маневрирование по уводу модуля экипажа от аварийной ракеты-носителя по командам системы управления и навигации.

Максимальная тяга на каждое сопло – 4101 фунт. Удельный импульс тяги – 240 с (в вакууме). Время полного выгорания топлива – 30 с.



Рисунок 25. Двигатель пространственной ориентации

3.1.1.3 Двигатель отделения системы LAS

Твердотопливный двигатель JM обеспечивает отделение системы LAS от модуля экипажа до раскрытия тормозного парашюта при аварийном спасении экипажа в случае прекращения запуска или при достижении намеченной точки на траектории полета космического корабля в штатном режиме. Двигатель JM имеет четыре сопла, расположенных под углом 35° по отношению к продольной оси (рисунок 3.6).

Удельный импульс тяги двигателя JM – 221 с (в вакууме). Суммарная тяга – 32900 фунтов. Время выгорания топлива – 1,55 с.



Рисунок 26. Общий вид двигателя отделения JM

3.1.2 Концепция операции по аварийному прекращению запуска

Возможные причины прекращения запуска можно свести в три группы:

- 1) частичное или полное прекращение тяги;
- 2) утеря управления космическим кораблём;
- 3) выход из строя одной из систем РН или КК, что не позволяет благополучно достичь орбиты.

Схема срабатывания системы LAS на начальном участке полёта корабля Orion показана на рисунке 27.



Рисунок 27. Схема срабатывания системы LAS на начальном участке полёта космического корабля

В соответствии с рекомендациями NASA предусмотрены **три режима прекращения запуска** космического корабля Orion с использованием системы LAS (при нахождении астронавтов в космическом корабле на стартовой площадке с закрытым люком модуля экипажа) и на начальном участке полета КК, но не позднее 30 секунд после включения второй ступени РН (таблица 6).

Таблица 6.

Последовательность и временные параметры событий при проведении операции аварийного прекращения запуска в различных режимах

События	Временные параметры прекращения запуска КК, с					
	Режим 1а на стартовой площадке (0,0 км)	Режим 1в, малая высота (2,4 км)	Режим 1в, Mach 1 (6,9 км)	Режим 1в, Max-Q (12,4 км)	Режим 1с, средняя высота (21,3 км)	Режим 1с, большая высота (36,6 км)
Команда на прекр. запуска; включение АМ и АСМ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Завершение работы АМ	5,2	5,5	5,8	5,8	5,8	5,8
Начало ориен- тации LAV	12,0	15,0	15,0	15,0	15,0	8,0
Завершение ориентации LAV	17,3	21,6	21,6	19,0	19,9	20,0
Отделение LAS	18,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Начало рас- крытия тор- мозного пара- шюта	19,0	29,0	29,0	29,0	174,0	272,0
Раскрытие пер- вого тормоз- ного парашюта	-	44,0	44,0	44,0	189,0	287,0
Раскрытие вто- рого тормоз- ного парашюта	-	58,0	58,0	58,0	203,0	301,0
Начало рас- крытия основ- ного парашюта	24,2	64,0	133,0	208,0	283,0	386,0
Раскрытие пер- вого основного парашюта	34,5	74,0	143,0	218,0	293,0	397,0
Раскрытие вто- рого основного парашюта	42,5	82,0	151,0	226,0	301,0	405,0
Приземление СМ	106	227	342	417	491	595

Эти режимы разработаны с учётом скорости космического корабля, высоты нахождения над уровнем земной поверхности, атмосферных условий при прерывании запуска в полёте и конфигурации КК. Операции в рамках этих режимов выполняются до начала включения второй ступени РН. Основной двигатель (АМ) системы используется для отделения модуля экипажа от РН и сервисного модуля. Режимы характеризуются высокими аэродинамическими нагрузками, возникающими вследствие низкого пространственного положения КК в атмосфере и большого ускорения, придаваемого двигателем АМ. Команды на прерывание запуска могут отдаваться как в автоматическом, так и в ручном варианте через систему обеспечения жизнедеятельности астронавтов (health management system) в центре управления полетом, систему принятия решения на прерывание запуска (Abort Decision Logic – ADL), находящуюся на борту КК, а также экипажем и наземным персоналом.

Высоты, на которых может проводится операция по прекращению запуска, сведены в три группы:

- низкие – от 0 м до 7620 м (25000 футов) над уровнем земной поверхности;
- средние – от 7620 м до 45720 м (150000 футов);
- высокие – от 45720 м до 82296 м (270000 футов).

Последовательность операций в ходе прекращения запуска также зависит от высоты, на которой включается система LAS; времени, прошедшего после подачи команды на включение системы, и оценочных параметров скоростного напора воздушного потока и скорости (числа М) КК (рисунок 28).

