

829,10
Г524

Ю. Н. ГЛАЗКОВ
Л. С. ХАЧАТУРЬЯНЦ
Е. В. ХРУНОВ

НА ОРБИТЕ ВНЕ КОРАБЛЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЗНАНИЕ“

629.78
Г-524

Ю. Н. ГЛАЗКОВ
Л. С. ХАЧАТУРЬЯНЦ
Е. В. ХРУНОВ

НА ОРБИТЕ ВНЕ КОРАБЛЯ

10844 8/2

Издательство
«Знание»
Москва
1977

НТБ п/я Г-4149

- Г52 Глазков Ю. Н. и др.**
На орбите вне корабля. М., «Знание», 1977.
176 с.
Перед загл. авт.: Ю. Н. Глазков, Л. С. Хачатурьянц, Е. В. Хрунов.

После первых космических полетов по программе «Восток» в нашей стране началась подготовка к проведению одной из наиболее важных операций: выходу человека из корабля в открытое космическое пространство. Большой круг задач, решаемых в открытом космосе, специфичность действующих факторов и условий работы внесли свои коррективы в систему подготовки космонавтов. В этой книге рассматриваются проблемы деятельности космонавта вне герметичных отсеков корабля (станции), приводится описание технических средств, обеспечивающих работу в открытом космосе. Авторами книги выступают космонавты-инженеры и врач.

Г $\frac{31901-75}{073(02)-77}$ 127-77

6Т6

ВВЕДЕНИЕ

18 марта 1965 года в соответствии с программой космических исследований в Советском Союзе был сделан новый шаг в освоении космического пространства. Летчик-космонавт Алексей Леонов первым смело шагнул в открытый космос.

«Зачем? Еще не совсем успели освоиться с космосом и уже выход!»

Прошли годы. Космонавты и астронавты много раз выходили в открытое космическое пространство, работали в нем по программе «Восход», «Джемини», «Союз» и «Аполлон». На вопрос — «Зачем?» ответила практика.

14 мая 1973 г. на круговую околоземную орбиту была запущена долговременная орбитальная станция «Скайлаб». На станции должны были работать три экипажа. Израсходованы сотни миллионов долларов, вложен огромный труд больших коллективов ученых, инженеров, рабочих. И вот... При выводе «Скайлаба» на орбиту разрушена метеоритная и тепловая защита станции. Заклиненная осколком метеоритного экрана, не раскрылась одна из солнечных батарей. Температура внутри станции повышается, прогнозируется нехватка энергии. Запуск первого экипажа задерживается. Что делать? Использовать возможности человека. Надо лететь к станции, осмотреть, отремонтировать.

И на высоте около 400 км астронавты неоднократно выходили в открытый космос, провели ремонтные работы. Была освобождена и раскрыта солнечная батарея. Вместо разрушенной тепловой защиты смонтирован доставленный с Земли экран. Работоспособность станции была восстановлена. Научную программу исследований спас человек, с инструментом в руках вышедший в космическое пространство.

Итак, ответ дан практикой. Возникает другой вопрос. На космическом объекте авария, которая связана с нарушением функционирования его внешних систем. Может ли человек, находясь в относительно безопасной обстановке кабины космического корабля, направить для ее ликвидации специальные автоматы? Может. С одной лишь оговоркой, если он будет знать еще до запуска, что откажет именно эта деталь, именно этот процесс потребует вмешательства. Но это маловероятно. Экипаж ко-

смического корабля «Аполлон-13» тренировали к ликвидации большого количества отказов, а в полете случилось неожиданное.

Как и что может сделать космонавт, покидая корабль на орбите, результаты его труда, изменение основных психофизиологических функций — этим проблемам и посвящена наша книга.

В первом разделе, рассматривая задачи выхода человека в открытое космическое пространство и комплекс работ, которые он должен выполнять вне корабля, мы расскажем об основных способах выхода из корабля на орбите, о технической базе их реализации.

Космическое пространство создает ряд условий, противодействующих выходу космонавта, поэтому во втором разделе книги раскрываются особенности функционирования человека в открытом космосе. Мы выделяем два комплекса действующих факторов. Это физические факторы окружающей среды и факторы, связанные с ее влиянием на психическое состояние человека.

В следующих разделах книги рассматривается деятельность человека в открытом космическом пространстве и программа перехода двух членов экипажа из корабля в корабль в полете. В первом случае подробно изложены результаты изучения психофизиологических, эмоциональных и биомеханических особенностей деятельности экипажа, во втором — дан субъективный отчет и результаты инженерно-психологического анализа.

В заключение рассказывается об экспериментальных исследованиях перспективных средств и принципов передвижения в открытом космическом пространстве.

Читатель увидит, что авторы, иллюстрируя ту или иную мысль, зачастую приводят примеры из зарубежной техники. И это не случайно, поскольку, как нам казалось, образцы зарубежных космических кораблей и их бортовые системы меньше известны читателю, чем советская космическая техника.

Судьба книги, естественно, волнует авторов. И мы не хотели превратить нашу книгу в летопись совершения человеком еще одного шага в известное, но враждебное ему, безопорное и практически безориентирное открытое космическое пространство. Мы анализируем, делаем выводы, предлагаем.



ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВЫХОДА ЧЕЛОВЕКА ИЗ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

Опыт пилотируемых космических полетов в СССР и США убедительно доказывает, что человек на борту пилотируемого космического корабля (ПКК) или пилотируемой орбитальной станции (ПОС) является одним из основных элементов, обеспечивающих эффективное выполнение программы полета. Необходимые технические средства, высокая профессиональная подготовка и широкие возможности по управлению системами космического корабля позволяют космонавту активно влиять на ход полета.

Например, во время полета ПКК «Меркурий МА-9» произошел отказ в автоматическом устройстве, определяющем последовательность команд при сходе с орбиты. Наземным службам и астронавту с помощью ручного управления удалось осуществить сход с орбиты. Это не единственный случай. Происходили отказы в бортовом оборудовании и других ПКК. Благодаря активным действиям экипажа были благополучно завершены полеты ПКК «Восход-2», «Джемини-8», «Аполлон-13».

Для успешного выполнения намеченной программы в некоторых полетах был необходим выход человека в открытый космос. Например, чтобы устранить неисправности в стыковочном механизме транспортного корабля «Аполлон» первой экспедиции ПОС «Скайлэб», потребовалась разгерметизация корабля и работа в скафандрах. Ремонтные операции были проведены, и стыковка увенчалась успехом. Аварийное состояние ПОС «Скайлэб» после выведения на орбиту было ликвидировано также благодаря действиям экипажей в открытом космосе.

Итак, полеты советских космонавтов и американских астронавтов показали, что человек может производить техническое обслуживание, сборку, ремонт и транспортировку грузов за пределами герметичных отсеков, непосредственно в космическом пространстве. Поэтому задача будущих исследований в космосе тесно связывается с работами за пределами гермоотсеков ПКК и ПОС. В частности, при полетах многоэтажного транспортного космического корабля (МТКК) значительную долю общего труда космонавтов составят работы вне корабля. По программе МТКК были определены количество и длительность выходов в открытый космос, требования к скафандру, системам жизнеобеспечения и другим системам.

На 1979—1990 гг. планируется примерно 1073 космических полета. В том числе:

космические станции типа «Спейслэб»	— 56
большие космические обсерватории	— 36
модульные станции	— 46
автоматические спутники и станции NASA*	—147
прочие спутники (телевидение, связь и др.)	—224
спутники других ведомств	—305
сборка на орбите	—259

Выполнение такой программы может быть обеспечено 597 полетами МТКК с различной полезной нагрузкой. При этом планируются следующие основные задачи деятельности человека в открытом космосе:

1. Эксплуатация больших космических телескопов (замена зеркальных модулей, удаление загрязнения с приборов, перемещение солнечных батарей и пр.).
2. Обслуживание космических лабораторий для изучения природных ресурсов Земли (сборка параболических антенн диаметром 9 м, установка кассет с пленкой и пр.).
3. Приведение в рабочее состояние бортовых систем (соединение электрических, гидравлических разъемов и магистралей, транспортировка и закрепление панелей солнечных батарей и антенн, снятие защитных приспособлений, используемых при выведении на орбиту, и пр.).
4. Осмотр, отладка и ремонт наружных устройств орбитальных объектов (люков, механизмов раскрытия оптических датчиков).
5. Научные исследования и т. д.

* NASA — Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (США).

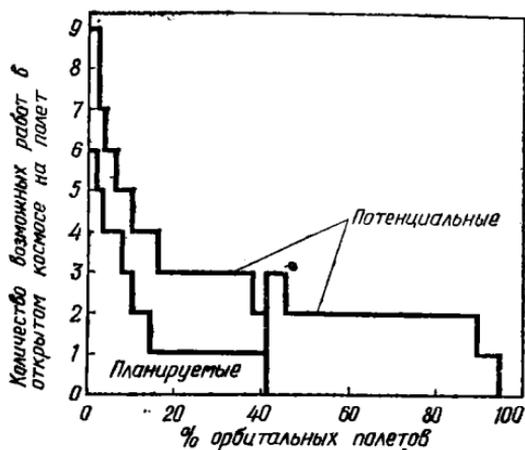


Рис. 1. Распределение количества планируемых и потенциально возможных выходов в открытый космос на один полет

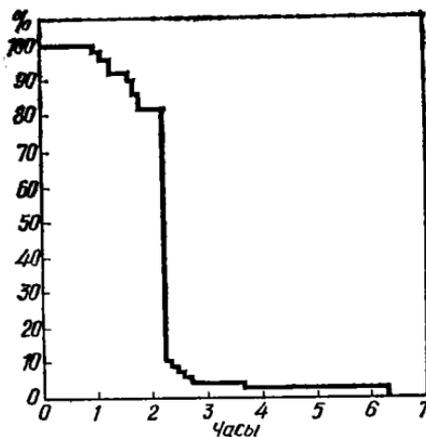


Рис. 2. Продолжительность работ в открытом космосе, рассчитанная на выполнение операций одним космонавтом

Итак, задачи поставлены. Не менее важно определить необходимое количество выходов в открытый космос, их частоту. Например, обслуживание блоков «Спейслэб» может потребовать 118 выходов в открытый космос для выполнения задач, перечисленных выше под номерами 2, 3, 5. Но для выполнения всех задач обслуживания космических объектов на орбите потребуется 788 выходов

в открытый космос. На рис. 1 показано распределение количества выходов за пределы корабля, которые планируются заранее для одного полета. Рис. 2 демонстрирует продолжительность одного выхода, рассчитанную на выполнение работ одним человеком.

Какие же технические средства могут обеспечить запланированные и непредвиденные работы? Выход в открытый космос было решено проводить методом шлюзования, используя шлюзовую камеру (ШК). Длина ШК была выбрана 3 м, длина фала — порядка 21 м. Такая длина позволяет выполнить 95% всех видов работ. Результаты исследований и испытаний и, в частности, изучение предполагаемых маршрутов перемещения космонавтов, убедили, что к работам вне ПКК целесообразнее привлекать двух членов экипажа. Для выполнения 788 выходов в 597 полетах предположительно было определено общее число космонавтов: 20 (командир и пилот), 40 (специалисты по полезной нагрузке).

При моделировании деятельности космонавта в открытом космосе было установлено, что наиболее подвижной является верхняя часть скафандра (207 000 циклов за моделируемый 12-летний период). Скафандр должен иметь подвижные сочленения в области плеча, локтя, кисти, пояса, колена, бедер и лодыжек. Это показал анализ движений тела космонавта при выполнении им операций технического обслуживания объектов. Необходимо предусмотреть также возможные движения головы. Особое значение имеет подвижность рук в скафандре и кисти руки в перчатках.

На основе моделирования были определены требования к системе жизнеобеспечения (СЖО), ее тип и состав, уточнены задачи выхода и требования к системам обеспечения деятельности космонавта вне пилотируемого космического корабля и пилотируемой орбитальной станции. Накопленный в СССР и США опыт работы человека в открытом космосе позволил определить круг задач, возлагаемых на космонавта за пределами ПКК и ПОС:

техническое обслуживание и ремонт ПКК, ПОС и автоматических космических объектов;

монтажно-демонтажные и сборочные работы на орбите;

техническое обслуживание научно-исследовательской аппаратуры;

оказание помощи экипажам, терпящим бедствие на орбите, а также смена экипажей ПКК и ПОС;
транспортировка различных грузов;
экспериментальные исследования в открытом космосе.
Естественно, этот перечень задач обобщенный и неполный. По мере исследований в космосе эти задачи будут корректироваться и расширяться.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫХОД ЧЕЛОВЕКА В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС

Пилотируемые космические корабли и пилотируемые орбитальные станции, обеспечивающие выход человека в открытый космос, отличаются по конструкции от пилотируемых объектов, не предусматривающих деятельность человека за их бортом. Прежде всего они имеют дополнительное оборудование для разгерметизации и последующего наддува соответствующих отсеков, особую конструкцию скафандров, системы жизнеобеспечения и др.

Выход в открытый космос был осуществлен во время полетов ПКК «Восход-2», «Союз-4» и «Союз-5», ряда ПКК «Джемини» и «Аполлон» и ПОС «Скайлэб». Познакомим читателя с краткой характеристикой этих и перспективных пилотируемых объектов, особо выделив средства обеспечения выхода за их пределы.

«Восход-2» — пилотируемый космический корабль, предназначенный для полета по орбите вокруг Земли. В отличие от трехместного ПКК «Восход», корабль «Восход-2» был выполнен в двухместном варианте. Это увеличивало свободный объем, облегчающий перемещение космонавтов в кабине при подготовке к выходу в открытый космос. Для выхода предназначалась плюсовая камера «мягкого» типа, разворачиваемая в рабочее положение на орбите. ШК соединялась с кабиной космонавтов герметичным люком. Герметичным люком оборудовалась ШК и со стороны, обращенной в космическое пространство. Таким образом, «Восход-2» имел два герметичных объема, которые были разделены между собой и в то же время могли сообщаться друг с другом.

Такая конструкция позволяла совершить выход за пределы корабля, не разгерметизируя кабину космонав-

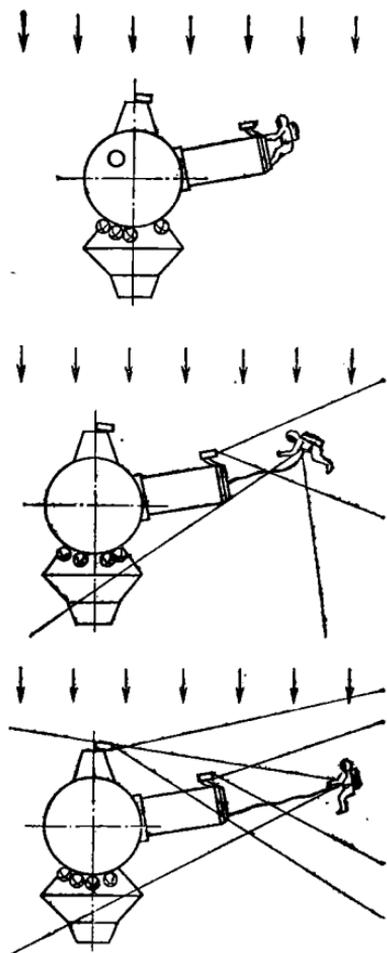


Рис. 3. Рисунки А. А. Леонова при подготовке к выходу в безопорное пространство

тов. Управление люками осуществлялось дистанционно, с пульта, установленного в кабине космонавтов, или вручную. Внутри ШК помещались два киноаппарата, система освещения, пульт управления, снаружи — баллоны с запасом воздуха для наддува ШК и с аварийным запасом кислорода. Во время работ вне ПКК космонавт снабжался кислородом от ранцевой автономной СЖО.

18 марта 1965 г. впервые в мире летчик-космонавт СССР А. А. Леонов вышел из корабля в космическое пространство. Выход продолжался 23 мин 41 с, из них вне ПКК — 12 мин 9 с. Космонавт выполнил намеченную программу исследований, отделившись от корабля на дли-

ну фала 5,35 м. Некоторое представление об эксперименте можно получить из рис. 3.

«Союз» — многоместный ПКК, предназначенный для полетов по геоцентрической орбите, маневрирования, сближения и стыковки. Вес корабля около 6,5 т. Благодаря модульной конструкции и возможности модернизации ПКК «Союз» в космических полетах применяется в различных целях. Автономные и групповые полеты, астрономическая лаборатория, транспортный корабль снабжения ПОС «Салют», модификация для совместного полета по международной программе «Союз—Аполлон» — это неполный перечень задач, выполняемых на ПКК «Союз».

Корабль состоит из орбитального отсека, спускаемого аппарата, где располагается экипаж до трех космонавтов, и приборно-агрегатного отсека. Орбитальный отсек и спускаемый аппарат сообщаются герметичным люком-лазом, что позволяет использовать орбитальный отсек в качестве ШК. В этом случае орбитальный отсек оборудуется системой разгерметизации и наддува, а также люком для выхода в открытый космос.

В 1969 г. после создания экспериментальной орбитальной станции, состоящей из состыкованных ПКК «Союз-4» и «Союз-5», два космонавта перешли из одного корабля в другой через открытый космос. ПКК были оборудованы специальными средствами для перемещения по их внешней поверхности. Космонавты использовали автономные СЖО и скафандры для работ вне корабля. На рис. 4 показана схема экспериментальной ПОС.

«Джемини» — двухместный ПКК США, предназначенный для полетов по геоцентрической орбите. Вес корабля 3,13—3,80 т. Корабль состоит из отсека экипажа, отсеков радиолокатора и системы ориентации, а также вспомогательного отсека. Общий вид ПКК «Джемини» показан на рис. 5. В отличие от варианта с применением ШК в данном случае при выходе в открытый космос разгерметизировался весь корабль.