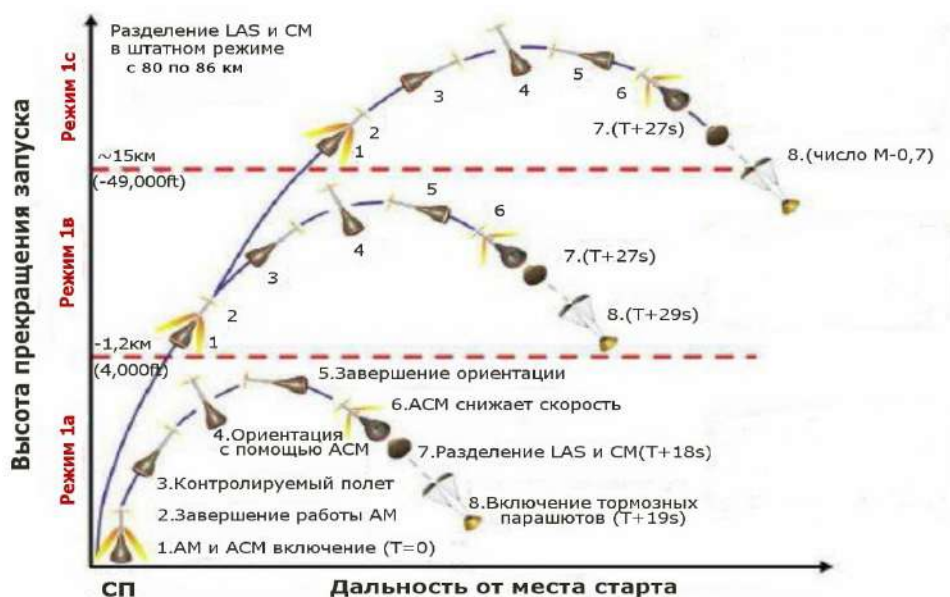


Рисунок 28. Последовательность операций прекращения запуска в зависимости от высоты космического корабля

При поступлении команды на прекращение запуска включаются основной двигатель прерывания АМ и двигатель пространственной ориентации АСМ. После того как двигатель прерывания выработает свой ресурс и прекратит работу (примерно 4 с), аппарат аварийного спасения экипажа продолжает контролируемый полет.

Двигатель АСМ управляет ориентацией аппарата аварийного спасения экипажа как во время работы двигателя АМ, так и после его выключения для обеспечения движения аппарата головной частью вперёд (nose-forward flight). Маневр по переориентированию аппарата LAV осуществляется в промежутке времени между 8 с и 15 с полёта для поддержания вектора скорости и обеспечения требуемого расположения парашютов перед их раскрытием, а начиная с больших высот, – правильной ориентации теплозащитного экрана системы теплозащиты модуля экипажа. После завершения ориентации двигатель АСМ используется для стабилизации аппарата спасения экипажа до момента отделения системы LAS.

3.1.2.1 Модуль экипажа

Модуль экипажа (СМ) представляет собой многоразовую капсулу, которая обеспечивает безопасную среду обитания для экипажа на протяжении всего полёта, его возвращения и посадки. Он является единственной частью корабля Orion MPCV, которая возвращается на Землю после каждой миссии.

Модуль СМ обеспечивает также хранение расходных материалов и исследовательских приборов, служит в качестве стыковочного порта для пересадки экипажа. Для этих целей он оборудован системой стыковки NDS-NASA Docking System.

Модуль СМ имеет форму усечённого конуса ($57,5^\circ$), аналогичную форме командного модуля КК Apollo. Его диаметр – 5,02 м, длина – 3,3 м, масса – 8,5 т. Его внутренний объём на 50% больше, чем капсула Apollo, что позволит размещать в случае необходимости до шести астронавтов (в базовом варианте для полёта к Луне – до четырёх астронавтов). Поддерживаемый диапазон температуры внутри модуля экипажа – от 70° до 100° по Фаренгейту (от 21° до $37,8^\circ$ по Цельсию).

Корпус модуля СМ изготовлен из композиционного алюминиево-литиевого сплава. В качестве основы теплозащитного экрана, подверженного критическому нагреву, NASA выбрало материал Avcoat американской компании Avco Corporation, который раньше использовался в лунной программе Apollo. Он имеет плотность $0,51 \text{ г/см}^3$ и

представляет собой соты из стекловолокна (диоксида кремния) и фенольной смолы. Части модуля СМ, не испытывающие критического нагрева, защищены покрытием из огнестойкого войлочного метакрамидного материала Nomex компании DuPont.

Модуль экипажа защищен также обтекателем системы LAS от аэродинамических и акустических нагрузок во время движения на начальном этапе полета и в случае прекращения запуска.

3.1.2.2 Результаты испытаний системы LAS

Поскольку система LAS КК Orion разработана на базе аналогичной системы КК Apollo, полученные в ходе пяти испытаний системы прекращения запуска КК Apollo результаты позволили NASA ограничиться всего двумя летными испытаниями системы LAS для корабля Orion: одно – со срабатыванием на стартовой площадке, другое – в полёте корабля при наборе высоты в условиях, близких к максимальным аэродинамическим нагрузкам. Основным преимуществом системы прекращения запуска КК Orion является наличие в ее составе двигателя пространственной ориентации, который отсутствовал в конструкции подобной системы КК Apollo. Его наличие обеспечивает управление ориентацией и маневрами аппарата аварийного спасения экипажа LAV после его расстыковки с ракетой-носителем.

В мае 2010 г. NASA успешно провело испытание PAD-Abort-1/PA-1 системы LAS на ракетном полигоне White Sands (шт. Нью-Мексико), запустив сборку системы LAS с макетом модуля экипажа на высоту около 6000 футов (1830 м). Были протестированы все три твердотопливных ракетных двигателя системы LAS. Последовательность проведения операций по подготовке системы прекращения запуска к испытаниям в день старта показана на рисунке 29.

Второе испытание системы LAS корабля Orion под названием Ascent Abort-2/AA-2 проведено в июле 2019 г. с набором высоты в условиях почти максимальных аэродинамических нагрузок. Успешный результат испытаний позволил разработчикам сделать заключение о готовности системы LAS КК Orion к практическому использованию.



Рисунок 29. Последовательность проводимых мероприятий с системой LAS в день старта в ходе испытаний PA-1

Ключевым моментом длившегося всего три минуты испытательного полёта стали примерно 20 секунд, в течение которых все три твердотопливных двигателя системы LAS отработали в штатном режиме и обеспечили отделение и увод макета корабля с модулем экипажа от «аварийной» ракеты-носителя (рисунок 30).



Рисунок 30. Схема последовательности событий в ходе испытаний AA-2:

1. Включение двигателя ускорителя Abort Test Booster(ATB) и разгон испытательного образца системы LAS до заданной скорости. 2. Включение двигателей LAS и отделение связки LAS/CM от ATB. 3-4. Двигатель ACM переориентирует модуль экипажа. 5. Отделение системы LAS. 6. Падение LAS, модуля экипажа и стартового ускорителя в океан

Аварийное отделение системы LAS с макетом модуля экипажа произошло «не точно при достижении максимального динамического напора, но на очень большой скорости и всё ещё в атмосфере», – пояснил результаты испытания руководитель программы Orion в NASA. «Существует огромное противодействие отрыву от ракеты-носителя и уходу от неё спасаемого модуля при включении LAS. Однако ключевым моментом в испытании являлось не столько подтверждение способности LAS преодолеть аэродинамическое сопротивление, но, что ещё сложнее, – осуществить управляемый уход модуля экипажа без потери аэродинамической устойчивости».

В целом по результатам испытаний было продемонстрировано, что система аварийного прекращения запуска КК Orion способна безопасно отделить и увести модуль экипажа от ракеты-носителя в ходе прерывания полета на участке набора высоты в условиях, близких к трансзвуковым.

3.1.3 Пассивная подсистема терморегулирования LAS

Особое внимание проектировщиками уделено проблеме теплозащиты технологического блока спасения экипажа LAV. В частности, пассивная подсистема термоконтроля (Passive Thermal Control Subsystem – PTCS) предназначена для защиты элементов конструкции корабля и системы прекращения запуска от чрезмерных температур на поверхности и минимизации аэродинамического нагрева во время набора высоты.

Покрытие состоит из трех слоев: абляционного, электропроводящего (conductive coating) и терморегулирующего (thermal control coating). Электропроводящее покрытие наносится сверху обтекателя, а теплозащитные абляционное и терморегулирующее покрытия наносятся поверх него. Терморегулирующее покрытие имеет низкую поглощательную способность и высокий коэффициент теплового излучения для уменьшения тепловой абсорбции и увеличения отражения тепла. Оно наносится на передний промежуточный отсек, переходник-обтекатель между системой LAS и модулем экипажа и на обтекатель (защитный кожух) модуля экипажа, как показано на рисунке 31.



Рисунок 31. Нанесение терморегулирующего покрытия на компоненты системы LAS KK Orion

3.2 Мероприятия по поддержанию в готовности системы LAS космического корабля Orion на стартовом комплексе

Запуски ракеты-носителя SLS с космическим кораблем Orion планируется осуществлять со стартовой площадки 39В на территории Космического центра им. Кеннеди.

Сборка системы аварийного прекращения запуска КК Orion, включая основной двигатель (Abort Motor – AM), двигатель управления ориентацией (Attitude Control Motor – CM) и двигатель отделения системы LAS (Jettison Motor – JM), производится в сооружении LASF (Launch Abort System Facility – LASF, рисунок 32) рядом с монтажно-испытательным комплексом им. Армстронга. Сборка и проверка каждого двигателя LAS проводятся в горизонтальном положении для обеспечения необходимого доступа к оборудованию.



Рисунок 32. Сборка и тестирование системы аварийного прекращения запуска

Последующая сборка и интегрирование системы LAS с экипажным и сервисным модулями осуществляется также в здании LASF, и окончательно собранный КК Orion интегрируется с PH SLS в здании вертикальной сборки (Vehicle Assembly Building – VAB) Космического центра им. Кеннеди (рисунок 33).



Рисунок 33. Сборка и интегрирование системы LAS с экипажным и сервисным модулями

Последовательность операций сборки LAS показана на рисунке 34.