«Аполлон» — трехместный ПКК США, предназначенный для доставки двух астронавтов на поверхность Луны. Корабль выполнен в виде модульной конструкции, состоящей из отсека экипажа, двигательного отсека и лунной кабины (рис. 6). В зависимости от целей полета корабль мог состоять из отсека экипажа и двигательного отсека — основной блок для полетов по геоцентрической или селеноцентрической орбите. Когда предусматривался выход на

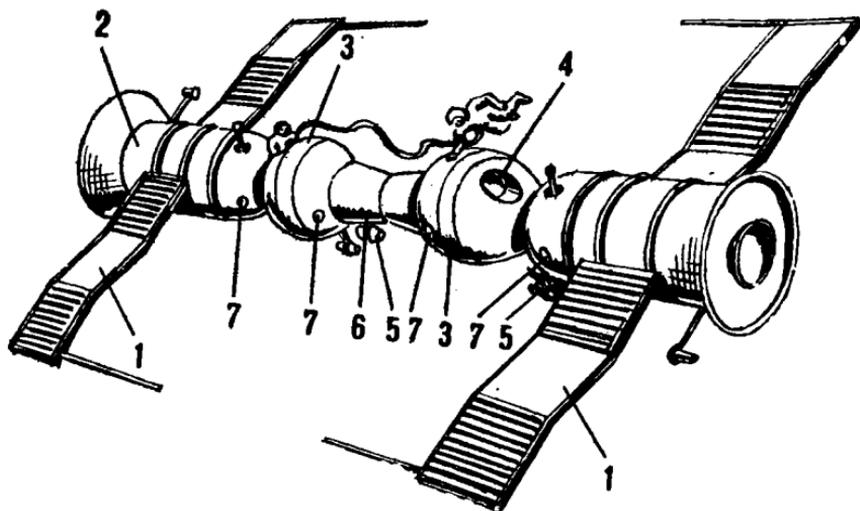


Рис. 4. Схема экспериментальной орбитальной станции, собранной из космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5»:

1 — панели солнечных батарей; 2 — приборно-агрегатные отсеки; 3 — орбитальные отсеки; 4 — люк для выхода в космос; 5 — антенны сближения; 6 — стыковочный узел; 7 — иллюминаторы

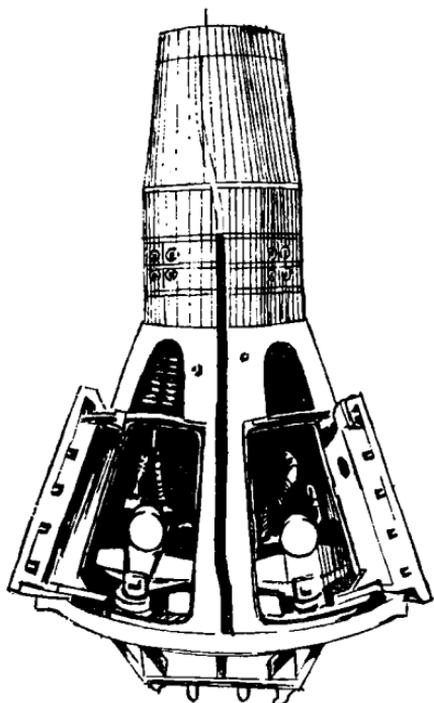


Рис. 5. Пилотируемый космический корабль «Джемини»

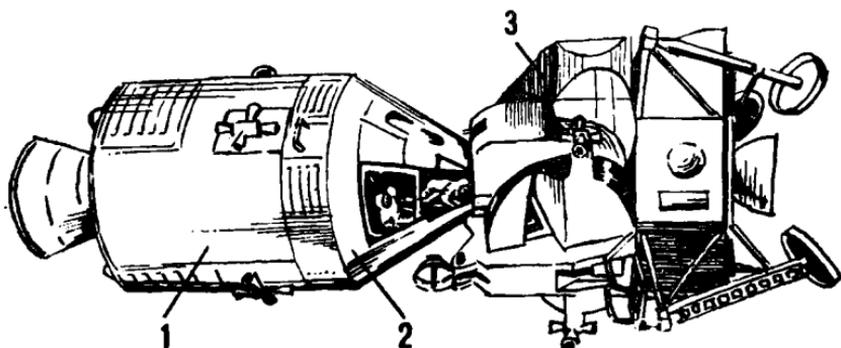


Рис. 6. Пилотируемый космический корабль «Аполлон» в варианте для посадки на поверхность Луны:

1 — двигательный отсек; 2 — отсек экипажа; 3 — лунная кабина

поверхность Луны, в состав корабля, кроме основного блока, входила лунная кабина, совершавшая мягкое «прилунение» с двумя астронавтами на борту. Вес корабля, оборудованного для высадки на Луну, составляет 43—47 т. Астронавты совершали выход в открытый космос на геоцентрической орбите, на трассе Луна—Земля, а также выход на поверхность Луны. Выход в открытый космос осуществлялся через люки отсека экипажа и лунной кабины, выход на поверхность Луны — через передний люк лунной кабины. При этом разгерметизировались все отсеки корабля.

«Скайлэб» — экспериментальная ПОС США (рис. 7). На станцию было последовательно доставлено транспортными кораблями «Аполлон» три экспедиции по три астронавта в каждой. Вес станции на орбите без транспортного корабля — 77 т. «Скайлэб» состоит из лабораторного и бытового отсеков, отсека для сбора отходов, причальной конструкции для стыковки транспортного корабля, комплекта астрономических приборов и шлюзовой камеры. ШК герметично отделена от остальных отсеков станции и позволяет совершать выход в открытый космос двум астронавтам одновременно. Во время полета астронавты неоднократно совершали выход за пределы герметизированных отсеков станции.

МТКК (проект) — многоразовый транспортный космический корабль США. Предполагаемый экипаж —

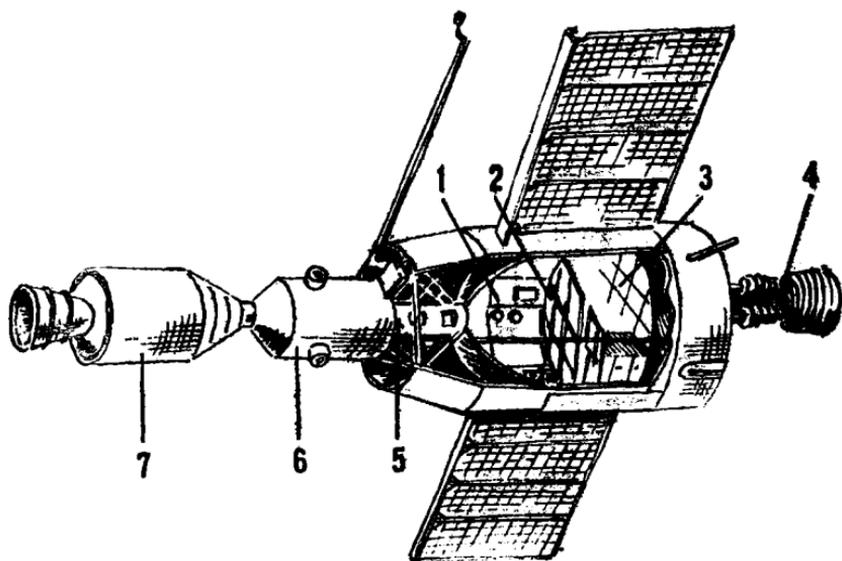


Рис. 7. Пилотируемая орбитальная станция «Скайлэб»:

1 — лабораторный отсек; 2 — перегородка; 3 — бытовой отсек; 4 — двигатель станции; 5 — шлюзовая камера; 6 — причальная конструкция; 7 — транспортный корабль «Аполлон».

три человека и специалисты до четырех человек. На рис. 8 показана схема МТКК в момент сброса на орбите полезной нагрузки. В состав МТКК входят: разгонные блоки первой ступени, топливный бак второй ступени (сбрасываемые элементы) и собственно космический корабль с полезной нагрузкой. Назначение корабля: вывод на орбиту различной полезной нагрузки (автоматические спутники, блоки ПОС и пр.), обслуживание и ремонт беспилотных космических систем, спасение экипажей ПКК и ПОС, терпящих бедствие на орбите, и пр. Максимальный вес полезной нагрузки, выводимой на орбиту, — 29,5 т, доставляемой на Землю — 11,3 т. Перечисленные выше задачи потребуют активных действий астронавтов вне герметизированных отсеков.

«Спейслэб» (проект) (рис. 9) — обитаемый орбитальный блок с экипажем 2—4 человека, рассчитанный на многократное использование. Блок доставляется на орбиту и возвращается на Землю МТКК. Максимальный

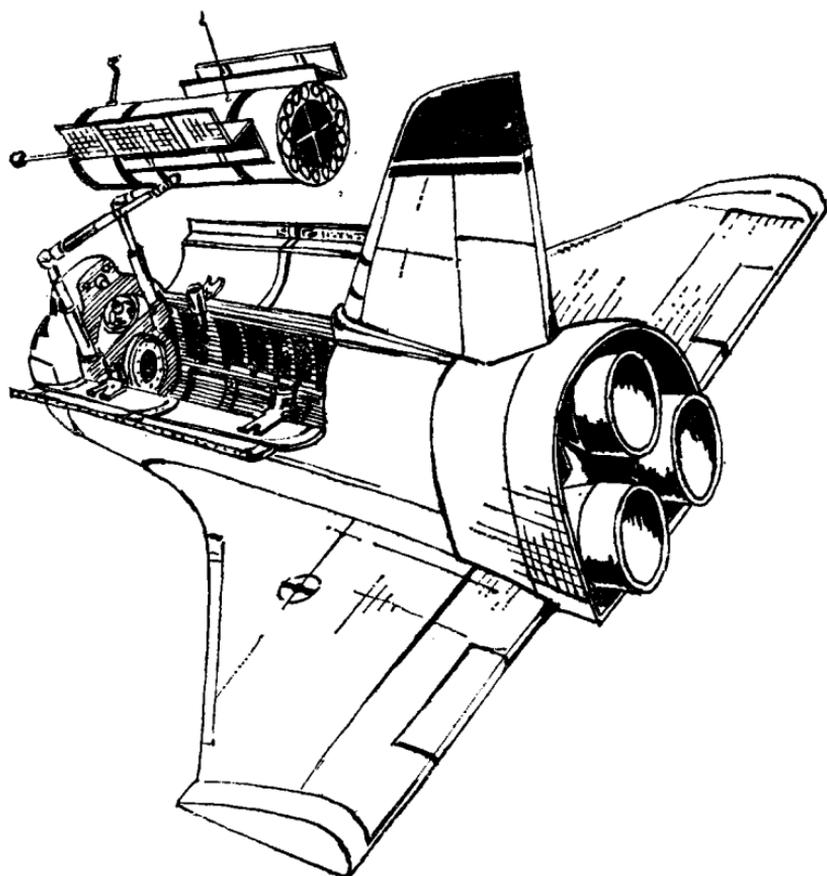


Рис. 8. Многоцелевой транспортный космический корабль с раскрытым грузовым отсеком в момент сброса полезной нагрузки

вес блока — 11 т. Назначение: проведение без отделения от МТКК комплекса научно-технических экспериментов на геоцентрической орбите. В состав блока могут входить герметизированные и негерметизированные отсеки. Планируется проведение штатных и непредвиденных работ в открытом космосе. Конструкцией предусматривается ШК с люком для выхода в космос.

Долговременная блочная орбитальная станция (про-

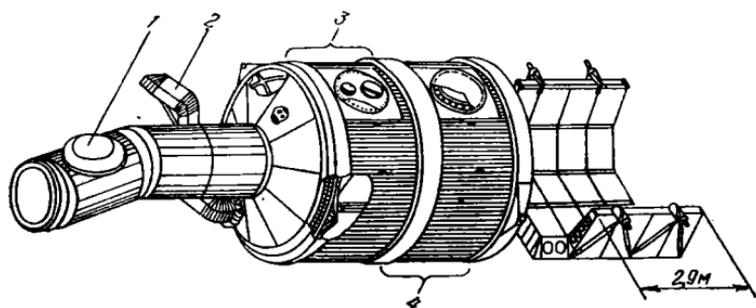


Рис. 9. Блок «Спейслэб»:

1 — люк для выхода в открытый космос; 2 — электро- и гидрокommunikации систем МТКК; 3—4 — герметизированный отсек

ект) — обитаемая орбитальная станция со сроком эксплуатации до 10 лет. Станция собирается на орбите из отдельных блоков, доставляемых МТКК. Количество блоков может быть различным: от 3 до 6, экипаж соответственно 6—12 человек. Станция предназначена для проведения комплекса научных исследований, изучения природных ресурсов Земли, эксплуатации спутниковых систем и пр. Очевидно, некоторые задачи, и в частности эксплуатация автоматических космических объектов, будут связаны с выходом в открытый космос.

Таким образом, можно сделать вывод, что деятельность человека вне пилотируемого космического объекта занимает одно из центральных мест в космонавтике.

В последующих главах мы расскажем о практических работах космонавтов в открытом космосе по программам СССР и США, методах их выполнения и технических средствах.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПКК И ПОС

Беспилотные космические аппараты (КА) — автоматические искусственные спутники Земли (ИСЗ) и станции (АС) — состоят из множества агрегатов и систем, имеющих определенное назначение и различную степень сложности. На борту ПКК или ПОС находится человек. Поэтому к их бортовым системам предъявляются особые требования, кроме того, устанавливаются дополнительные системы. Так, совершенно необходима система жизнеоб-

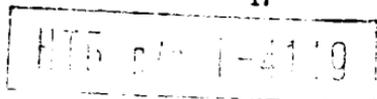
спечения, снабжающая космонавта кислородом, водой, продуктами питания и удаляющая из герметизированной кабины различного рода вредные примеси (углекислый газ, аммиак и пр.). Повышаются требования к температурно-влажностным режимам газовой среды, вибрациям, шумам, перегрузкам, к надежности функционирования бортовых систем.

ПКК и ПОС используются в народнохозяйственных и научно-исследовательских целях. Это, например, изучение природных ресурсов Земли, связь, телевидение, астрономические, астрофизические, метеорологические исследования. Применяются они и для отработки конструкции различных системных модернизаций, некоторых производственных операций и технологических процессов непосредственно в условиях космического полета.

Приведем ориентировочный перечень бортовых систем ПКК и ПОС:

- конструкция и ее элементы;
- система энергопитания;
- система ориентации и стабилизации;
- система исполнительных органов (двигатели, управляющие гироскопы, маховики и пр.);
- система радиуправления и траекторных измерений;
- система навигации и управления;
- научно-исследовательская аппаратура (полезная нагрузка);
- система жизнеобеспечения;
- система терморегулирования;
- система обеспечения спуска и посадки;
- система аварийного спасения;
- система радиосвязи;
- система обеспечения сближения и стыковки и пр.

Сочетание этих систем может изменяться в зависимости от целей полета. Это в первую очередь относится к полезной нагрузке. Например, в зависимости от назначения многоцелевой ПКК «Союз» может собираться в различных вариантах. Автономная пилотируемая астрономическая обсерватория («Союз-13») была оснащена приборами системы «Орион-2», но на ней не было системы сближения и стыковки. В эксперименте с космической сваркой корабль оснащался сварочным аппаратом, работающим в условиях космического вакуума. Эксперимент со стыковкой двух космических кораблей и переходом двух космонавтов из одного корабля в другой («Союз-4»



и «Союз-5») потребовал оснащения системой сближения и стыковки, системами разгерметизации и наддува, скафандрами и другим оборудованием. Пилотируемый космический корабль «Союз» может применяться как транспортный корабль — доставлять к орбитальным станциям экипаж, грузы и осуществлять спуск экипажа и необходимых материалов исследований на Землю («Союз-11», «Союз-14», «Союз-17», «Союз-18», «Союз-21» и др.). В этом случае корабль оборудован системой сближения и стыковки, системой перехода в орбитальную станцию и т. д., предусматривается место размещения грузов, доставляемых на Землю.

Эффективность эксплуатации бортовых систем, их надежность определяются оптимальным сочетанием деятельности человека и работы автоматических систем, оптимальным распределением функций между автоматическими системами и космонавтом. На наш взгляд, ошибочна сама постановка вопроса, что лучше: автомат или человек. Человек имеет ряд неоспоримых преимуществ перед автоматом, но в то же время автоматическая система обладает рядом качеств, более ценных по сравнению с человеком. Например, автоматические системы сохраняют свою работоспособность при ускорениях в несколько порядков больших, чем человек.

Автоматы могут работать при температурах окружающей среды порядка 1000°C, тогда как перегревы человеческого организма делают его совершенно неработоспособным. Допуски к давлению окружающей среды для человека несравненно жестче, чем для технических систем. Радиационная устойчивость электронных систем в десятки раз выше допустимых доз облучения для человека. Однако человек с его опытом, интуицией, умением соединять в единую логическую систему на первый взгляд не связанные между собой события, умением выделить более значимую на данный момент информацию и многими другими качествами представляет собой незаменимое звено в космических исследованиях. Очевидно, что в создании комплексной системы «человек—автомат», в которой недостатки одного звена компенсируются преимуществами другого, и состоит основная инженерно-психологическая задача проектирования космических объектов.

Масштабы исследований в космосе растут, растут и капиталовложения в космические программы. Так, зат-

раты на программу «Меркурий» составили 0,275 млрд. долл., на программу «Джемини» — 1,290 млрд. долл., на программу «Аполлон» — порядка 25 млрд. долл. Естественно, что подобные капиталовложения требуют повышения экономической эффективности реализуемых космических программ. А это в свою очередь самым тесным образом связано с надежностью работы бортового оборудования, с его техническим обслуживанием непосредственно в полете.