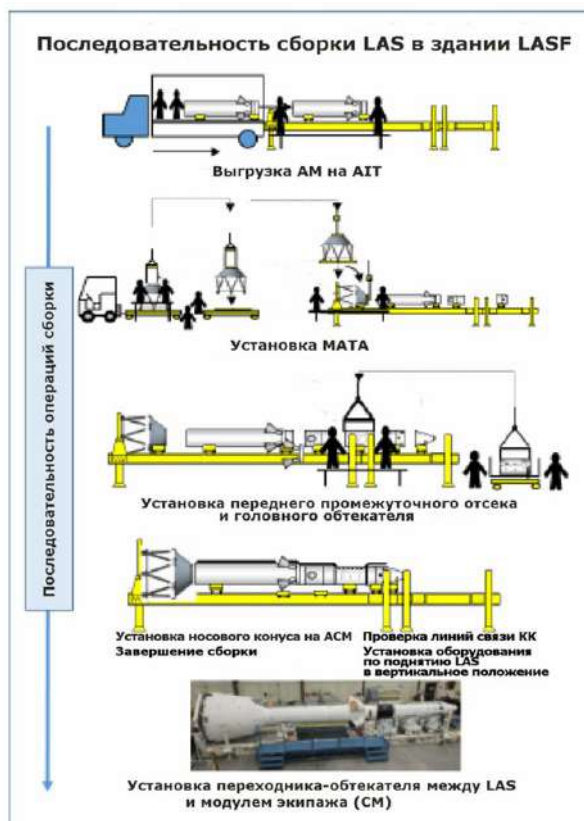


Рисунок 34. Последовательность операций по сборке LAS в здании LASF

Для перемещения частичных сборок и модулей КК Orion между сооружениями наземного комплекса Космического центра им. Кеннеди используется 26-колесный транспортер, оборудованный вспомогательными системами и устройствами поддержания требуемых условий безопасности космических аппаратов (рисунок 35).

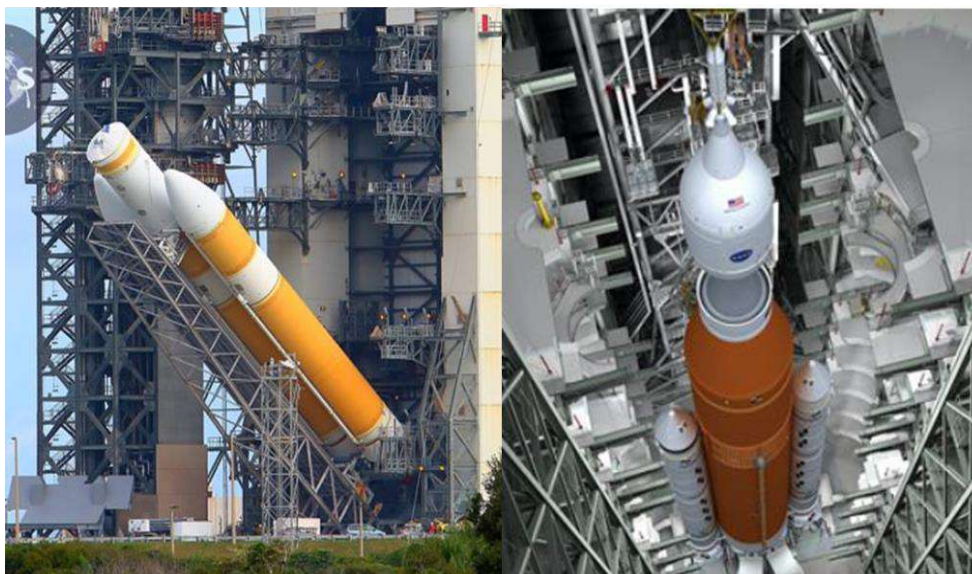


Рисунок 35. Транспортировка сборки модуля экипажа и сервисного модуля в сооружение обслуживания опасных грузов (PHSF) для заправки азотом и топливом

Сстыковка собранного космического корабля Orion с ракетой-носителем SLS осуществляется в сооружении вертикальной сборки (рисунки 36 и 37).



Рисунок 36. Внешний вид КК Orion с установленной системой LAS в сооружении вертикальной сборки



***Рисунок 37. Подъем в вертикальное положение PH SLS
и установка на нее КК Orion с системой LAS***

Для фиксации и транспортировки системы космического запуска SLS ракеты-носителя из сооружения вертикальной сборки на стартовую площадку LC-39В используется мобильная пусковая установка (МПУ) с башней технического обслуживания (Mobile Launcher Platform and Service Tower). Она состоит из двухэтажного основания, пусковой платформы и вспомогательных систем обеспечения (электропитания, связи, кондиционирования воздуха, подачи воды для охлаждения). Транспортировка МПУ с установленной на ней системой SLS осуществляется с помощью гусеничного транспортера (рисунок 38).



***Рисунок 38. Общий вид МПУ
с башней обслуживания и гусеничным
транспортером***

На рисунке 39 показано расположение основных объектов Космического центра им. Кеннеди, задействованных в сборке, тестировании, интегрировании и подготовке к применению LAS KK Orion, и последовательность этих операций.

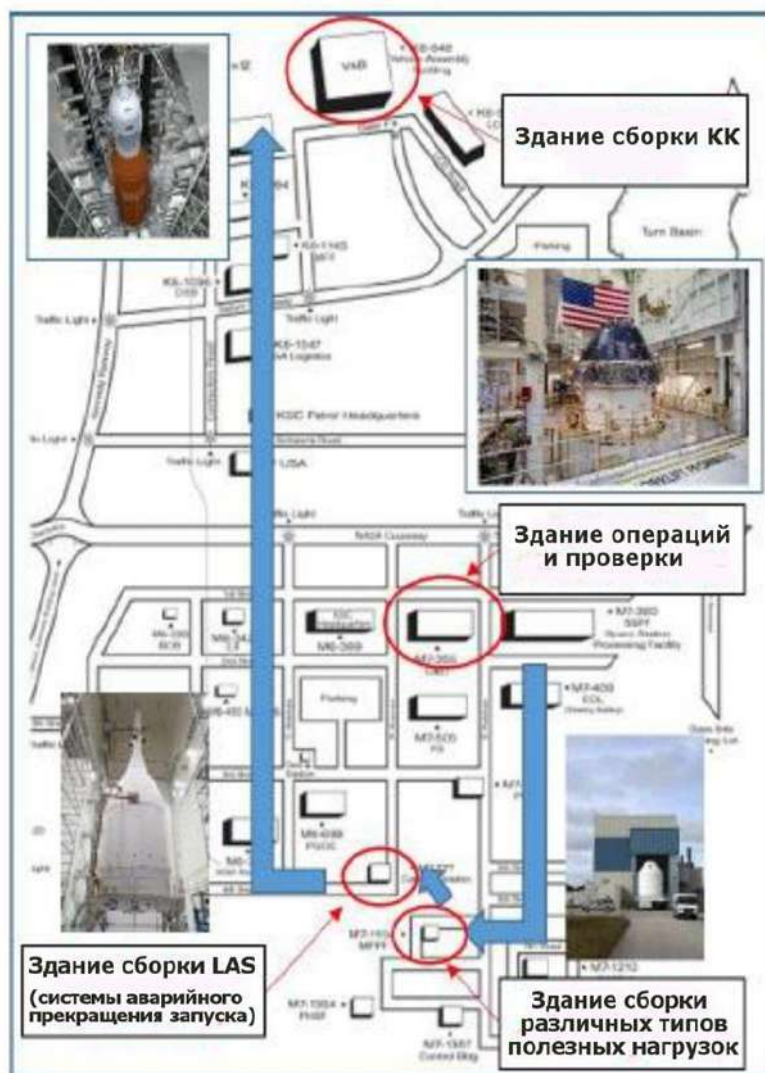


Рисунок 39. Последовательность операций по сборке и интегрированию системы LAS на объектах Космического центра им. Кеннеди

Все работы по сборке системы LAS и ее интеграции с KK Orion проводятся на территории стартового комплекса. В связи с повышенными рисками операции по сборке системы проводятся в здании LASF отдельно от операций с сервисным модулем и модулем экипажа. Снижение уровня рисков при сборке и интеграции системы LAS обеспечивается также тем, что они проводятся в непосредственной близости от стартовой площадки и при использовании одних и тех же процессов, оборудования и технических работников. При этом также сокращаются финансовые издержки, связанные с необходимостью дополнительной транспортировки и строительства новых сооружений.

При проведении первой миссии Artemis 1 в автоматическом режиме планируется протестировать всю наземную инфраструктуру Космического центра им. Кеннеди по сборке КК Orion и его интегрированию с РН SLS, включая применение мобильной пусковой установки. При этом на корабль будет установлена система аварийного прекращения запуска (рисунок 40).



Рисунок 40. Общая конфигурация системы SLS/Orion на старте с установленной на корабль системой LAS

9.3 Мобильная башня обслуживания и подготовки системы SLS/Orion к запуску

Ракета-носитель SLS (Space Launch System) сверхтяжелого класса, разрабатываемая компанией Lockheed Martin, предназначена для осуществления запусков космических аппаратов за пределы низкой околоземной орбиты, включая полеты КК Орион к Луне. Ракета оснащена четырьмя жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) RS-25 первой ступени и двумя твердотопливными ускорителями, а также двигателем RL-10 верхней ступени.

Перед запуском КК Orion будет установлен на РН SLS в здании сборки транспортных средств в Космическом центре им. Кеннеди во Флориде и подготовлен к запуску с мобильной пусковой установки с башней технического обслуживания. Башня обслуживания оборудована различными трубопроводами и кабельными соединениями, подключенными к первой ступени РН SLS, боковым твердотопливным ракетным ускорителям,

а также к верхней криогенной ступени ICPS, космическому кораблю Orion и системе аварийного прекращения запуска LAS (рисунок 41).



Рисунок 41. Общий вид мобильной пусковой установки с башней обслуживания

С помощью оборудования башни технического обслуживания будут обеспечиваться электропитание, связь, подача охлаждающей жидкости и криогенного топлива (жидкого водорода и жидкого кислорода) для элементов ракеты-носителя SLS, космического корабля Orion и системы LAS. Различные уровни (этажи) башни обслуживания обеспечивают доступ инженерного персонала к РН, КК и системе аварийного прекращения запуска LAS.

Системы заправки и электропитания мобильной башни обслуживания прошли испытание в Центре испытаний пускового оборудования. В ходе испытаний обе системы сработали в штатном режиме и подтвердили свою пригодность к монтажу и использованию на башне. Перед запуском все питающие трубопроводы и соединительные кабели будут отсоединены от РН и КК, что позволит безопасно произвести взлёт со стартовой площадки.

Топливные магистрали и кабели кормовой юбки. В процессе подготовки к запуску два электрических кабеля кормовой юбки (ASEUs) будут подключаться к PH SLS в нижней части каждого ускорителя и обеспечат электропитание и обмен данными с PH SLS, пока она не оторвется от стартовой площадки. ASEU будет действовать как телефонная линия и передавать сигналы в другую подсистему мобильной пусковой установки, называемую системой запуска. Эта система является важной, т.к. она будет передавать сигнал о запуске на остальные вспомогательные устройства запуска, при этом твердотопливные ускорители PH SLS фактически иницируют команду запуска.