Проблема технического обслуживания — проблема достаточно сложная, и обусловлено это прежде всего тем, что надежность бортового оборудования космических объектов зависит от многих факторов полета, уровня развития науки и техники, производства и т. д. Сами условия космоса, космической среды (глубокий вакуум, космическое излучение, метеоритная опасность) снижают надежность систем космических объектов. Особенно эти факторы влияют на агрегаты и системы, расположенные на внешних поверхностях космических объектов, вне герметизированных отсеков.

Естественно, это требует периодического осмотра, профилактики, замены и ремонта систем непосредственно в открытом космосе. Например, длительное воздействие космического излучения может привести к ухудшению свойств органических материалов. Солнечные батареи, применяемые как источники электроэнергии, от воздействия солнечной радиации теряют эффективность. В результате уменьшается энергия, необходимая для бортового оборудования. Глубокий вакуум вреден для материалов, включающих «летучие» элементы, что существенно изменяет их эксплуатационные характеристики.

Продолжительность полета — один из основных факторов, влияющих на надежность бортовых систем космических объектов. Чем длительнее космический полет, тем труднее обеспечить работоспособность бортового оборудования на заданном уровне надежности. А ведь от надежной работы систем и агрегатов пилотируемого космического корабля или станции зависит безопасность экипажа.

Продолжительность пилотируемых полетов все возрастает: «Союз-9» — 424 ч; автономный полет «Союза-18» и полет с орбитальной научной станцией «Салют-4» — 1512 ч; лунные экспедиции — от 143 до 298 ч. Длительность пребывания трех экипажей на борту пилотируемой

орбитальной станции «Скайлэб» составила соответственно 28 сут., 59 сут. и 84 сут. Длительность полета первой экспедиции на ПОС «Салют-4» — 30 сут., второй — 63 сут. Таким образом, создание долговременных орбитальных околоземных, окололунных и лунных станций, организация экспедиций к планетам потребуют надежного функционирования бортовых систем в течение многих месяцев и даже лет.

Можно наглядно продемонстрировать зависимость вероятности успешного пилотируемого полета от его продолжительности при современном уровне технологии производства:

пролет Марса (длительность полета ~ 2 года) — 0,006;

пролет Венеры — 0,03;

посадка на Луну по программе «Аполлон» (длительность полета 200 ч) — 0,95;

полет корабля «Меркурий» — 0,95.

В качестве требуемой надежности для пилотируемого полета можно принять обеспечение вероятности успешного полета 0,95.

Надежность ракетно-космического комплекса может быть определена выражением:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4, \quad (1)$$

где P_1 — надежность комплекса во время запуска;

P_2 — надежность комплекса на участке выведения на орбиту;

P_3 — надежность комплекса во время орбитального полета;

P_4 — надежность комплекса во время спуска и посадки.

Если значение P близко к 100% (например, 95%), можно быть уверенным в успешном проведении космического полета. В остальных $(1-P)=R$ случаях, очевидно, необходимы дополнительные меры для обеспечения надежной работы бортового оборудования. Если принять степень надежности дополнительных средств за $P_{\text{доп}}$, то можно определить вероятность успешного полета:

$$P^* = 1 - R \cdot R_{\text{доп}},$$

где

$$R_{\text{доп}} = 1 - P_{\text{доп}}. \quad (2)$$

Какие же дополнительные меры могут повысить уровень надежности работы бортового оборудования, а сле-

довательно, безопасность экипажа и эффективность всего космического полета? Один из возможных путей решения этой проблемы — техническое обслуживание (ТО) бортового оборудования ПКК и ПОС в космическом полете.

Техническое обслуживание бортовых систем можно разделить на автоматическое, дистанционное и обслуживание экипажем.

Автоматическое ТО предполагает автоматическое распознавание отказа и переключение на резервные системы или блоки.

Дистанционное ТО может быть организовано с помощью беспилотного спутника, оснащенного манипуляторами, телекамерой и другим оборудованием. Оператор может управлять спутником с земли, с ПКК или ПОС. Техническое обслуживание экипажем предполагает, например, проведение диагностики, ремонта и послеремонтных проверок с непосредственным участием космонавта.

Каждый из этих видов ТО имеет свои положительные и отрицательные стороны. Автоматическое ТО, наиболее распространенное на сегодняшний день, связано с увеличением веса и габаритов космических объектов. Дистанционное ТО имеет свои ограничения — использование манипуляторов, запаздывание управляющих сигналов и пр. Кроме того, каждый из видов ТО может быть пригодным или непригодным в зависимости от фазы космического полета.

Например, для фазы выведения на орбиту наиболее предпочтительным является автоматическое ТО, что связано со скоротечностью процессов и особенностями размещения экипажа: космонавты находятся в спускаемом аппарате, пристегнуты к креслу, полет происходит в условиях перегрузок. ТО экипажем в этом случае сводится к переключению на резервные комплекты при отказе автоматики.

На участке орбитального полета и пребывания на поверхности (например, Луны или Марса) целесообразны дистанционное ТО и ТО экипажем. Возможность непредвиденных отказов, труднодоступность мест ремонта и многие другие факторы наиболее предпочтительным, на наш взгляд, делают ТО экипажем. Техническое обслуживание экипажем предполагает участие человека в распознавании отказа, определении степени важности и программы ремонта, выбор технических средств, необходимых

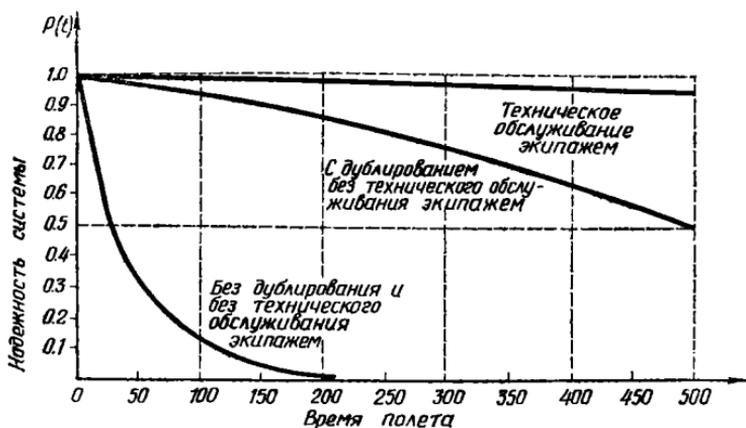


Рис. 10. Надежность СЖО при различных вариантах построения технического обслуживания

для ремонта, проведение самого ремонта и послеремонтных проверок.

На рис. 10 показана надежность типовой системы жизнеобеспечения при различных вариантах технического обслуживания.

Работы внутри герметизированных отсеков имеют свою специфику, в частности связанную с невесомостью. Однако можно в какой-то степени приблизить условия работы в герметизированных отсеках к земным условиям. Для этого созданы всевозможные средства фиксации, оборудование рабочих мест, запасные детали и инструменты, удобная для выполнения ремонтно-профилактических работ конструкция бортового оборудования и т. д.

Иное дело работы вне корабля или станции. Специфика среды, необходимость экипировки в скафандр, в отдельных случаях безопорное состояние — все это создает некоторые особенности и ограничения при техническом обслуживании и требует решения ряда проблем.

Как мы уже говорили, за бортом космического корабля или станции человек будет выполнять комплекс инженерно-технических задач и, в частности, ремонтно-профилактические работы с бортовым оборудованием и его техническое обслуживание.

Значительная часть аппаратурно-агрегатного состава бортовых систем ПКК и ПОС в той или иной степени

связана с открытым космосом, т. е. с пространством вне герметизированных отсеков космического объекта. Например, система терморегулирования основана на отдаче тепла теплоносителем в радиационных теплообменниках, расположенных на внешней поверхности корабля. Солнечные батареи (СБ) системы электроснабжения, например на ПКК «Союз», ПОС «Салют» и «Скайлэб», также располагались на внешних поверхностях. Основные СБ станции «Скайлэб» имеют размах на блоке станции 30 м. Обе СБ состоят из трех секций, смонтированных на консолях. До вывода на орбиту консоли с панелями находятся в сложенном виде и фиксируются пироболтами к корпусу станций. После вывода на орбиту батареи разворачиваются в рабочее положение. В развернутом виде каждая панель имеет размер 7×9 м, общая площадь СБ — 110 м².

Система радиосвязи также имеет множество различных антенн, устанавливаемых в рабочее положение после вывода объекта на орбиту. Это относится, например, к остронаправленной антенне космического корабля «Аполлон», занимающей рабочее положение после отделения корабля от третьей ступени ракеты-носителя «Сатурн-5». Солнечные батареи и радиотехнические антенны системы сближения и стыковки ПКК «Союз» тоже раскрываются после выведения на орбиту.

Система ориентации и стабилизации имеет связь с окружающим пространством через различного рода датчики, используемые при управлении пространственным положением корабля. Это относится, в частности, к оптическим датчикам: оптический визир ПКК «Союз»; оптический перископ, применяемый астронавтом при управлении ПКК «Меркурий»; астронавигационные приборы ПКК «Аполлон» и пр.

В открытом космосе на наружной поверхности корабля расположены двигательные установки для обеспечения поступательного перемещения и вращательного движения вокруг центра масс, а также баки с запасами горючего, окислителя и сжатых газов. Естественно, что в космическом полете могут возникнуть ситуации, требующие участия космонавта в техническом обслуживании этих систем, т. е. выхода в открытый космос.

Познакомьтесь теперь с таблицей 1. В ней дано распределение работ в открытом космосе при техническом обслуживании отдельных систем ПКК или ПОС.

Таблица 1

Система	Требования к преобладающему виду ТО	Операции, проводимые вне ПКК, %
Сближение и стыковка	Замена компонентов	50
Двигатели	Устранение утечки, замена компонентов	80
Электроника	Замена компонентов	10
Конструкция	Ремонт обнаруженных повреждений, ликвидация утечек	75
Источники электропитания	Замена компонентов	10
СЖО	Ликвидация утечек и загрязнений, замена компонентов	5

Это теоретические исследования и выводы. Но они подтверждены практикой космических полетов. Анализ отказов в ходе полетов ПКК «Меркурий», «Джемини», «Аполлон» и ПОС «Скайлаб» позволяет определить наиболее характерные неисправности, которые потенциально могли вызвать или вызвали необходимость работ в открытом космосе:

срыв метеоритно-теплозащитного экрана; установка теплозащитного полога на орбите («Скайлаб»);

принудительное раскрытие солнечной батареи непосредственно на орбите («Скайлаб»);

ослабление крепления отдельных узлов и деталей конструкции («Меркурий», «Аполлон»);

отказ механизмов сброса обтекателей («Джемини»);

загрязнение иллюминаторов и объективов оптических приборов («Аполлон», «Скайлаб»);

отказы двигателей («Джемини», «Аполлон»);

утечки газов и жидкостей («Аполлон», «Скайлаб»);

отказы в системе стыковки («Аполлон»).

Во время полета космического корабля «Меркурий-6» ослабло крепление теплозащитного экрана к корпусу спутника. Для уточнения характера неисправности мог потребоваться выход в открытый космос, однако по программе «Меркурий» выход из корабля не планировался. Руководители полета и экипаж корабля «Джемини-9» были вынуждены отказаться от стыковки, так как не произошел сброс головного обтекателя с аппарата, предназначенного для стыковки. Экипаж внес предложение

о выходе в открытый космос, чтобы перерезать электрические провода, удерживающие головной обтекатель. Однако от этих действий руководители полета отказались. В полете кораблей «Джемини» интенсивно загрязнялись иллюминаторы. Это мешало наблюдениям и фотографированию из корабля. Загрязнение было удалено астронавтом, вышедшим из корабля.

Во время полета кораблей «Аполлон» также загрязнялись оптические приборы и иллюминаторы. При полете корабля «Аполлон-17» астронавт Эванс вышел в открытый космос. Осматривая корпус двигательного отсека, он обнаружил отслоение верхнего покрытия, обожженного струей истекающих из двигателей горячих газов.

В ходе полета орбитальной станции «Скайлэб» наиболее ярко проявились возможности человека по выполнению ремонтных операций и технического обслуживания в открытом космосе. Анализируя деятельность экипажа станции «Скайлэб», можно составить циклограмму операций технического обслуживания и ремонта в открытом космосе:

- подготовка к выходу за пределы гермоотсеков;
- выход в открытый космос;
- перемещение к месту профилактического обслуживания или ремонта;
- осмотр агрегатов и систем их проверки;
- выполнение необходимых операций;
- проверочные операции после выполнения работ;
- перемещение к плюзовой камере;
- вход в герметизированные отсеки корабля или станции.

Эта схема в значительной мере упрощена. В каждом конкретном случае могут быть свои особенности, значительно изменяющие последовательность действий. Например, может потребоваться фиксация относительно объекта обслуживания, монтажно-демонтажные операции, транспортировка запасных элементов и пр. При перемещении по внешней поверхности корабля, станции или другого космического объекта космонавт может выполнить такую важную операцию, как осмотр внешней поверхности. Это необходимо при возникновении утечек газов из герметизированных отсеков или жидкостей, например из контура системы терморегулирования.

Таким образом, осмотр и ремонт — это важные составные части технического обслуживания и, в частности, обслуживания, связанного с работами вне космического

корабля. Осмотр, замена или ремонт солнечных батарей, механизмов сброса или раскрытия, стыковки, удаление загрязнений с оптических поверхностей, устранение отказов агрегатов и узлов космического корабля, ремонт антенн и приводов, определение места утечки и осмотр внешней поверхности — вот далеко не все задачи технического обслуживания, решаемые за бортом, в открытом космосе.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Наряду с исследованиями в космосе с помощью пилотируемых космических объектов не менее широко применяются беспилотные космические объекты, причем беспилотных объектов запускается гораздо больше, чем пилотируемых.

Автоматы в космосе выполняют роль разведчика, по следам которого может отправиться человек. Так было с исследованием околоземного космического пространства, так было с организацией экспедиций на Луну. Действительно, после запуска первого искусственного спутника Земли, биспутников, после тщательной подготовки, испытаний последовал полет в космос первого посланца Земли, гражданина Советского Союза Ю. А. Гагарина.

Дорогу человеку на Луну также проложили автоматы. Автоматические станции «Луна», «Зонд» — изучение окололунного пространства и поверхности Луны, мягкая посадка на поверхность Луны, комплексные исследования с селеноцентрической орбиты, сбор образцов лунного грунта с доставкой на Землю. Полеты американских автоматических аппаратов для изучения Луны: «Рейнджер», «Лунар орбитер», «Сервейор». И наконец, после пилотируемого облета Луны — высадка астронавтов на ее поверхность.

В настоящее время к планетам Солнечной системы периодически отправляют межпланетные автоматические станции «Венера», «Марс», «Пионер», «Маринер». Автоматы и впредь будут применяться как первые исследователи, особенно в неизученных или малоизученных средах, средах, не пригодных для жизнедеятельности человека.

Сейчас ИСЗ и КА широко используются для научных

исследований, для проверки новых технических решений (модернизация систем управления, испытание новых двигателей и пр.), для изучения природных ресурсов Земли и т. д.

По назначению ИСЗ и КА можно классифицировать следующим образом:

- исследовательские спутники;
- связные спутники;
- метеорологические спутники;
- геодезические спутники;
- спутники для исследования природных ресурсов Земли;
- спутники для испытаний бортового и наземного оборудования;

- биоспутники;

КА для исследований Луны и планет.

ИСЗ и КА на своем борту несут аппаратуру, предназначенную для широких и многогранных исследований и наблюдений. Зачастую это уникальная, сложная и весьма дорогостоящая аппаратура. Кроме полезной нагрузки (аппаратура целевого назначения), ИСЗ имеют те же системы, что и любой управляемый космический объект, т. е. систему ориентации и стабилизации, систему исполнительных органов (двигатели, управляющие гироскопы, маховики, элементы гравитационной стабилизации и пр.), системы электропитания, терморегулирования, радиотехническую систему и многие другие. Но в них отсутствуют системы, необходимые для пребывания на борту человека.

Естественно, что как в служебных системах, так и в аппаратуре целевого назначения могут возникать различные неисправности. В практике космических исследований были случаи, когда самые незначительные отказы на борту ИСЗ или КА делали их или вообще непригодными для эксплуатации или резко снижали эффективность их практического использования. Это прежде всего относится к элементам, которые начинают функционировать после выведения на орбиту: солнечные батареи, антенны, элементы гравитационной системы ориентации и стабилизации и пр.

Аварийное состояние систем ИСЗ может потребовать его замены, а это связано с внеочередным запуском, с дополнительными расходами. Если появится возможность проведения ремонтных работ на орбите, эти расходы будут сокращены, а сам ремонт на орбите может оказаться экономически эффективным.

На орбите создаются системы из автоматических спутников, обеспечивающих связь, навигацию, метеорологическую службу. Например, система из пяти спутников «Транзит» помогает судам торгового флота и океанографическим судам определять свои координаты. Из общего числа спутников этого класса часть выводилась на орбиту для замены вышедших из строя. Навигационные и геодезические спутники, спутники для отработки бортового оборудования используют гравитационную систему ориентации и стабилизации. Подобной системой оснащен американский спутник ATS, предназначенный для испытаний бортового и наземного оборудования перспективных метеорологических, связных и навигационных спутниковых систем и научных исследований. Такие системы ориентации и стабилизации не требуют постоянного расхода рабочего тела (сжатые газы, жидкое топливо), хранящегося на борту спутника. В системе имеется четыре полых стержня, образующихся после вывода спутника на орбиту путем «протаскивания» через фильеру сматываемой с барабана напряженной ленты. Стержни образуют как бы крест. Угловое расстояние между стержнями и их длина регулируются. Два аналогичных стержня служат для демпфирования либраций. Эти системы имеют значительное количество подвижных механических узлов. Отказы в них могут привести к снижению эффективности или из-за потери ориентации вообще к выходу спутника из строя.