Трубопроводы продувки кормовой юбки ускорителей. Два трубопровода для продувки кормовых юбок твердотопливных ускорителей (ASPU) также будут подключаться к ракете SLS в нижней части каждого ускорителя для удаления потенциально опасных газов и поддержания их температурного режима продувкой нагретым газообразным азотом полости нижней юбки каждого ускорителя. ASPU будут подключены к продувке во время нахождения в здании модульной сборки и останутся подключенными до тех пор, пока не будут разблокированы перед стартом PH.

Трубопроводы и кабели обслуживания первой ступени PH SLS. Два трубопровода и кабели TSMU соединены с палубы нулевого уровня МПУ с кормовой частью основной ступени PH SLS. Трубопроводы TSMU имеют высоту около 33 футов. Они предназначены для заправки ступени жидким кислородом и жидким водородом, а кабели – для электрических соединений с секцией двигателей RS-25 основной ступени и для контроля состояния топлива во время предпусковых операций. TSMU будут отклоняться назад перед запуском, чтобы обеспечить безопасное и надежное отключение соединений и отвод всего блока трубопроводов и кабелей от PH во время старта.

Межбаковые трубопроводы и кабели второй ступени PH SLS. Межбаковые трубопроводы и кабели основной ступени, или CSITU, представляют собой комплекс на поворотной платформе, который подключается к межбаковому переходнику основной ступени PH SLS. Основная функция этого комплекса – отвод газообразного водорода из этой зоны. Платформа также обеспечивает кондиционирование воздуха, обеспечение сжатыми газами для наддува баков, электропитание и передачу данных к основной ступени. Комплекс CSITU расположен на высоте 140 футов на мобильной башне обслуживания, между баками с жидкими водородом и кислородом основной ступени, и перед запуском PH отводится в сторону.

Трубопроводы и кабели передней юбки первой ступени. Блок трубопроводов и кабелей передней юбки основной ступени (или CSFSU) расположен на уровне 180 футов

мобильной башни обслуживания, над баком с жидким кислородом. CSFSU представляет собой блок, который поворачивается в нужное положение для соединения с передней юбкой основной ступени PH SLS, а затем отводится от нее перед запуском. Основная функция CSFSU – подача кондиционированного воздуха (GN2) в полость передней юбки основной ступени PH SLS Core Stage.

Трубопроводы и кабели верхней криогенной системы верхней ступени ICPSU. Блок трубопроводов и кабелей к криогенной системе верхней ступени ICPSU расположен примерно на уровне 240 футов мобильной башни обслуживания. Этот блок, размещенный на поворотной площадке башни на уровне ступени ICPSU, предназначен для заправки ступени горючим, окислителем и для обеспечения работы систем контроля состояния ступени, функционирования пневматических и электрических соединений, входящих в ее состав. Двигатель ступени ICPSU, как и двигатели основной ступени, использует для своей работы жидкие компоненты – водород и кислород. Блок также обеспечивает обнаружение утечек компонентов топлива и отделяется от ступени перед запуском.

Трубопроводы и кабели сервисного модуля КК Orion. Блок трубопроводов и кабелей сервисного модуля КК Orion (или OSMU) также будет подключаться к магистралям мобильной башни обслуживания. Он расположен на уровне 280 футов башни обслуживания и перед запуском будет подавать жидкий хладагент и воздух для штатного функционирования электроники, а также подавать воздух в систему жизнеобеспечения для поддержания необходимых условий в КК. Блок также обеспечит продувку воздуха для поддержания необходимых температурных параметров в системе прерывания запуска (LAS). Блок OSMU выключится перед запуском PH.

Поворотная площадка доступа экипажа в КК. Поворотная площадка доступа астронавтов к модулю экипажа (или САА) в космическом корабле расположена на уровне 274 футов башни обслуживания. САА будет поворачиваться из своего убранного положения на уровне расположения люка экипажа КК Orion, чтобы обеспечивать посадку и высадку астронавтов. Она также обеспечивает безопасный и беспрепятственный путь для входа и выхода технического персонала во время проведения технологических операций по загрузке КК Orion, а также операций по подготовке и запуску на стартовой площадке 39В.

Площадка доступа обеспечит контролируемую рабочую зону для персонала, осуществляющего работы в модуле экипажа. Она обеспечит аварийный выход астронавтов

и обслуживающего персонала во время чрезвычайных ситуаций, а также обеспечит доступ к модулю экипажа КК Orion и к его сервисному модулю для контроля заправки КК топливом во время операций сервисного обслуживания и его окончания.

Площадка отводится в сторону от КК Orion перед стартом РН.

Система стабилизации мобильной пусковой установки. Система стабилизации (VSS) мобильной пусковой установки расположена на уровне 200 футов башни обслуживания и должна обеспечивать структурный интерфейс с основной ступенью РН SLS. Система VSS позволяет уменьшить воздействие от вибрации МТПП на РН во время её транспортировки на стартовую позицию, обеспечивает также снижение влияния ветровых нагрузок на стартовой позиции при обратном отсчете времени запуска. Перед запуском блок стабилизации отклоняется и отделяется от РН SLS.