Характерной особенностью межпланетных космических аппаратов, как и некоторых ИСЗ, эксплуатирующихся на высоких (около 11 000 км) орбитах, является повторный старт после выведения на промежуточную геоцентрическую орбиту. Во время полета на начальной геоцентрической орбите проводятся проверка и подготовка бортового оборудования к повторному старту для перевода на целевую траекторию. Именно в этот период, период нахождения аппаратов на промежуточной геоцентрической орбите, возможно вмешательство человека. Он может проверить и отремонтировать вышедшую из строя бортовую аппаратуру. Так, например, из-за выхода на нерасчетную траекторию американские специалисты были вынуждены отказаться от эксплуатации ряда ИСЗ (ATS-IV, INTELSAT-2, 3 и др.). Если бы на орбите вокруг Земли находился пилотируемый корабль (например, типа

МТКК), космонавты могли бы перевести спутник на расчетную орбиту.

В практике космических полетов были случаи, когда из-за отказов в работе силовой установки ракет-носителей для выведения ИСЗ на расчетную орбиту использовалась двигательная установка самого спутника. Это отражалось на дальнейшей программе полета, так как сокращались бортовые запасы горючего и окислителя. Кроме того, могут произойти утечка, полная выработка запасов топлива при сохранении работоспособности других бортовых систем. И в этих случаях можно было бы дозаправить ИСЗ и другие беспилотные космические объекты непосредственно в космическом полете.

Проекты будущих автоматических космических объектов уже на стадии разработок предусматривают их обслуживание человеком непосредственно на орбите.

Так, например, проектируется вывод с помощью МТКК спутника LST (обсерватории для астрономических наблюдений весом 11 т, диаметром 3,6 м) на орбиту высотой 610 км. После 2,5-летней эксплуатации для профилактического ремонта спутник будет возвращаться на Землю также с использованием МТКК. Более длительная эксплуатация без ремонта нерентабельна, а сокращение срока эксплуатации потребует дополнительных полетов МТКК, что связано с высокими затратами. Поэтому в эксплуатационный период предусматривается техническое обслуживание спутника космонавтами, доставляемыми к нему МТКК. Планируются три вида обслуживания:

1. Доставка спутника в отсек полезной нагрузки МТКК. При этом необходимо складывание солнечных батарей, антенн и других развернутых на орбите элементов конструкции спутника.

2. Захват спутника манипулятором МТКК с фиксацией его на некотором расстоянии от корабля.

3. Размещение спутника на рабочем столе МТКК.

Все три вида обслуживания потребуют активных действий человека в открытом космосе.

Согласно первому проекту корпус спутника должен быть герметизированным, с искусственной атмосферой, чтобы космонавты при выполнении операций технического обслуживания могли работать без скафандров. Второй проект (он считается более предпочтительным) предусматривает изготовление спутника с негерметизирован-

ным корпусом; при его обслуживании космонавты будут работать в скафандрах.

Активное вмешательство человека может потребоваться и при отказе на ИСЗ систем передачи информации на Землю. Тогда космонавт может демонтировать с ИСЗ носитель информации и доставить его на Землю. Подобный эксперимент проводился во время полета ПКК «Джемини-10», когда астронавт, выйдя в открытый космос, перешел на беспилотный объект и демонтировал прибор с научной информацией. При этом ПКК «Джемини-10» был на расстоянии нескольких метров от объекта.

Обслуживание автоматических объектов и систем на орбите ставит новые задачи и прежде всего задачи обнаружения объекта на орбите, сближения или стыковки с ним, перехода космонавта к объекту обслуживания, транспортировки необходимого для работ оборудования и, наконец, осуществления проверок, профилактических или ремонтных операций. В этой многогранной деятельности человека в открытом космосе значительное место занимает проблема жизнедеятельности в условиях безопорного состояния.

Таким образом, можно сделать вывод, что обслуживание автоматических ИСЗ, космических аппаратов и спутниковых систем потребует активной деятельности человека на орбите. К таким работам прежде всего можно отнести профилактическое техническое обслуживание, съем полезной информации, осмотр и оценку эксплуатационной пригодности, непредвиденный ремонт, перевод на рабочие орбиты, транспортировку, дозаправку и пр.

МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫЕ И СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ НА ОРБИТЕ

Если проследить ход развития космических исследований, то можно ясно увидеть тенденцию роста веса и габаритов космических аппаратов.

Это вполне объяснимо, так как с расширением исследований увеличивается объем и вес полезной нагрузки, а следовательно вес и габариты конструкции космических летательных аппаратов и ракет-носителей.

Задачи будущего требуют создания на орбите еще более тяжелых космических объектов, еще более круп-

ногабаритных сооружений. К таким объектам в первую очередь можно отнести межпланетные корабли, блочные долговременные орбитальные станции, станции-заправщики, крупногабаритные (более 30 м в диаметре) радио- и оптические телескопы, крупноплощадные солнечные батареи. Например, одной из перспективных программ NASA является вариант космического корабля, собираемого на орбите из отдельных блоков. Поблочный вывод на орбиту и дальнейшее снабжение корабля обеспечивается МТКК. Создание долговременной орбитальной станции также предусматривает сборку ее на орбите из отдельных блоков, доставляемых на монтажную орбиту МТКК (1—2 блока станции за полет).

Естественно, монтажно-демонтажные и сборочные работы потребуются при выполнении обширного круга задач в открытом космосе:

- техническое обслуживание, ремонт пилотируемых и автоматических космических объектов;

- сборка малогабаритных и крупногабаритных космических объектов;

- техническое снабжение пилотируемых станций;

- спасение экипажей;

- обслуживание научной аппаратуры и экспериментальные исследования.

Действительно, во время ремонта могут потребоваться демонтажные операции отказавших блоков и узлов с их последующим монтажом.

В будущем, например, диаметр антенн может достигать 30—45 м. Подобную антенну придется монтировать на орбите в условиях космического пространства. В этом случае, по-видимому, наиболее оптимальна модульная конструкция системы. Отдельные модули будут собираться в одно целое, а значит, необходимо выполнить операции по транспортировке блоков к месту монтажа, их соединению и юстировке. Например, 45-метровую антенну можно собрать из 240 панелей. Техника монтажа в какой-то мере необычна, так как используется «эскалаторный» принцип. Этот принцип заключается в том, что космонавт «стоит» на платформе (рис. 11) и начинает сборку с округлой секции, передвигаясь по мере надобности по рельсовой установке. Закончив таким образом один ряд, он переходит ко второму и т. д. Имитация подобного рода сборочных операций в условиях гидросреды показала, что космонавт способен эффективно проводить необ-

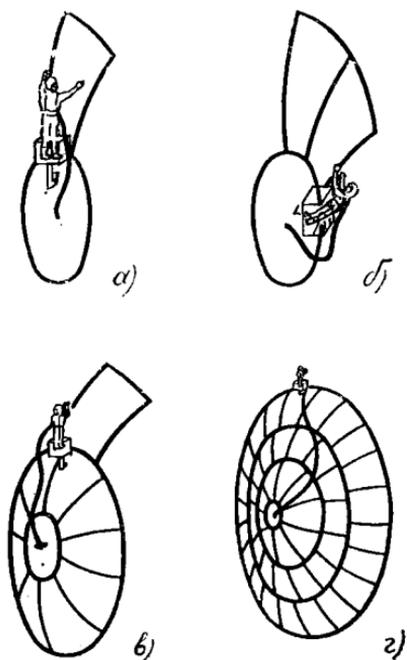


Рис. 11. Последовательность сборки антенны:

а — начало сборки; б — сборка первого ряда; в — сборка второго ряда; г — конец сборки

ходимый монтаж. В процессе испытаний оператор в скафандре должен был поднять панель, наклонить ее под углом 90° , повернуть на угол 90° и вставить на соответствующее место на округлой панели. Некоторые результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2

Размер панели, м	Среднее время, затрачиваемое на монтаж, мин
1,5 × 1,5	0,54
1,2 × 2,4	0,65
2,25 × 3	0,80

Эти данные весьма ценны при расчете общего времени монтажа подобной антенны. Используя временные затраты, можно составить общую циклограмму работы космонавта при сборке.

Испытания наглядно показали, что при выполнении подобных работ потребуются скафандр, система жизне-

обеспечения, установка перемещения космонавта, системы фиксации космонавта и необходимых средств, отработанная методика и техника монтажа.

Одна из важнейших операций сборочных работ в космосе — транспортировка отдельных модулей к месту монтажа. При выполнении этой операции космонавту придется перемещаться в опорном (при контакте с какой-нибудь поверхностью) и безопорном пространстве. Для работы в безопорном пространстве нужны индивидуальные установки перемещения космонавта.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ АППАРАТУРЫ

Многосторонние исследования в космическом полете требуют различного научно-исследовательского оборудования на борту космического объекта. Это оборудование размещается как внутри герметизированных отсеков ПКК, ПОС и автоматических ИСЗ, так и на их наружных поверхностях.

К аппаратуре, размещаемой в открытом космосе, можно отнести приборы для изучения метеорной эрозии и загрязнения поверхностей, для исследования космических лучей и излучения звезд, приборы для спектрографирования земной поверхности. Кроме того, в ряде космических полетов исследовалось влияние условий полета на различные конструктивные материалы. Научно-техническую аппаратуру выносят в открытый космос, если ее нельзя размещать в герметизированных отсеках или, например, если нужно удалить прибор от корпуса космического объекта, чтобы исключить его влияние на результаты исследований.

Анализ планируемых в космических полетах экспериментов показывает, что часть из них требует активных действий человека в открытом космосе. Чтобы выяснить его функции за пределами космического корабля, был проведен анализ 1212 научно-технических экспериментов, которые планировались NASA на 1968—1980 гг. для ПКК, совершающих полеты на геоцентрических орбитах. В перечень изучаемых экспериментов были включены:

- астрономические;
- биологические;

исследования по изучению природных ресурсов Земли, физики космоса;
метеорологические исследования;
исследования средств связи;
эксперименты, связанные с испытаниями новой космической техники и использованием орбитальных систем;
исследования в области космической медицины.

Из 1212 экспериментов около 500 были проанализированы на предмет выявления функций человека внутри ПКК и при выходе в открытый космос. Были определены следующие функции космонавта:

установка и развертывание научного оборудования;
испытание и проверка научного оборудования;
нивелировка и калибровка;
управление работой аппаратуры;
перемещение грузов, контейнеров с результатами научных наблюдений;
снятие и замена блоков;
ремонт.

Причем 56% от общего количества операций приходится на работы в открытом космосе. В частности, это операции, связанные с астрономическими исследованиями и изучением природных ресурсов Земли. Медицинские и биологические исследования требуют соответственно лишь 5 и 22% работ в открытом космосе.

В таблице 3 приводятся научно-технические эксперименты, связанные с работами в открытом космосе.

Только работы с рентгеновским фокусирующим телескопом могут потребовать выполнения нескольких операций в открытом космосе:

1. Устранение неисправностей после развертывания элементов конструкции в космосе и пр.

2. Юстировка с помощью лазерных систем.

3. Подсоединение контрольной аппаратуры, системы ориентации датчиков, солнечных батарей и другие работы.

В ходе выполнения программы «Скайлэб» были широко проведены эксперименты с комплектом научной аппаратуры для изучения Солнца и других небесных тел. Управление комплектом проводилось из внутренних герметизированных отсеков орбитальной станции. Обслуживание комплекта требовало работ астронавта в открытом космосе — извлечение кассет с результатами фотосъемок, транспортировка их во внутренние отсеки станции и уста-

Область исследований	Эксперименты
Астрономические	Однометровые телескопы; комплект для изучения Солнца (90-сантиметровый солнечный телескоп); рентгеновский фокусирующий телескоп; 10-километровый интерферометр
Биологические	Захват микроорганизмических культур на околоземной орбите; воздействие космических условий на споры бактерий; воздействие космических условий на приматов; многоцелевые биологические установки
Связь и навигация	Сборка 30-45-метровых антенн и крупногабаритных энергетических установок
Физические	Исследования физики космоса, свечения восходов и заходов
Отработка технологических операций на орбите	Сборка больших конструкций; орбитальных станций вокруг Земли

новка новых кассет с пленкой. Астронавты должны были выполнить следующие операции:

- подготовительные работы, разгерметизация шлюзовой камеры, открытие люка и выход в открытый космос;
- перемещение с помощью поручней к рабочему месту;
- подготовка рабочего места;
- демонтаж кассет;
- перемещение к шлюзовой камере;
- вход в шлюзовую камеру, закрытие люка, наддув камеры;

переход в отсеки станции.

На месте предполагаемых работ предусмотрены три основных рабочих места: «центральное», «периферийное» и у ШК. Для замены кассет в космос должны выйти два астронавта. Они выходят через люк ШК по очереди (кислородное питание осуществляется через трубопровод фала от СЖО орбитальной станции). Один астронавт остается у люка ШК, а другой перемещается по конструкции станции. Он перемещается с помощью рук по поручням, расположенным на внешней обшивке станции. На рабочих местах имеются фиксаторы для ног, чтобы астро-

навт, освободив руки, мог извлечь кассеты. При этом для замены очередной кассеты на «центральной» рабочем месте астронавт должен поворачивать комплект астроприборов. Здесь производится смена четырех кассет. Для смены двух кассет на «периферийном» рабочем месте астронавт «поднимается» к рабочей площадке по лестнице. Кассеты с отработанной пленкой транспортируются второму астронавту с помощью специальных манипуляторов для обслуживания рабочих мест. Также передаются и кассеты с неэкспонированной пленкой. Для смены шести кассет два астронавта должны выполнить 150 операций в течение двух часов (по расчету). Третий член экипажа при выполнении этих работ находится внутри ПОС у пульта, чтобы контролировать работу бортовых систем и подстраховать находящихся в космосе астронавтов.

Запасным вариантом транспортировки кассет предусматривалось использование петлеобразной веревки, перетягиваемой вручную.

Окончательный этап — доставка пленок с результатами научных наблюдений на Землю с помощью транспортного корабля снабжения.

По программе «Джемини» был запланирован и частично проведен эксперимент с улавливанием метеорных частиц и микроорганизмов. Научное оборудование (держатель с различными ловушками, а также с биологическими образцами для исследования влияния на них условий космического полета) устанавливалось на беспилотном объекте «Аджена» в районе стыковочного узла.

Схемой выполнения эксперимента предусматривалось, что после стыковки пилотируемого спутника «Джемини» с беспилотным объектом «Аджена» астронавт выходит в открытый космос и раскрывает створки держателя, сложенные на участке выведения на орбиту. В одном из последующих полетов другой астронавт после стыковки демонтирует держатель во время работ за пределами корабля и доставляет его в корабль, а потом на Землю. Эксперимент с такой технологией, но без стыковки был выполнен при полете ПКК «Джемини-10».

Таким образом, можно сделать вывод, что как в проведенных, так и в перспективных научных исследованиях с помощью пилотируемых и беспилотных средств работа человека в открытом космосе занимает одно из центральных мест.

ОКАЗАНИЕ ПОМОЩИ ЭКИПАЖАМ ПКК В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ; СМЕНА ЭКИПАЖЕЙ

Статистика пилотируемых полетов показывает, что, несмотря на повышение надежности бортового оборудования, существует вероятность появления неисправностей, ставящих под угрозу жизнь космонавта. Мы уже упоминали об отказах во время пилотируемых полетов КК «Джемини-8» и «Аполлон-13». В некоторых полетах ПКК «Аполлон» различного рода неисправности усложняли процесс стыковки основного блока корабля с лунной кабиной. При полете орбитальной станции «Скайлэб» в двигательной установке транспортного корабля «Аполлон» произошла утечка компонентов топлива. Неисправность носила столь серьезный характер, что было принято решение о подготовке к старту модифицированного корабля спасения для эвакуации экипажа с борта станции. И только после тщательных проверок на Земле и отработки на тренажерах методики схода с орбиты это решение было отменено.

Эти примеры показывают, что операции оказания помощи экипажам ПКК на орбите не надуманны, а вполне реальны. Такие характерные неисправности, как отказ двигательных установок, систем ориентации и стабилизации, разгерметизация гермоотсеков, отказ системы жизнеобеспечения и терморегулирования ПКК и другие неисправности в транспортных кораблях снабжения, пристыкованных к орбитальным станциям, могут потребовать срочных мер по эвакуации экипажа с борта объекта и последующей доставки на Землю.

В настоящее время существует несколько концепций, предусматривающих спасение космонавтов в полете:

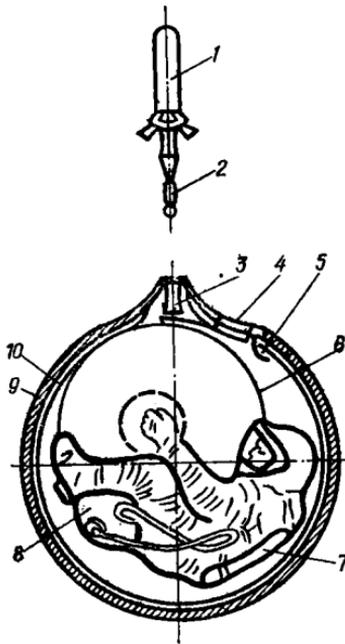
1. Наличие на борту индивидуальных средств спасения.

2. Наличие на орбите, близкой к орбите ПКК или ПОС, специального корабля спасения.

3. Запуск с Земли корабля спасения при возникновении нештатной ситуации на ПКК или ПОС.

В первом случае средства спасения размещаются на борту пилотируемого орбитального объекта. На рис. 12 показана конструкция такого аппарата. Технология его практического применения заключается в следующем. При возникновении нештатной ситуации на орбите космонавт

Рис. 12. Аппарат индивидуального спасения:



1 — тормозной двигатель твердого топлива; 2 — хвостовик двигателя; 3 — рукоятка ориентации двигателя; 4 — иллюминатор; 5 — застежка «молния»; 6 — внутренняя оболочка; 7 — парашют; 8 — баллон со сжатым кислородом; 9 — абляционное покрытие; 10 — внутреннее покрытие

в скафандре с СЖО должен разместиться внутри аппарата, подготовить его к спуску на Землю, отойти от аварийного объекта, сориентировать его, включить тормозной двигатель, обеспечив сход с орбиты, и приземлиться на парашюте. Спасение с применением такого рода аппаратов требует от космонавта выполнения операций в условиях открытого космоса.

К средствам второго типа относится проект космического корабля спасения, предназначенного для оказания помощи экипажу при полете к Луне. Технология использования корабля спасения поясняется рис. 13. Применение подобного проекта существенно экономит время от момента возникновения нештатной ситуации до эвакуации экипажа с корабля. Эвакуация может осуществляться через герметизированные внутренние переходы, образованные после стыковки кораблей, или через открытый космос, если стыковка невозможна (отказ стыковочного узла, некомпенсируемое вращение и пр.).

Примером третьего варианта спасения является программа эвакуации экипажа со станции «Скайлэб». При нештатной ситуации спуск на Землю совершается в тран-

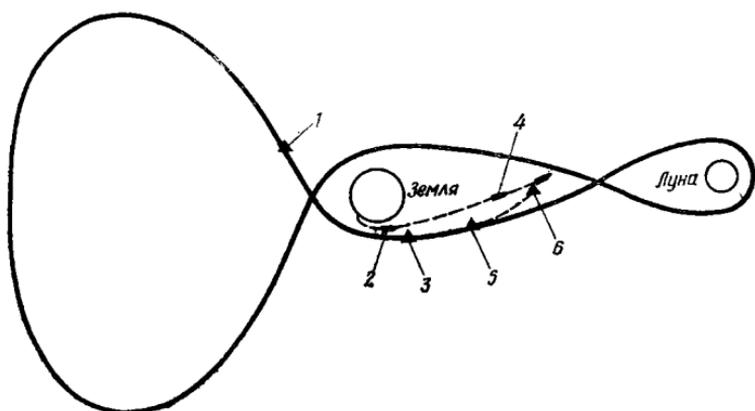


Рис. 13. Схема применения спасательного корабля:

1 — спасательный корабль на орбите ожидания; 2 — запуск лунного корабля; 3 — СК в момент запуска ЛК; 4 — ЛК в момент возникновения аварии; 5 — СК в момент аварии на ЛК; 6 — встреча СК и аварийного ЛК

спортом корабле «Аполлон», пристыкованном к станции. Если использование транспортного корабля невозможно (возникновение неисправностей в системах самого транспортного корабля), с Земли должен быть запущен спасательный корабль. Спасательный корабль мог пристыковаться к боковому (второму) стыковочному узлу причальной конструкции. Характерно, что спасательный корабль является модификацией транспортного корабля «Аполлон». На переоборудование его в спасательный вариант нужны всего одни сутки.

Существует проект спасательного корабля на основе ПКК «Джемини», носящий название «Биг Джемини». Модифицированный корабль рассчитан на спасение трех астронавтов.

Одной из задач МТКК является спасение персонала обитаемых орбитальных объектов. Способность маневрирования МТКК с изменением угла наклона орбиты и короткие сроки подготовки к очередному старту (около 14 суток с момента возвращения на Землю) значительно увеличивают возможности спасения экипажа. В частности, сокращается время пребывания экипажа на орбите после возникновения нештатной ситуации.

Переход в спасательный корабль, осуществляемый без взаимной стыковки объектов, предусматривает такую важную операцию, как перемещение в безопорном пространстве. Но может случиться, что члены экипажа травмированы. В такой обстановке операция перемещения заменяется операцией транспортировки пострадавшего космонавта. Для перемещения и транспортировки потребуются индивидуальные средства. Эти же средства будут нужны при возникновении нештатных ситуаций технического характера или потере работоспособности космонавтами (бессознательное состояние, дезориентация и пр.), находящимися в открытом космосе.

Как видите, выход в открытый космос имеет большое значение при выполнении спасательных работ на орбите.

ТРАНСПОРТИРОВКА ГРУЗОВ

Итак, в открытом космосе космонавты выполняют самые разнообразные задачи. Это и техническое обслуживание пилотируемых и беспилотных космических объектов, и монтажно-демонтажные и сборочные работы, и оказание помощи на орбите, и обслуживание научной аппаратуры. Выполнение этих задач связано не только с перемещением человека, но и с транспортировкой различного оборудования. Например, научные исследования в области астрономии, биологии, физики космоса, навигации и связи, обслуживание орбитальных станций и сборка больших конструкций насчитывают 53 операции с транспортировкой грузов на расстояние до 18 м, а 39 — с транспортировкой грузов массой до 40 кг.

Эксперимент по улавливанию метеорных частиц на орбите, а также по изучению влияния условий космоса на микроорганизмы, проводимый по программе «Джемини», потребовал транспортировки научного оборудования массой около 3,2 кг. Астрономические наблюдения по программе «Скайлэб» были также связаны с транспортными операциями в открытом космосе, в ходе которых астронавты перенесли около 700 кг грузов.

Съемное оборудование, кассеты с пленкой, ловушки, держатели, кинокамеры, вышедшие из строя блоки, инструменты, монтажные детали и пр.— далеко не полный перечень транспортируемого оборудования. Все это оборудование имеет разные весовые и габаритные характеристики, а следовательно, разные приспособления для

транспортировки, и в большинстве случаев требует специальных средств фиксации.

Транспортировка грузов зачастую самым тесным образом связана с перемещением человека. В зависимости от условий и конкретной задачи перемещение его может происходить при контакте с поверхностью космического объекта или в безопорном пространстве. Первый опыт перемещения в безопорном пространстве был получен в процессе выхода советского космонавта А. А. Леонова. Перемещение по поверхности ПКК с помощью поручней было выполнено при полете ПКК «Союз-4» и «Союз-5» во время перехода двух космонавтов из одного корабля в другой.

Транспортировка грузов может осуществляться тремя методами:

непосредственно самим космонавтом при перемещении в контакте с поверхностью космического объекта;

с помощью различного рода устройств и манипуляторов;

с использованием реактивных устройств перемещения в безопорном пространстве.

Первый метод прост, но неудобен, так как руки космонавта заняты перемещением и переносимые грузы необходимо фиксировать к скафандру.

Транспортировка с помощью манипулятора применялась при переносе кассет с пленкой из комплекта астрономических приборов в станцию «Скайлэб». Три манипулятора массой по 13 кг каждый размещались у люка ШК и обеспечивали механическую связь с рабочими местами. Расстояние транспортировки около 9 м. В конструкции и принципе транспортировки использован эффект образования стержня при сматывании предварительно напряженной металлической ленты. Две ленты, сматываясь с барабана, при выходе из кассеты скручиваются в трубки, причем одна трубка оказывается внутри другой. Длина стержня около 8,2 м, процесс выдвигания и втягивания длится около 1 мин. К концу лент стержней крепится транспортируемый груз.

Транспортировка грузов с применением реактивных устройств значительно расширяет диапазон перемещения грузов и маневренность их доставки. Эти устройства скорее всего будут использоваться при сборке больших конструкций на орбите. Сборка модульных объектов или составных конструкций может осуществляться выводом на

орбиту отдельных блоков с дальнейшим их соединением в единую конструкцию. Известно, что вывод на орбиту с помощью ракет-носителей осуществляется с заданной точностью. Таким образом, выводимые на орбиту блоки будут находиться в определенной зоне. Сборка окончательной конструкции, очевидно, потребует обнаружения блоков в этой области, сближения с ними и транспортировки их к месту монтажа. Это сложная инженерно-техническая задача.

Во время работ в открытом космосе и при открытых люках ПКК были случаи потери различного оборудования. Например, при полете «Джемини-10» астронавты потеряли кинокамеру. Утерянная аппаратура может содержать ценные научные наблюдения (кассеты, кино- и фотокамеры и пр.). Для ее поиска также потребуются транспортировочные операции с применением реактивных устройств.

На орбите, кроме полезных космических систем, находится большое количество практически ненужных объектов. Это, например, осколки разрушившихся ступеней ракет-носителей, спутников. В космос выбрасывалось оборудование, ставшее ненужным после проведения тех или иных работ. Например, при полете ПКК «Джемини-12» выброшено за пределы корабля около 32 кг различных предметов. Находясь на достаточно высоких орбитах, они имеют длительный период существования. С ростом количества такого рода объектов будет расти угроза столкновения с ними на орбите. Поэтому следует ожидать, что проблема «очистки» космоса займет определенное место в космонавтике, а эта задача также тесно увязывается с операциями по транспортировке грузов. Вполне очевидно, что для перемещения в безопорном пространстве тела той или иной массы к нему должна быть приложена сила и, в частности, сила тяги ракетного двигателя. При этом с точки зрения безопасности, требований монтажа и т. д. необходимо обеспечить ориентацию и стабилизацию транспортируемого груза.

Достаточно высокие требования к точности ориентации, стабилизации и относительным скоростям причаливания будут предъявляться и при организации разгрузочно-погрузочных работ в системе «транспортный корабль снабжения — орбитальная станция» через открытый космос.

Итак, организация транспортировочных работ в открытом космосе — одна из важнейших сторон деятельности космонавта на орбите.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Выход человека в открытый космос необходим для проведения целого комплекса экспериментальных исследований. Можно перечислить некоторые из них:

испытания скафандров различной модификации;

испытания различного инструмента для работ вне космического корабля;

испытания ремонтпригодности различных систем, их конструктивного исполнения, облегчающего задачу технического обслуживания, оценка оборудования «рабочих площадок» для проведения ремонтных и профилактических работ;

исследования и оценки различных типов установок и средств перемещения космонавта (реактивные устройства, фалы, поручни, фиксаторы и пр.).

Например, во время полета ПКК «Восход-2», «Союз-4» и «Союз-5» оценены методы маневрирования в беспорном пространстве и сближения с кораблем с использованием фала, методы перемещения по внешней поверхности корабля с помощью поручней и фиксаторов, а также оценены методики различных способов перемещения. Прошли испытания скафандры для работ в открытом космосе и системы жизнеобеспечения.

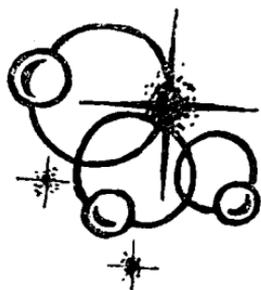
Перед осуществлением посадки на Луну скафандр «лунной» модификации был испытан в открытом космосе в ходе полета ПКК «Аполлон-9». По программе «Джемини» был испытан инструмент для работ в открытом космосе в стандартном и специальном исполнении, оборудование «рабочей площадки» для проведения ремонтных операций, устройства перемещения астронавта в беспорном пространстве. Астронавты ПОС «Скайлэб» установили на ее наружной поверхности контейнер с различными образцами бортового оборудования, который можно было бы демонтировать и доставить на Землю для изучения длительного воздействия условий космического полета. В ходе полета станции испытывались образцы теплозащитных

материалов в открытом космосе, куда их доставляли астронавты.

В дальнейшем на орбите предполагаются настолько сложные и грандиозные работы, что испытания различных систем и агрегатов в условиях реального космического полета будут просто необходимы.

К такого рода экспериментальным исследованиям относится испытание сварочного агрегата в условиях космического вакуума на борту ПКК «Союз-6».

Примером экспериментальных исследований в открытом космосе являются также эксперимент на борту орбитальной станции «Скайлэб» по оценке различного типа установок перемещения в безопорном пространстве.



СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТ КОСМОНАВТА В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ

Когда мы говорим: «Космонавт вышел в космическое пространство» — это далеко не означает, как мы себе представляем на Земле, выход в другое, более просторное помещение или, скажем, на улицу. Чтобы космонавт мог покинуть герметические отсеки ПКК или ПОС, ему нужны специальные технические средства: скафандр с системой жизнеобеспечения, система шлюзования, устройства для перемещения в открытом космосе, инструмент, фиксаторы и т. д. Разработка этих средств — сложная инженерно-техническая задача, так как они должны надежно функционировать в условиях космического пространства, хорошо сочетаться с возможностями и способностями человеческого организма, иметь небольшой вес и малые габариты. Значительный процент таких технических средств с точки зрения проектирования относится к числу инженерно-психологических задач.

В циклограмме действий космонавта при выполнении ремонтных работ можно выделить следующие основные операции:

расположение необходимого оборудования в шлюзовой камере;

одевание скафандра, герметизация шлюзовой камеры от других отсеков станции;

разгерметизация и открытие выходного люка;

выход в открытый космос;

переход к месту работ и транспортировка необходимого оборудования;

выполнение ремонтных работ с помощью инструмента или без него;

• возвращение к шлюзовой камере, вход и закрытие выходного люка;

наддув шлюзовой камеры, снятие скафандров и переход в отсеки станции.

Выполнение всех этих операций связано с функционированием той или иной аппаратуры, с теми или иными техническими средствами.

Рассмотрим основные технические средства, обеспечивающие работы в открытом космосе.

КОСМИЧЕСКИЙ СКАФАНДР И СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

К. Э. Циолковский писал: «Особая одежда с запасом кислорода и поглотители человеческих выделений дают возможность вылезать наружу.... Устраиваются эфирные скафандры (одежды) для безопасного выхода из ракеты в эфир...»

«Особая одежда» есть не что иное, как современный космический скафандр — индивидуальное снаряжение космонавта, обеспечивающее условия жизнедеятельности и работоспособности в космическом пространстве.

Космические скафандры используются в различных условиях и для различных целей:

- на участке выведения и посадки;
- для обеспечения приземления экипажа;
- при расгерметизации ПКК в космическом пространстве;
- для проведения работ в негерметичных отсеках;
- для обеспечения работ в открытом космосе;
- для исследований на поверхности Луны и других планет.

Конструкция современного скафандра должна отвечать многим требованиям технического, медико-биологического, инженерно-психологического характера и хорошо сочетаться с физиологическими особенностями человека и его физическими возможностями.

В самом общем виде можно определить некоторые основные требования к конструкции скафандра и СЖО. Это:

- обеспечение жизнедеятельности космонавта при выполнении самых различных физических нагрузок;
- радиационная и метеорная защита;
- прочность, герметичность, легкость, небольшой объем;

обеспечение подвижности космонавта;

удобство для работы в течение длительного времени.

В зависимости от материала скафандры делятся на два типа: «мягкие» и «жесткие». Могут быть скафандры «полужесткие», например «жесткий» корпус и «мягкие» брюки. Не будем обсуждать преимущества и недостатки каждой из этих конструкций. Остановимся на скафандрах «мягкого» типа, так как именно они применялись до сего времени в практике космических полетов. В этих скафандрах проводились работы вне ПКК и ПОС, а также на поверхности Луны. Можно с уверенностью сказать, что в будущих космических полетах они займут не последнее место.

Скафандр «мягкого» типа выкраивается и шьется в виде комбинезона по фигуре человека. Учитываются его рост, размер, а также индивидуальные особенности. К комбинезону прилагаются гермошлем, перчатки, обувь.

Скафандр для работ в открытом космосе выполняется многослойным, чтобы обеспечить герметичность, теплоизоляцию, метеорную защиту и пр. Так, например, скафандр ПКК «Джемини» (вес 14 кг), кроме нательного белья (хлопчатобумажная ткань), имел герметизирующий слой из нейлона с упрочняющей сеткой, теплозащитный слой (семь оболочек с прокладками), противометеорный слой (войлок) и внешний слой из белого нейлона.

Если при маневрировании в открытом космосе космонавт применяет двигательные установки, работающие на топливах с высокой температурой газов, истекающих из сопла, скафандр оборудуется дополнительной жаропрочной оболочкой. Так, например, реактивные двигатели могут работать на продуктах разложения перекиси водорода. При этом температура истекающих из сопла газов в зависимости от концентрации перекиси водорода колеблется в пределах 560—1000°С. Поэтому в качестве жаропрочной оболочки используются покрытия из жаростойких металлов.

В оболочках скафандра предусмотрены медицинские датчики, регуляторы давления, электроразъемы и пр.

Гермошлем скафандра изготавливается из прочных и легких материалов. Он может быть полностью прозрачным или с встроенным иллюминатором для обзора окружающего пространства. Угол обзора в гермошлеме современной конструкции составляет 120—150° в вертикальной плоскости и 170° — в горизонтальной плоскости. Стек-

ло иллюминатора сдвижное. На его внутреннюю поверхность может наноситься специальное покрытие, препятствующее конденсации выдыхаемых космонавтом паров воды при резких перепадах температуры (переход «свет — тень» на орбите). Над основным иллюминатором монтируются дополнительный козырек для защиты от метеорных частиц и светофильтр. Крепление гермошлема к комбинезону скафандра может иметь поворотную (на подшипниках) или неподвижную конструкцию. Гермошлем оборудуется коллектором подачи кислорода для дыхания, электроакустическими приборами и другими устройствами.

При длительной работе в скафандре без его разгерметизации в гермошлеме могут быть запасы воды и пищи.

Перчатки выполняются съёмными или заодно с комбинезоном скафандра. Прежде всего они не должны мешать сгибанию и разгибанию пальцев рук, повороту кисти. Перчатки не должны затруднять выполнение таких операций, как работа с органами управления, пультами, переключателями, кнопками и т. д. В открытом космосе эти требования существенно расширяются. Теплоизоляция перчаток должна защищать космонавта, когда он работает с сильно нагретыми или охлажденными предметами (120°C — -168°C).

Обувь космонавта имеет особое значение при исследованиях на поверхности Луны и планет. Она должна быть удобной для передвижения, легкой, не должна скользить. Она должна защищать ноги от перегрева при контакте с поверхностью планеты. Во время работы в открытом космосе обувь, как и другие детали скафандра, должна обеспечивать теплозащиту и герметичность.