Опорные стойки ракеты-носителя. Восемь опорных стоек будут воспринимать нагрузку твердотопливных ракетных ускорителей (по четыре стойки для каждого из ускорителей). Опорные стойки имеют высоту 5 футов и массу около 10000 фунтов. Они расположены на верхней площадке мобильной пусковой установки и оснащены тензометрическими датчиками измерения нагрузок во время установки, интеграции, развёртывания и запуска ракеты-носителя. Стойки конструктивно поддерживают РН SLS в уравновешенном вертикальном положении до её старта.

Таким образом, в целях поддержания в готовности к применению системы аварийного прекращения запуска LAS американского космического корабля Orion, в том числе при длительном нахождении на стартовом комплексе, предусматривается использовать мобильную пусковую установку с башней технического обслуживания. Данный мобильный комплекс технических средств обеспечивает функционирование системы термостатирования и продувку воздуха для поддержания требуемых температурных параметров и условий для экипажа в системе прерывания запуска, а также проведение контрольно-проверочных измерений и проверку целостности электроцепей. При этом МПУ обеспечивает возможность проведения этих работ в любых метеорологических условиях, включая активное образование и мощные разряды молний, и частично защищает элементы космического корабля и саму систему LAS от воздействия солнечных лучей и осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ содержания представленных материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Программа HERRO, разработанная специалистами NASA, предусматривает снижение рисков космических исследовательских программ, исключает необходимость использования сложных и дорогостоящих спускаемых пилотируемых роботизированных систем космического и планетарного базирования с участием человека непосредственно на поверхности ближайших планет Солнечной системы. Нахождение экипажа в пилотируемой роботизированной системе космического базирования на орбите ближайших планет Солнечной системы, в непосредственной близости от их поверхности, позволяет устранить существующую задержку двусторонней связи, ограничивающую возможности эффективного использования РС на поверхности планеты, между роботизированной системой на планете и оператором центра управления на Земле.

2. NASA предпринимает активные шаги по развитию технологий создания малых космических аппаратов стандарта CubeSat для исследований Луны и дальнего космоса, которые имеют двойное назначение.

Зарубежные специалисты выделяют несколько разных подходов к использованию готовых платформ и корпусов малых КА, каждый из которых имеет свои собственные положительные качества. Появляются новые поставщики, предлагающие различные решения для защиты от проникающей радиации. Расширяются перспективы для проектирования небольших космических аппаратов, а также увеличивается количество фирм, разрабатывающих и предлагающих решения для создания малых космических аппаратов. Все малые космические аппараты производятся из доступных компонентов, без дорогих деталей, изготавливаемых на заказ специально для использования в космическом пространстве.

3. По планам NASA наноКА должны решать следующие задачи:

- поиск залежей водного льда и его выходов на поверхность на темной стороне Южного полюса Луны и нанесение его концентраций на карту в масштабе 1-2 км;
- проверка обоснованности концепции управляемого наноКА с «солнечным парусом», способного выходить на встречную траекторию околоземных астероидов;
- исследование воздействия радиации глубокого космоса на живые организмы (дрожжевые грибки) в течение длительного времени (18 месяцев);

- фотографирование Луны в ИК-диапазоне, дистанционное зондирование и спектроскопия её поверхности при пролете на малой высоте;
- изучение солнечного ветра и измерение динамических частиц и магнитных полей, а также проверка обоснованности концепции создания сети станций для отслеживания космической погоды;
- составление карты с высокой разрешающей способностью запасов водяного льда в кратерах вблизи Южного полюса Луны, определение глубины его нахождения и расположения богатых водородом соединений;
- изучение плазмосферы Земли и радиационных условий вокруг Земли, отработка технологии маневрирования водяными двигателями малой тяги для изменения низко-энергетической траектории в пространстве между Землей и Луной и во время многократных облетов Луны в районе точек Лагранжа, вы-ход на различные орбиты вокруг Земли и Луны при минимальном управлении КА в орбитальном полете;
- исследование радиационных условий и механики грунта Луны путем соударения спускаемого аппарата с поверхностью Луны в результате полужесткой ударной посадки и использования сейсмоприёмника (геофона), регистрирующего ускорение частиц пыли;
- изучение работы микродвигательной установки на криогенном топливе и передачи телеметрии в ходе вывода других наноКА после отделения КК Orion;
- создание видеозаписи процесса отделения других наноКА от РБ ICPS и отработка технологии маневрирования малого КА вблизи РБ ICPS;
- отработка эффективности микродвигательной установки на основе электролиза воды и проверка межпланетной оптической навигационной системы для полета по орбите Луны;
- организация дальней связи при нахождении наноКА на гелиоцентрической орбите в глубоком космосе;
- выход наноКА на гелиоцентрическую орбиту и проверка возможностей дальней связи в радиодиапазоне сверхвысоких частот (1550-5200 МГц) на удалении порядка 4 млн км от Земли и отработка техники управления траекторией КА с двигателем малой тяги при использовании гибридного ионного электростатического микроракетного двигателя.

4. Получают широкое применение новые аддитивные технологии для изготовления

элементов конструкции малых КА, в т.ч. с учетом особых свойств используемых материалов с точки зрения их радиационной стойкости.

Проведенный в настоящем обзоре анализ зарубежных разработок показывает, что современный этап развития этих средств характеризуется использованием многочисленных спутниковых группировок на основе малых космических аппаратов.