Для работы в открытом космосе, на поверхности Луны и планет особое значение имеет подвижность космонавта в скафандре. Причем если при работе на поверхности Луны и планет важнее обеспечить высокую подвижность торса, верхних и нижних конечностей, то несколько иначе обстоит дело с работами в открытом космосе в условиях невесомости.

В условиях невесомости основная доля двигательной активности (даже перемещение) приходится на руки. Поэтому здесь необходимо обеспечить свободу движений в плечевом и локтевом суставах, подвижность кисти и пальцев рук. Почему подвижности придается такое значение? Во-первых, потому, что подвижность оказывает

самое непосредственное влияние на работоспособность космонавта, качество и количество выполняемых операций. Чем свободнее движение космонавта в скафандре, тем разнообразнее его движения, меньше усталость и тепловыделения его организма, меньше потребление кислорода. Чем меньше подвижность скафандра, тем больше усилий тратит космонавт на преодоление сопротивления скафандра, тем быстрее он устает, тем больше потребление кислорода и выделение тепла при выполнении операций. Движения становятся резкими, ограниченными, снижается разнообразие выполняемых операций, их качество. Особенно трудно работать с мелкими предметами и выполнять операции, требующие высокой координации движений, например управление динамикой движения космического корабля.

Подвижность «мягкого» скафандра определяется его конструкцией и величиной давления под герметичной оболочкой (величиной «наддува» скафандра). Применение гибких и эластичных материалов и специальных сочленений улучшает подвижность скафандра.

Американские специалисты считают, что скафандры, применяемые в программе «Джемини», не обеспечивали достаточной свободы движений астронавта. Астронавты быстро утомлялись, теряли предметы, чувствовали сильную стесненность движений. Так, при подготовке к выходу в открытый космос в полете ПКК «Джемини-11» астронавт Р. Гордон отмечал стесненность движений, он с трудом мог поднять руки, а козырьки шлема одел только через 30 мин с помощью второго астронавта. По признанию астронавтов, проведение операций за бортом ПКК требовало значительно больших усилий, чем при тренировках в имитированных условиях на Земле. Вследствие этого они быстро утомлялись, частота пульса иногда достигала 180 уд/мин, тепловыделения организма были настолько интенсивными, что пот заливал глаза и мешал работать. В ряде случаев приходилось досрочно заканчивать работы в открытом космосе и возвращаться в корабль.

При разработке скафандров для работ на поверхности Луны эти недостатки были учтены. В конструкции скафандра предусмотрены гофрированные сочленения постоянного объема, обеспечивающие высокую подвижность. Астронавты могли приседать, вставать на колени, дотягивались рукой до затылочной области гермошлема. На Луне они могли самостоятельно подняться при падении.

В ходе выполнения программы исследований на поверхности Луны изменились требования к скафандрам. В частности, с введением луноходов астронавтам предстояло в течение длительного времени находиться в положении сидя. Поэтому астронавты ПКК «Аполлон-15», «Аполлон-16», «Аполлон-17» пользовались усовершенствованной моделью скафандров. Эти скафандры обеспечивали большую свободу движений, комфортность и лучший обзор. Была повышена гибкость торса и больших пальцев рук, головы. Подвижность ног также была увеличена. Комфортность пребывания астронавта в скафандре была улучшена введением запасов воды (900 г) в гермошлем и съедобной палочки. Чтобы стекло гермошлема не запотевало, на него наносился специальный состав.

Подвижность скафандров помогла успешно выполнить насыщенную «ручными» операциями программу исследований на поверхности Луны: обслуживание научной аппаратуры, сбор образцов лунного грунта, рытье траншей, бурение, пешеходные переходы, перемещение на луноходе, фотографирование и многие другие работы, требующие достаточно координированных движений.

Такие же скафандры применялись при работах в открытом космосе по программе «Скайлэб».

Система жизнеобеспечения (СЖО) включает несколько подсистем: поддержания заданного давления в подскафандровом пространстве; обеспечения пригодной для дыхания газовой смеси и удаления продуктов жизнедеятельности космонавта; терморегулирования и при необходимости подсистему обеспечения водой и пищей.

Для более полного представления о работе СЖО напомним, что при легкой физической нагрузке процесс жизнедеятельности человеческого организма характеризуется следующими данными:

потребление кислорода	— 25 л/ч;
выделение углекислого газа	— 20 л/ч;
выделение паров воды	— 50 г/ч;
энерготраты	— 130 ккал/ч.

Определенное давление в подскафандровом пространстве обеспечивается соотношением расходов поступающей в скафандр газовой смеси, утечками из скафандра и сбросом через регулировочные клапаны. Расход поступающей и сбрасываемой газовой смеси может регулироваться по желанию космонавта вручную или автоматически. Напри-

мер, при стравливании давления в кабине астронавтов ПИК «Джемини» в процессе его разгерметизации при подготовке к выходу в открытый космос в скафандрах автоматически устанавливалось давление на $0,14 \text{ кг/см}^2$ выше. При давлении в скафандре менее $0,25 \text{ кг/см}^2$ автоматический регулятор устанавливает повышенный расход газовой смеси под скафандр. На скафандрах имеется предохранительный клапан, сбрасывающий давление, когда оно превышает определенную величину.

Несколько слов о процессе дыхания человека. Для поддержания жизни человеческому организму совершенно необходимо непрерывное питание кислородом. Кислород, поступающий в альвеолы легких из окружающей среды, насыщает кровь в мельчайших кровеносных сосудах легких (капиллярах). Насыщенная кислородом кровь переносится ко всем органам человеческого организма, обеспечивая окислительные процессы. Насыщение крови кислородом и удаление из нее углекислого газа происходит за счет разности парциального давления этих газов в крови и во внешней среде. Под воздействием вакуума космического пространства парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе упадет до нуля, клетки головного мозга лишатся кислорода через 5—10 с, а через 4 мин в клетках головного мозга произойдут необратимые процессы и человек погибнет.

Давление $0,25—0,4 \text{ кг/см}^2$ в подскафандровом пространстве соответствует «высоте» примерно 11 000—7000 м. На этих высотах дыхание атмосферным воздухом может привести к развитию гипоксии (дыхательная форма кислородной недостаточности), так как парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе легких человека на этих высотах будет составлять 12—35 мм рт. ст. (минимально допустимая величина 30—35 мм рт. ст.).

При острой гипоксии в первую очередь поражается центральная нервная система, замедляется двигательная реакция, появляются головные боли, слабость, нарушается зрение, ухудшается координация движений, затрудняется процесс мышления. Все это ведет к резкому падению работоспособности человека. Кроме того, на таких высотах могут возникать и декомпрессионные расстройства. Влияние декомпрессии на организм человека зависит от скорости падения давления (понижение давления в единицу времени) и абсолютной величины падения давления (понижение давления за общее время падения давления)

и заключается в переходе растворенного в тканях организма азота (до одного литра в тканях человека среднего веса) в газообразное состояние в виде пузырьков. Этот процесс сопровождается мышечно-суставными и загрудинными болями и может вызывать поражения мозга и периферийной нервной системы.

При использовании чистого кислорода можно избежать перечисленных неблагоприятных воздействий на организм человека. В соответствии с физиолого-гигиеническими требованиями в газовой среде подскафандрового пространства парциальное давление кислорода (в гермошлеме) должно быть не менее 150 мм рт. ст. Применение чистого кислорода также имеет свои особенности. В атмосфере чистого кислорода у человека могут возникнуть расстройства. Токсическое действие кислорода не проявляется, если парциальное давление не превышает 400 мм рт. ст. Таким образом, наиболее приемлемый диапазон давления чистого кислорода в подскафандровом пространстве — 150—400 мм рт. ст. (0,2—0,5 кг/см²). Применение чистого кислорода снижает вероятность появления гипоксии и декомпрессионных расстройств. Кроме того, в этом случае можно использовать низкое давление в скафандре, что весьма существенно с точки зрения подвижности космонавта.

Запас кислорода в основном зависит от планируемой деятельности и интенсивности работ в открытом космосе. Например, потребление кислорода при интенсивной физической работе составляет 120—180 л/ч, что в 10 раз превышает потребление кислорода в покое (12—18 л/ч).

При возрастании физических нагрузок резко возрастает и выделение углекислого газа. Считается, что парциальное давление углекислого газа во вдыхаемом воздухе не должно превышать 6—8 мм рт. ст. Следует отметить, что для человека опасно как чрезмерное повышение концентрации углекислого газа, так и ее понижение. Содержание углекислого газа и других вредных примесей в скафандре регулируется при помощи различного рода поглотителей и других средств.

При интенсивных работах возрастает тепловыделение организма человека и выделение влаги. Так, тепловыделения астронавта Р. Гордона («Джемини-11») во время работ в открытом космосе составляли 900 ккал/ч, в то время как расчетная величина теплоотвода системы терморегулирования не более 500 ккал/ч. Дефицит теплосъе-

ма системы терморегулирования может привести к повышению температуры газовой среды в скафандре и в конечном счете к перегреванию организма космонавта. Кроме того, необходимо учитывать и тепло, подводимое к скафандру извне (например, тепловое излучение Солнца). В конструкции скафандров применяются как пассивные методы теплозащиты (подбор материалов с определенным коэффициентом поглощения и отражения), так и активные, основанные на отводе тепла различными теплоносителями (газ, вода) с излучением тепла в окружающее пространство.

Конструктивно СЖО и система терморегулирования могут размещаться в ранцах, прикрепленных к скафандру космонавта. Питание кислородом осуществляется от бортовых запасов ПКК или ПОС, подаваемых в скафандр через трубопроводы, или от автономных запасов, хранящихся под давлением в баллонах в ранцах. В космических полетах применялись обе схемы.

При удалении космонавта на большие расстояния от ПКК или ПОС, при исследованиях Луны и планет СЖО будут автономными. СЖО для работ на поверхности Луны выполнена в виде ранца, размещаемого на спине космонавта. Вес системы 54 кг, включая блок с аварийным запасом кислорода (12 кг). Ресурс работы системы 4—5,5 ч. Система обеспечивает наддув и вентиляцию скафандра, а также дыхание космонавта. На рис. 14 показана схема системы. Газовая смесь, содержащая кислород, углекислый газ, пары воды и другие примеси, поступает из скафандра в ранец, где проходит через фильтры в сублиматор. Фильтры содержат активированный уголь (для удаления вредных примесей) и гидроокись лития (для удаления из газовой смеси углекислого газа). В сублиматоре очищенная газовая смесь охлаждается. Пары воды при этом конденсируются и отводятся в бочок с водой для питания сублиматора.

В качестве теплоносителя в лунных скафандрах использовалась вода. Для этой цели астронавт надевал «белье», представляющее собой сеть трубок, по которым циркулирует вода. Вода прокачивается насосом через трубки белья, нагревается и поступает в ранец, где охлаждается в сублиматоре. Часть воды может отводиться в обход сублиматора, что позволяет регулировать ее температуру.

Аварийный блок содержит запас кислорода на 30 мин.

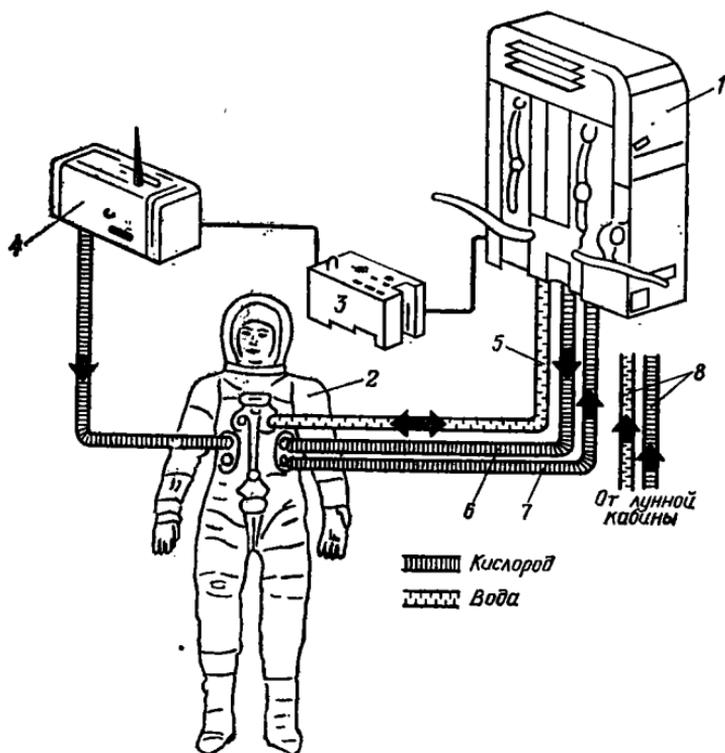


Рис. 14. Схема ранцевой СЖО лунного скафандра (ПКК «Аполлон»):

1 — наспинный ранец; 2 — скафандр; 3 — панель управления СЖО; 4 — аварийный запас кислорода; 5 — трубопровод для охлаждения (вода); 6 — трубопровод подачи в скафандр очищенного кислорода; 7 — трубопровод газов скафандра; 8 — трубопроводы заправки ранцевой СЖО водой и кислородом от бортовых источников лунной кабины

На рис. 14 показана панель управления ранцевой системы СЖО, аварийный блок, ранец основного блока и часть оборудования лунной кабины.

На панель выведены органы управления вентилятором, насосом, радиосистемой, индикатор расхода кислорода. Запасы кислорода и воды ранцевой системы пополняются от систем лунной кабины.

Радиосистема обеспечивает радиотелефонную связь космонавтов с Землей и друг с другом, передачу телемет-

рической информации и физиологических параметров. Для питания электроэнергией ранцевой системы предусмотрены серебряно-цинковые батареи.

В рамках программы «Скайлэб» применялись скафандры лунной модификации с использованием бортовых запасов кислорода. В них астронавты выполняли ряд чрезвычайно сложных операций в открытом космосе.

Программа космических исследований с транспортным кораблем многократного применения также предусматривает использование скафандров «мягкого» типа.

СИСТЕМА ШЛЮЗОВАНИЯ

Система шлюзования — это совокупность систем, обеспечивающих космонавту возможность покинуть герметичные отсеки ПКК или ПОС и вернуться обратно. К ним можно отнести:

собственно конструкцию шлюзовой камеры;

систему разгерметизации и наддува ШК;

органы управления и контроля процессом шлюзования.

Покинуть внутренние отсеки ПКК или ПОС космонавт может без специальной ШК:

с применением ШК «мягкого» типа;

с применением ШК «жесткого» типа.

Конструкция ПКК «Джемини» и «Аполлон» не предусматривала специальной ШК. Для выхода астронавта в открытый космос разгерметизировался весь объем ПКК. Внутренний объем кабины астронавтов ПКК «Джемини» составлял 2,26 м³. Кислородная атмосфера с давлением 0,35 кг/см² стравливалась из кабины в два этапа. Сначала до 0,14 кг/см², при этом в скафандрах автоматически устанавливается давление на 0,14 кг/см² выше, чем в кабине. Эта операция необходима для проверки герметичности скафандров. Далее давление стравливалось полностью. Выход в открытый космос выполнял второй пилот через входной люк корабля. Люк имел форму трапеции: длина меньшего основания 66 см, большего — 86 см, высота 109 см. Аналогичный люк находился и над командиром корабля. После стравливания давления астронавты открывали люк с помощью специального механизма.

Аналогично осуществлялся выход в открытый космос по программе «Аполлон». При выходе разгерметизировал-

ся весь объем отсека экипажа ($\sim 6 \text{ м}^3$), и астронавт покидал его через быстро открывающийся люк, расположенный на боковой поверхности конической части. При выходе из лунной кабины (объем взлетной ступени $\sim 6,7 \text{ м}^3$) в открытый космос во время полета ПКК «Аполлон-9» разгерметизировались оба отсека: отсек экипажа основного блока и отсек экипажа лунной кабины.

Этот метод имеет ряд недостатков. В частности, оборудование, расположенное внутри отсека, должно надежно функционировать в условиях глубокого вакуума. В процессе выхода в открытый космос и работ вне ПКК все члены экипажа, находящиеся в отсеке, должны быть экипированы в скафандр. Как известно, во время работ в открытом космосе зачастую требуется ручное управление для поддержания ориентации ПКК. Поэтому экипировка в наддутый скафандр, ограничивающий движения, нежелательна.

Шлюзовая камера «мягкого» типа применялась при выходе А. А. Леонова в открытый космос из ПКК «Восход-2».

Камера, находящаяся в собранном положении на участке выведения корабля ракетой-носителем, разворачивалась непосредственно на орбите путем наддува. Объем камеры отделялся от объема кабины космонавтов герметичным люком. Второй герметичный люк отделял ШК от внешнего пространства. Технология выхода в открытый космос заключалась в открытии люка, переходе космонавта в скафандре в ШК, герметизации внутреннего люка, стравливании давления из ШК, открытии внешнего люка и выхода из ШК. Конструкция ШК успешно прошла испытания в космическом полете ПКК «Восход-2».

В программу технических экспериментов на ПОС «Скайлэб» был включен эксперимент по испытаниям наддувной ШК. Подобные ШК могут найти применение на перспективных орбитальных станциях при выходе в открытый космос.

Примером ШК «жесткого» типа может служить орбитальный блок ПКК «Союз». Во время полета экспериментальной орбитальной станции, собранной на орбите после стыковки ПКК «Союз-4» и «Союз-5», переход двух космонавтов из одного корабля в другой был осуществлен с использованием двух ШК. Одна — для покидания корабля, другая — для приема космонавтов на борт. Такая кон-

струкция весьма перспективна, так как объем ШК находит многостороннее применение на орбите: для отдыха космонавтов, проведения научно-исследовательских работ, связанных с понижением давления вплоть до космического вакуума, и пр.

На орбитальной станции «Скайлэб» также использовалась ШК «жесткого» типа, объем которой $4,3 \text{ м}^3$ (при длине 2 м и диаметре 1,68 м) позволял разместиться двум астронавтам в скафандрах для подготовки и осуществления выхода в открытый космос. ШК отделена от остальных отсеков станции нижним и верхним герметичными люками. На боковой поверхности ШК размещался люк для выхода в открытый космос. Конструктивно люк аналогичен люку ПКК «Джемини». ШК оборудована поручнями для облегчения работ астронавтов (надевание скафандров и т. д.), а также фиксаторами для различного оборудования. В частности, часть внутренней поверхности ШК была покрыта клейким материалом.

Для выхода космонавтов в открытый космос и их возвращения необходима система разгерметизации и наддува ШК. Система разгерметизации в простейшем варианте включает клапан стравливания давления для его понижения в камере. Повторный наддув ШК после входа в нее космонавтов и герметизации внешнего люка производится за счет бортовых запасов сжатых газов. Так, для повторных наддувов ШК ПОС «Скайлэб» потребовалось около 26,2 кг кислорода и 8,2 кг азота (из расчета семи выходов). Для управления агрегатами разгерметизации и наддува были предусмотрены ручные и дистанционные органы управления, а также приборы индикации, служащие для наблюдения и контроля за этими процессами.

УСТРОЙСТВА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОСМОНАВТА (УПК) В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ

Для работ в открытом космосе космонавт должен иметь возможность широкой активной деятельности. Действительно, мало выйти из корабля, нужно еще достигнуть места проведения работ, т. е. иными словами, нужно перемещаться. Для этого космические корабли и станции оборудуются специальными средствами.

Для перемещения в открытом космосе применяются различные устройства — от простейших поручней на вне-

шей поверхности космического объекта до сложнейших установок перемещения в безопорном пространстве.

На ПКК «Восход», «Союз», «Джемини», «Аполлон» и ПОС «Скайлэб» во время работ в открытом космосе использовались стационарные и телескопические поручни, скобы, лестницы, жесткие и мягкие переносные фиксаторы, фалы, привязи, элементы конструкции космических объектов. Так, на ПКК «Джемини» устанавливались поручни длиной до 2,4 м. Они выступали над поверхностью корпуса на 3,75 см и позволяли астронавту перемещаться с помощью последовательного перехвата рук. Поручни имели прямоугольное и круглое сечения. В рамках этой же программы были испытаны средства перемещения, основанные на сцеплении двух поверхностей. Для этой цели часть поверхности ПКК «Джемини» была покрыта материалом velcro. Перемещение астронавта осуществлялось путем сцепления с этой поверхностью накладок из того же материала. Через петли на накладках астронавт мог пропускать трос для фиксации и других целей.

Астронавты ПОС «Скайлэб» для перехода в места необходимого ремонта пользовались импровизированными поручнями. Они собирались из телескопических штанг и другого оборудования.

Во время работ на небольших удалениях от космического корабля использовался фал, соединяющий космонавта и корабль. Фал может играть многостороннюю роль. Во-первых, фал — надежное механическое связующее звено. Например, фал, соединявший А. А. Леонова с кораблем при его выходе, мог выдержать нагрузку до 5000 кг. Во-вторых, через фал может осуществляться подача кислорода и электроэнергии, съем медицинских показателей (частоты пульса и дыхания, электрокардиограмма и пр.), телефонная связь.

С точки зрения психологического эффекта фал играет «успокаивающую» роль для космонавта, так как может быть использован для сближения и подхода к кораблю при возвращении.

Типичная конструкция фала состоит из силовой части, элементов СЖО, каналов связи и энергопитания. Силовой трос изготавливается из прочных материалов и конструктивно исполняется несколько короче других менее прочных элементов фала (трубопровод, электрические провода и пр.). Это делается для того, чтобы избежать обрыва при полном разматывании и натяжении силового

троса. Вес фала с силовым тросом длиной около 7 м и диаметром 1,9 см, с проложенным в нем трубопроводом диаметром 0,63 см и длиной 7,6 м, а также электрическими проводами той же длины — около 4,1 кг.

Однако перечисленные средства перемещения космонавта имеют ряд ограничений. Во-первых, невозможно разместить поручни и другие приспособления во всех местах предполагаемого и тем более непредвиденного ремонта многочисленных агрегатов и узлов бортовых систем, располагаемых на внешней поверхности космических объектов. Во-вторых, силовые элементы типа поручней нельзя закрепить на таких «ажурных» конструкциях, как антенны, выдвижные штанги. В-третьих, большое число элементов передвижения ведет к увеличению веса и габаритов космических кораблей и станций. И наконец, руки космонавта при таком методе перемещения (перехват рук по поручням) оказываются занятыми, что существенно ограничивает его возможности по выполнению других операций.

Фал может использоваться лишь для сближения с кораблем путем подтягивания и незначительно для пространственной ориентации. Советский космонавт А. А. Леонов впервые осуществил маневрирование с помощью фала длиной около 5 м.

Для перемещения фал можно применять на сравнительно небольших расстояниях. Так, маневрирование при помощи фала длиной от 7 до 10 м приводило к запутыванию его вокруг космонавта и другим неудобствам. Астронавт М. Коллинз отмечал, что перемещение в открытом космосе путем подтягивания за фал (длина фала 15 м) затруднительно.

Кроме того, при удалениях космонавта на значительные расстояния (более 100 м) возвращение его при помощи фала представляет большие трудности и небезопасно для космонавта. Дело в том, что угловая скорость массы тела на конце длинного фала возрастает по мере его сматывания. Сила натяжения фала меняется обратно пропорционально кубу его длины. Моделирование показало, что при сматывании фала длиной 1525 м до 7,62 м при начальной относительной скорости вращения 1,52 м/с скорость вращения космонавта достигает 400 об/мин и перегрузки исчисляются 1200 *g*.

Относительное вращение космонавта можно устранить разными методами. Например, методом приложения ре-

активной тяги к возвращаемой массе, т. е. к космонавту, а также введением в систему третьей анкерной массы, находящейся на значительном расстоянии от космонавта. Моделирование показало, что сматывание фала с постоянной скоростью 3 м/с (анкерная масса и космонавт имеют удаление от корабля в начале сближения соответственно 3050 и 1525 м) ведет к тому, что при сближении с кораблем на расстояние порядка 10,7 м почти весь кинетический момент приходится на анкерную массу.

Возможен также метод приложения изменяемой силы натяжения фала при его сматывании. Исследования показали, что наиболее перспективными являются метод приложения тяги к возвращаемой массе и метод введения анкерной массы.

В будущем удаление космонавта от корабля может составить десятки и даже сотни километров. Значит, космонавту потребуются автономные установки перемещения в безопорном пространстве, которые в принципе могут и не иметь механической связи с кораблем. Очевидно, такие средства должны быть построены на основе использования реактивных сил и должны обеспечивать как поступательное движение космонавта, так и его вращательное движение вокруг центра масс (Ц. М.)

Применяя подобные средства, космонавт может решать целый комплекс задач в открытом космосе, в частности, перемещение и транспортировку грузов, сборку различных конструкций на орбите, ТО (осмотр, проверка, профилактика, ремонт) пилотируемых и беспилотных КА, обслуживание научной аппаратуры, экспериментальные исследования, смену и спасение экипажей ПКК и ПОС и др.

В настоящее время известны проекты самых разнообразных УПК — от достаточно простых реактивных устройств до автономных пилотируемых капсул.

Рассмотрим некоторые типы УПК, предназначенные для маневрирования в безопорном пространстве.

К наиболее простым установкам можно отнести установки «пистолетного» типа, которыми пользовались астронавты ПКК «Джемини». Установка состояла из баллонов с сжатым газом (кислород), используемым в качестве рабочего тела, реактивных сопел и механизма управления подачей сжатых газов в сопла. Установка имела три сопла, одно из которых тягой 0,9 кг использовалось для перемещения назад, а два других тягой по 0,45 кг каж-

дое — для перемещения вперед. Запас кислорода хранился в двух баллонах (по 0,3 кг в каждом) под давлением 280 атм. Установка включалась нажатием куркового механизма на рукоятке. В различных модификациях такого рода установок в качестве рабочего тела использовались кислород, фреон и азот (удельный импульс этих газов лежит в диапазоне от 33 до 63 с). Полный импульс в установках колебался от 18,2 до 308 кг/с, что обеспечивало различное время маневрирования на орбите.

Следует отметить некоторые особенности эксплуатации таких установок. Установка находилась в руках космонавта. Желаемое направление поступательного движения или вращения вокруг центра масс достигалось вручную, определенной ориентацией направления вектора тяги в пространстве. Без автоматической системы ориентации и стабилизации (СОиС) появляются некоторые трудности при эксплуатации этих установок. Прежде всего они связаны с физическим и умственным напряжением космонавта. Действительно, осуществляя маневр поступательного перемещения, космонавт должен весьма точно совместить вектор тяги установки с текущим положением Ц. М. В противном случае при включении двигательной установки может начаться вращение космонавта вокруг Ц. М. со значительными угловыми скоростями, что ухудшит пространственную ориентацию, снизит его работоспособность, а в некоторых случаях может привести и к потере сознания.

Таким образом, для получения лишь поступательного перемещения вектор тяги УПК должен проходить точно через Ц. М. Однако определение текущего положения Ц. М. — задача трудная, так как космонавт и его снаряжение имеют много подвижных элементов (конечности космонавта, фал, ранец СЖО, привязи и пр.).

Аналогично для чистого вращения вокруг Ц. М. необходимо приложение сбалансированной пары сил. Иначе одновременно с вращением появится и поступательное перемещение, искажающее траекторию движения космонавта. Для компенсации этих нежелательных движений космонавту необходимо приложить серию корректирующих импульсов, что в значительной мере увеличивает физическую и умственную нагрузку на космонавта, его психическое напряжение. Таким образом, один из существенных недостатков УПК подобной конструкции — отсутствие автоматической стабилизации углового положе-



Рис. 15. Экипировка космонавта для работ в открытом космосе:

1 — установка «пистолетного» типа; 2 — установка «ранцевого» типа; 3 — нагрудный ранец

ния. Кроме того, руки космонавта постоянно заняты управлением, что снижает его возможности по ТО и выполнению других видов профессиональной деятельности. Радиус действия космонавта, оснащенного такой установкой перемещения, ограничен запасами рабочего тела и составляет незначительные величины (маневрирование на орбите проводилось при удалениях порядка 10 м).

Более совершенными являются УПК в виде заплечного ранца — УПК «ранцевого» типа. Эти установки обеспечивают значительно больший радиус действий космонавта (до десятков километров). Кроме того, они оснащены системой автоматической стабилизации углового положения. Эти установки не ограничивают свободу движений конечностей космонавта, а это важно для профессиональной деятельности в открытом космосе. На рис. 15 показан астронавт, оснащенный УПК «ранцевого» типа AMU (Astronaut Maneuvering Unit) и ручной установкой. В УПК «ранцевого» типа входит целый ряд систем, обеспечивающих жизнедеятельность космонавта, его перемещение и ориентацию в пространстве:

- пульт управления и индикации;
- радиооборудование;

система жизнеобеспечения;
баки с топливом;
система реактивных двигателей;
вытеснительная система подачи топлива (трубопроводы, баллоны с сжатым газом и пр.);
система ориентации и стабилизации;
органы ручного управления;
источники питания.

Пульт управления и индикации выполняется в виде нагрудного ранца и располагается так, чтобы индикаторы и органы управления находились в поле зрения космонавта. В частности, на пульт могут выводиться параметры, контролируемые системой обнаружения неисправностей: световая сигнализация о критическом остатке топлива, кислорода, электроэнергии.

Радиооборудование обеспечивает двустороннюю связь между космонавтом, вышедшим в открытый космос, экипажем ПКК и Землей. Кроме того, в УПК может быть система передачи телеметрической информации о работе тех или иных систем и физиологических параметрах космонавта.

Система жизнеобеспечения, как правило, состоит из основной и аварийной подсистем. Основная СЖО может выполняться в автономном варианте (запасы кислорода хранятся непосредственно в УПК) или снабжать космонавта кислородом от СЖО корабля или станции. В последнем случае пилотируемый объект и УПК соединены фалом с трубопроводом. Аварийная подсистема выполняется в автономном варианте и включается в работу при выходе из строя основной подсистемы. Запасы кислорода в аварийной подсистеме определяются из расчета удаленности космонавта от ПКК или ПОС и необходимого для возвращения времени.

Двигательная установка представляет собой систему реактивных сопел, баки с рабочим телом, систему подачи топлива к соплам, трубопроводы. В качестве рабочего тела могут использоваться жидкое топливо (перекись водорода, гидразин) или сжатые газы. Система подачи топлива вытеснительная, основанная на применении сжатых газов. Управляющие реактивные сопла крепятся на УПК жестко и располагаются таким образом, чтобы обеспечить космонавту шесть степеней свободы: поступательные перемещения в трех направлениях («вверх-вниз», «вправо-влево», «вперед-назад») и вращение вокруг трех осей (тан-

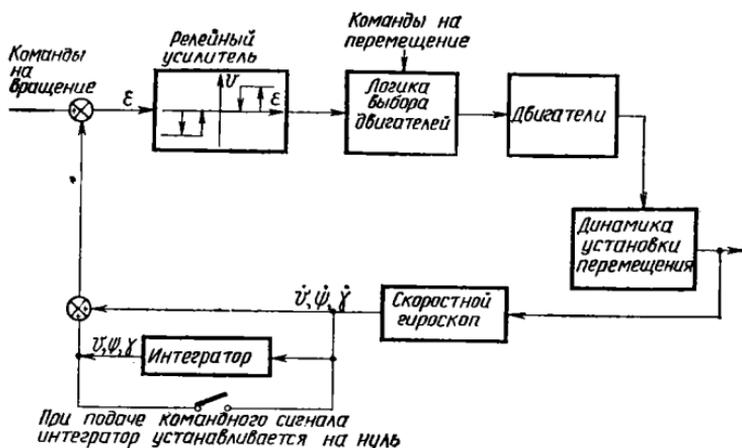


Рис. 16. Система ориентации и стабилизации с использованием скоростных гироскопов и реактивных двигателей

гаж, рыскание, вращение). Для этого необходимо восемь реактивных двигателей. Как правило, для улучшения динамики управления и для надежного функционирования двигателей больше (до 16).

В УПК «ранцевого» типа может применяться СОиС, основанная на использовании различных исполнительных органов и датчиков формирования закона управления. СОиС обеспечивает стабилизацию углового положения космонавта, а также необходимые развороты в пространстве относительно трех осей. СОиС для одного канала управления (вокруг одной оси) с реактивными двигателями и скоростными гироскопами показана на рис. 16. Такая система может работать в двух режимах:

- с автоматическим поддержанием углового положения и угловой скорости (автоматический режим);
- с ручным поддержанием углового положения и угловой скорости (ручной режим).

Для создания управляющих моментов в том и другом режимах используются реактивные двигатели.

Предположим, что космонавту нет необходимости изменять свою пространственную ориентацию и он выполняет наблюдения за каким-либо космическим объектом. Для того чтобы иметь правильное представление о движении объекта, космонавту нужно поддерживать свое угло-

вое положение (стабилизацию с определенной степенью точности). В автоматическом режиме стабилизация осуществляется следующим образом. Угловая скорость вращения космонавта с УПК измеряется скоростными гироскопами и выдается в цепь формирования обратной связи, а также на вход интегратора, который выдает сигнал, пропорциональный угловому отклонению от исходного положения. Суммированием сигналов с интегратора и скоростного гироскопа формируется управляющая функция. При превышении ее определенной величины включается соответствующая комбинация двигателей, возвращающая УПК и космонавта к исходному положению. В установленном режиме стабилизации космонавт как бы совершает колебательные движения относительно заданного положения. Наличие в законе управления составляющей, пропорциональной угловой скорости, улучшает качество управления.

При переориентации космонавт подает команды на вращение. Они подаются от ручки управления УПК. Сигналы команд пропорциональны отклонению ручки управления, при этом сигналы с выхода интегратора, пропорциональные угловому отклонению, исключаются из закона управления. Командные сигналы суммируются с сигналами обратной связи скоростных гироскопов по угловой скорости УПК. Суммарный сигнал сравнивается с зоной нечувствительности по угловой скорости. Если суммарная ошибка превышает значение зоны нечувствительности, то выдается команда в логическое устройство на запуск соответствующей комбинации двигателей. Двигатели будут работать до тех пор, пока угловая скорость УПК, измеряемая скоростными гироскопами обратной связи, не достигнет заданной от ручки управления величины. Угловая скорость УПК сохраняется до тех пор, пока ручка управления не будет возвращена в нейтральное положение. При этом командный сигнал станет равным нулю, а сигнал на включение комбинаций двигателей, создающих противоположный замедляющий момент вращения, будет определяться сигналами скоростного гироскопа обратной связи, измеряющего угловую скорость УПК, которая будет стремиться к нулю.

Таким образом, автоматический режим работы имеет существенное преимущество — при выполнении различного рода операций, не требующих изменения углового положения, руки космонавта освобождаются от операций

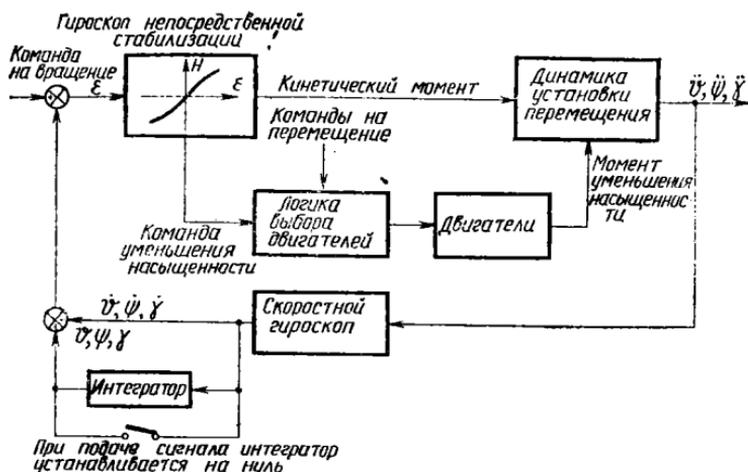


Рис. 17. Система ориентации и стабилизации с использованием силового гироскопа

стабилизации. Необходимо также отметить, что при переориентации угловая скорость вращения космонавта вокруг Ц. М. автоматически поддерживается на выбранном по его желанию уровне (пропорционально отклонению ручки управления). В конце маневра космонавт должен заранее определить момент прекращения выдачи команды на вращение, чтобы после торможения оказаться в нужном положении.