Специалисты NASA считают создание малых КА наиболее перспективным направлением космической деятельности. Это связано со следующими обстоятельствами:

- массовым спросом на услуги, предоставляемые ракетно-космической техникой (Интернет-технологии, связь, навигация, метеорология, дистанционное зондирование Земли и акватории океанов, научные исследования);
- достигнутыми результатами в создании новых легких конструкционных материалов, микропроцессоров с высокой производительностью, миниатюрных оптоэлектронных камер, микромеханизмов, микросенсоров и т.д.;
- высокой конкуренцией со стороны ведущих космических корпораций и снижением затрат на разработку и эксплуатацию космической техники при одновременном увеличении качества и эффективности использования КА.

5. Быстрота сборки и небольшая стоимость делают малые космические аппараты доступными для многих компаний и даже краудсорсинговых проектов, которые финансируются частными лицами. Это открывает новый рынок, на котором спрос на наноКА будет формироваться не заказами государств и крупных компаний, а рядовыми пользователями. Проще говоря, с геоинформационными сервисами произойдет то же, что и с GPS: они станут массовыми и будут использоваться повсеместно.

6. К настоящему времени получил дальнейшее практическое развитие принцип концептуального построения миниаппаратов стандарта CubeSat, отработаны различные схемы вывода наноКА в космос, разработаны программы по управлению взаимодействием отдельных КА в составе группировки. Вместе с тем уменьшение габаритов КА класса CubeSat стало возможным благодаря миниатюризации основных компонентов, электронных, радиоэлектронных и оптико-электронных систем, в частности появились разработки миниатюрных РЛС с синтезированной апертурой и малогабаритных телескопов.

7. В результате перехода на малые спутниковые платформы открываются новые пер-

спективы повышения разведывательных возможностей, в частности получение изображений объектов в различных спектральных диапазонах (с разных носителей в рамках одной космической группировки), значительное повышение частоты обновления видеоданных (до нескольких десятков минут), снижение затрат на разработку и выведение КА на орбиту (до 1 млн долл. США), а также снижение рисков от потери отдельных КА с возможностью их недорогогостоящей замены.

8. С 2010 г. переход на нано-, мини- и микроКА за рубежом начинает приобретать широкомасштабный характер, что подтверждается рядом уже действующих группировок КА и разрабатываемых перспективных проектов.

В США уже разрабатывается полномасштабная программа робототехнического обслуживания геостационарных КА RSGS, предусматривающая создание КА-инспекторов двойного назначения, функции которых могут включать не только определение категории КА, степени их разрушения, но и установление назначения КА стран-противников. Военные эксперты признают возможность использования таких КА для повреждения или уничтожения больших КА противника.

9. Благодаря совершенствованию технологий миниатюризации компонентов полезной нагрузки космических группировок кластерного типа достигнут значительный прогресс в области создания малогабаритных сенсоров, используемых для видовой разведки (минирадаров с синтезированной апертурой и минителескопов). Практически отработаны все этапы технологической цепочки – от разработки до вывода таких КА в космос, что создает основу в ближайшие 2-3 года для широкомасштабного выведения в космос десятков группировок, состоящих из мини-КА.

Лидирующее положение в мире по созданию таких группировок занимают США, программы которых реализуются DARPA, NASA и частными компаниями.

10. Полет к Марсу двух наноКА в рамках миссии Mars Cube One продемонстрировал возможности участия малых КА в исследовании других планет Солнечной системы, что, по мнению зарубежных ученых, в самом ближайшем будущем приведет к взрывному развитию технологий создания всевозможных малых КА и активизации межпланетных полетов.

При этом одни наноКА могут выполнять функции ретрансляционных станций, другие в качестве главной задачи проводить самостоятельные научные эксперименты, та-

кие, например, как прохождение радиосигналов в атмосфере планет, получение различных изображений и выполнение задач разведки с использованием миниатюрных камер и других приборов с миниатюрными размерами или проведение измерений окружающих условий в космическом пространстве.

11. По оценкам зарубежных экспертов, эффективная реализация программ разработки технологий электроснабжения малых КА свидетельствует о начале новой эры космических технологий и переходе к выведению на околоземную орбиту малых КА, позволяющих получать не только пространственные, но и временные видеоданные, повышающие ситуационную осведомленность об объектах, представляющих разведывательный интерес.

12. Системы управления угловой ориентацией и навигацией малых КА относятся к быстрорастущей технологической области. К современному техническому уровню в этой области относятся блоки ориентации гироскопов с использованием маховиков, магнитные торсиометры, исполнительные механизмы для передачи крутящего момента, датчики астрокоррекции системы ориентации, магнитометры, датчики системы солнечной ориентации, датчики земной системы ориентации, датчики угловых скоростей, GPS-приёмники и антенны, двигатели реактивной системы управления, бортовое программное обеспечение системы управления угловой ориентацией и навигацией малых КА.

За рубежом активно ведутся работы в области миниатюризации бортовых навигационных систем. Основные усилия иностранных специалистов направлены на снижение массы, придание изделиям наименьших габаритов и веса и повышение экономичности двигателей системы управления малых КА.

13. В США проведены успешные испытания использования технологий CubeSat в дальнем космосе и на орбитах Луны, Марса и других планет. Большинство разработок ведутся в классе 3U стандарта CubeSat, однако уже есть несколько примеров предложения конструктивных схем для кубсатов класса 6U, при этом ведутся активные работы по моделям 12U.