Режим «ручного» управления — резервный. Он применяется, например, в аварийной ситуации при выходе из строя контура автоматической стабилизации. В «ручном» режиме команды, поступающие от ручки управления вращением, являются непосредственно командами для включения двигателей. Соответствующая комбинация двигателей работает до тех пор, пока космонавт подает команду на вращение. Чтобы прекратить вращение, космонавт должен отклонить ручку управления в противоположную от нейтрали сторону, включив тем самым комбинацию двигателей, парирующую первоначальный вращающий момент. Поддержание углового положения и угловой скорости в этом режиме полностью возлагается на космонавта.

В качестве исполнительных органов могут быть использованы и силовые гироскопы. СОиС с силовыми гироскопами приведена на рис. 17. В этой системе управляющие моменты образуются за счет использования ки-

нетических моментов роторов гироскопов. Реактивные двигатели включаются лишь тогда, когда гироскопическая система становится неэффективной, что определяется угловым отклонением роторов гироскопов до выбранных предельных значений (насыщение гироскопической системы).

Поскольку возмущения, характерные для среды без трения, в основном циклические, запас количества движения роторов может самовосполняться; включение реактивных двигателей будет не частым. Передача количества движения между гироскопической системой и космонавтом в УПК осуществляется, по существу, мгновенно. При этом космонавту нет необходимости рассчитывать время прекращения выдачи команд заранее, чтобы занять определенное угловое положение: его вращение прекращается в момент прекращения выдачи команды на вращение.

Гироскопические устройства стабилизации хорошо подходят для решения проблемы нежесткости тела космонавта. Колебания подвижных элементов системы «космонавт — УПК» приводят к колебаниям всей системы, близким к синусоидальным относительно нуля. Именно поэтому при знакопеременных возмущениях запас кинетической энергии гироскопической системы в основном будет самовосполняться.

В системах со скоростным гироскопом и реактивными двигателями при положительных и отрицательных отклонениях стабилизация осуществлялась бы за счет включения двигателей, а при использовании гироскопических систем двигатели включаются лишь тогда, когда система с силовыми гироскопами достигает насыщения. Такая комбинированная СОиС позволяет экономить рабочее тело реактивных двигателей, в основном расходуя запас электроэнергии, который может быть пополнен от системы электроснабжения ПКК или ПОС, а также за счет использования солнечной энергии.

В системах с гироскопическими устройствами можно одновременно использовать одни и те же роторы в качестве исполнительных органов и в качестве датчиков обратной связи для измерения угловой скорости УПК.

Такое построение СОиС имеет ряд существенных преимуществ перед ранее рассмотренными системами. Во-первых, исключается использование скоростных гироскопов в цепи формирования обратной связи, а вместе с ними и электронных устройств (фильтры, сумматоры и пр.).

Это повышает надежность работы системы. Во-вторых, роторы гироскопов, обладающие высокой кинетической энергией, обеспечивают низкий порог чувствительности и малые уходы системы, что в конечном счете определяет достаточно высокую точность ориентации и стабилизации. Поясним работу системы с силовыми гироскопами.

На каждой оси гироскопической системы стабилизации имеется по два ротора, связанных механически шестернями. Угловое перемещение карданных подвесов может быть ограничено величиной $\pm (45^\circ - 60^\circ)$. Если угол отклонения карданного подвеса равен нулю, кинетический момент системы также равен нулю. Это устраняет гироскопическую перекрестную связь, характерную для системы с одним гироскопом на каждую ось. Механическая система соединяет ручку управления УПК с соответствующим гироскопом, обеспечивая приложение управляющего момента к карданному подвесу гироскопа.

Угловые скорости установки пропорциональны отклонению ручки. Два ротора укреплены в карданных подвесах таким образом, что их векторы вращения направлены в противоположные стороны. Оси карданных подвесов каждого ротора параллельны друг другу и вращаются в противоположных направлениях. Третья ось, под прямым углом к оси вращения и оси кардана, служит осью измерения и управления.

Стабилизация посредством такой системы заключается в компенсации кинетического момента установки перемещения (он обусловлен действием возмущающих сил) кинетическим моментом гироскопической системы. В результате такого взаимодействия общий кинетический момент (H) системы сводится к нулю.

$$H_{\text{упк}} - H_{\text{гир}} = 0. \quad (3)$$

При воздействии на УПК возмущающего момента гироскопы прецессируют в инерциальном пространстве. Они прецессируют относительно осей своих карданных подвесов таким образом, что вектор кинетического момента стремится совпасть с вектором момента возмущения.

Сумма составляющих векторов кинетических моментов роторов гасит вектор угловой скорости установки. Этот процесс происходит без перекрестной связи по другим осям установки, так как две составляющие векторов кинетических моментов роторов по оси первоначального вра-

щения равны и противоположны. В результате их сумма остается равной нулю.

Если начальная угловая скорость установки настолько велика, что роторы гироскопов прецессируют до предельных значений, включаются реактивные двигатели.

Управление ориентацией с помощью гироскопической системы заключается в следующем. К карданным подвесам прикладывается управляющий момент, роторы гироскопа прецессируют, а УПК разворачивается в пространстве.

Момент количества движения, передаваемый установке силовым гироскопом, равен:

$$H_{\text{гир}} = 2H_p \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

где H_p — кинетическая энергия ротора;

β — угол прецессии.

Зная момент инерции системы «УПК—космонавт» J_i относительно рассматриваемой оси, можно определить угловую скорость вращения УПК.

$$\omega_{\text{упк}} = \frac{2H_p \sin \beta}{J_i}. \quad (5)$$

После прекращения выдачи команд система автоматически осуществляет обмен моментами количества движения таким образом, чтобы восстановить нулевую угловую скорость УПК.

Рассмотренные режимы типичны в процессе управления установкой перемещения. Они обеспечивают маневрирование космонавта в безопорном пространстве на основных этапах его деятельности.

Отличительной чертой системы «УПК—космонавт» с точки зрения управления динамикой ее движения является то, что космонавт выступает одновременно в роли оператора и объекта управления. Задача проектирования СОиС УПК «ранцевого» типа — одна из интереснейших задач с точки зрения инженерной психологии.

Обеспечение электроэнергией систем УПК основано на двух принципах:

за счет бортовых запасов электроэнергии ПКК или ПОС (в фале прокладываются электрические провода); от автономных источников электроэнергии (без механической связи с ПКК или ПОС, т. е. без фала).

В последнем случае бортовые аккумуляторные батареи УПК могут периодически заменяться на борту ПКК или

ПОС или подзаряжаться от их солнечных батарей после возвращения космонавта.

УПК «ранцевого» типа могут быть сконструированы таким образом, что их можно использовать и в пилотируемом, и в беспилотном варианте. Так, имеется проект УПК, которая предназначена для перемещения космонавта, грузов и для выполнения ряда других задач. Возможность дистанционного управления с борта ПКК позволяет использовать УПК как беспилотное маневрирующее средство. Кроме того, при помощи дистанционного управления по командам с борта можно вернуть космонавта в случае потери сознания или при других обстоятельствах, когда космонавт не может самостоятельно управлять установкой.

Ниже приводятся данные УПК «ранцевого» типа AMRV (Astronaut Maneuvering Research Vehicle).

Она прошла испытания в космическом полете на борту ПОС «Скайлэб».

Вес установки — 115 кг.

Средняя скорость поступательного движения — 0,15 м/с.

Ускорение — 0,01 g.

Номинальная скорость поворота относительно осей — 10 град/с.

Максимальная скорость поворота — 20 град/с.

Запас рабочего тела (сжатый азот) — 5 кг.

Давление азота в баллоне — 210 атм.

Ресурс азота в баллоне — 30 мин.

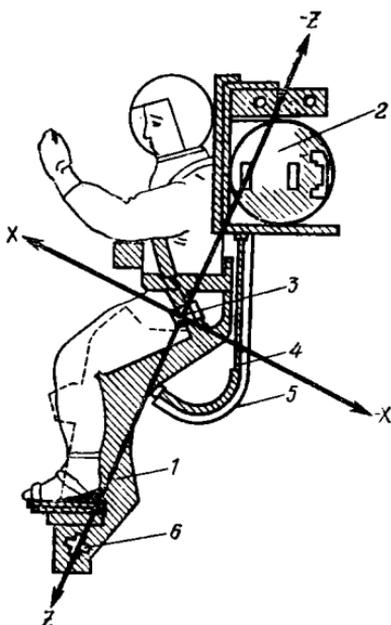
Ресурс батареи питания — 50 мин.

Установка AMRV обеспечивает вращение космонавта относительно трех осей и поступательное движение по каждой оси. Рабочее тело истекает из 14 управляющих реактивных сопел. Ручки управления вращательным и поступательным движением смонтированы на подлокотниках у правой и левой руки. Система ориентации и стабилизации установки включает в себя скоростные и силовые гироскопы.

Установки второго типа сложнее первых. Их вес и габариты возрастают за счет большего количества двигателей, трубопроводов, наличия оборудования автоматического управления положением в пространстве и пр. Однако эти недостатки в значительной мере компенсируются преимуществами в управлении поступательным и угловым перемещением.

Рис. 18. Установка FCMU для перемещения в открытом космосе:

1 — рама установки; 2 — баллон со сжатым азотом; 3 — положение центра масс системы «космонавт—установка»; 4 — трубопровод сжатого азота; 5 — кабель; 6 — реактивные сопла



Физические и умственные усилия, необходимые для маневрирования при помощи этих установок, меньше. И вот почему:

а) по командам на перемещение или вращение выполняется, по существу, только желаемое движение, не требующее последующих коррекций;

б) не нужны напряженные движения конечностями для создания необходимого направления вектора тяги двигателей;

в) положение космонавта на этапе пассивного полета остается устойчивым и не требует с его стороны корректирующих действий (автоматическая стабилизация).

К такому же типу можно отнести установку FCM^U (Foot Controlled Maneuvering Unit) — установку для маневрирования, управляемую ступней ноги. Эта установка (рис. 18) конструктивно выполнена в виде рамы с сиденьем для космонавта, фиксирующего свое положение с помощью привязанной системы ремней. Исполнительные органы — восемь газовых микродвигателей размещены вокруг ступни. Баллон с рабочим телом (сжатым азотом) расположен на раме за спиной астронавта. Для управления микродвигателями астронавт нажимает ступней на

педаля управления, с которой связаны клапаны подачи азота в микродвигатели. Установка обеспечивает поступательное перемещение только по оси z и вращение вокруг трех осей.

Преимущество этого принципа управления в том, что освобождаются руки космонавта. Недостаток его в том, что нет автоматической стабилизации, а также в том, что двигатели включаются не парами, а по одному. Это ведет к нежелательным поступательным перемещениям, когда требуется только угловое вращение вокруг Ц. М.

Зарубежными специалистами было предложено устройство, в котором космонавт и двигательная установка соединены шарниром. Благодаря такому соединению космонавт может занимать разное угловое положение относительно двигательной системы.

В начальном положении Ц.М. системы совпадает с положением шарнира. Если расположение космонавта и двигательной установки отличается от номинального, при включении двигателей возникает вращающий момент. Этот момент вызывает угловое перемещение тел, которое в свою очередь ведет к уменьшению вращающего момента. В итоге система приходит в начальное положение с необходимой переориентацией углового положения космонавта в пространстве.

Еще более сложны проекты УПК в виде рабочих платформ и герметичных капсул, оборудованных различного рода манипуляторами, средствами сближения и стыковки и другими системами. Они представляют собой малогабаритные пилотируемые космические объекты. Например, в одном из этих проектов предусмотрено применение пилотируемой капсулы, имеющей форму цилиндра высотой около 4 м и диаметром 1,5 м. Кабина космонавта герметизирована, в ней два люка: один для перехода в ПКК, другой для выхода в открытый космос. Автономность таких установок составляет 8—10 ч, возможность удаления — до десятков и сотен километров.

Таким образом, УПК значительно расширяет возможности космонавта по проведению различных работ в открытом космическом пространстве. Применяя установки перемещения, космонавт может выполнять разные виды работ: сборка, транспортировка грузов, спасение космонавтов, техническое обслуживание, осмотр ПКК, ПОС и ИСЗ, ремонт на орбите и т. д. В зависимости от этих задач может быть разное конструктивное исполнение УПК.

В настоящее время и в ближайшем будущем следует ожидать применения установок «ранцевого» типа.

СРЕДСТВА ФИКСАЦИИ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАБОТ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ, ОБОРУДОВАНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ

Следующий этап после перемещения к месту проведения работ — это фиксация космонавта относительно объекта обслуживания и выполнение запланированных операций.

Фиксация необходима прежде всего потому, что любые линейные усилия и крутящие моменты, прилагаемые космонавтом к объекту обслуживания, вызывают воздействие реактивных сил и крутящих моментов, приложенных к космонавту. Без фиксаторов начнутся линейные перемещения или закрутки космонавта, компенсация которых потребует дополнительных физических усилий. Так, в полете ПКК «Джемини-11» астронавта Р. Гордона при монтаже кинокамеры на внешней поверхности спутника «сносило» с места проведения работ. По мнению Р. Гордона, до 80% усилий он тратил на то, чтобы удержаться на месте. Астронавты выразили мнение, что для выполнения сколько-нибудь сложных операций в открытом космосе необходимо фиксировать положение тела хотя бы в двух точках.

В космических полетах для фиксации положения астронавта использовались привязи, фиксаторы для ног, тросовая система. Астронавт Э. Олдрин, выполняя различные операции вне ПКК «Джемини-12», применял специально оборудованные на «рабочих площадках» фиксаторы. Фиксаторы для ног имели вид «колодок», в которые вставлялись ботинки. Положение тела фиксировалось с помощью двух нейлоновых тросов. Один конец крепился к скафандру у пояса, а другой конец с крючком — к петлям на корпусе корабля. Длина тросов регулировалась (45—90 см).

Согласно программе испытывались различные способы фиксации:

- только колодки для ног;
- только тросовую систему;
- колодки и тросовую систему.

Эксперименты в полете «Джемини-12» подтвердили

выводы о необходимости фиксации космонавта во время работ в открытом космическом пространстве. Астронавты ПОС «Скайлэб» при проведении ремонтных операций вне станции в местах, не оборудованных для фиксации, привязывали себя к элементам внешней конструкции станции.

В настоящее время известны разные конструкции фиксирующих устройств. Например, фиксатор в виде «треноги» с регулируемой длиной фиксирующих стержней. Такая конструкция позволяет космонавту занимать наиболее удобное положение тела по отношению к объекту обслуживания. Установка фиксатора требует ответных частей на конструкции космического объекта. Имеются фиксаторы жесткие с телескопическими штангами на шарнирных соединениях и мягкие (пояса, лямки и другие элементы). Фиксирующие устройства выполняются и в виде «жесткого» фала. По желанию космонавт может придать фалу разные формы.

Фиксирующие устройства должны не только помогать космонавту принять необходимое ему положение, но и воспринимать нагрузки при выполнении тех или иных операций. Таким образом, с помощью фиксирующего устройства космонавт может принимать определенное положение относительно объекта обслуживания, производить рабочие операции с различными инструментами. Фиксаторы не должны стеснять движения космонавта и ограничивать сферу его активной деятельности, должны быть удобны и просты в эксплуатации, а также по мере возможности универсальны.

Во время выполнения ремонтных и профилактических работ космонавту необходим не только инструмент, но и контрольно-проверочное оборудование (КПО). КПО помогает обнаружить отказ и проверить оборудование после ремонтных работ. Значительная часть КПО может быть расположена в герметизированных отсеках ПКК и ПОС, так как объем контролируемых параметров весьма велик, а это требует громоздкой аппаратуры проверки. Например, пульта управления и контроля для комплекта астрономических приборов станции «Скайлэб» были расположены в герметичном отсеке причальной конструкции.

Однако в открытом космосе могут потребоваться портативные приборы для работы за пределами гермоотсеков космических объектов. Для проведения ремонтных операций в открытом космосе могут понадобиться различные приборы и инструменты (табл. 4).

Таблица 4

Наименование инструмента	Вес, кг	Размеры, см	Расчетное использование (% от общего ремонта)
Тестовые установки	8	—	45
Детектор утечек	7	28×17,5×15	19
Отвертки (12 элементов)	0,9	—	100
Плоскогубцы	0,4	13×2,5×0,9	95
Молоток	0,17	—	7
Гаечный ключ	0,1	—	55
Пила	6	—	1,0
Электрическая дрель	1,9	18×12,5×5,2	1,0
Устройство для клепки	7,5	12,5×4,8×15	1,0
Специальный инструмент с нулевой реакцией	3,5	24,5×12,5×22,5	50—90
Электрический паяльник	0,4	—	45
Комбинированный гаечный ключ	22	—	55

Мы уже говорили, что при выполнении рабочих операций в безопорном пространстве космонавта может «закрыть», «оттолкнуть» или «развернуть». Например, при попытке затянуть гайку простым ключом космонавт без фиксации в безопорном пространстве будет вращаться в обратную прилагаемому моменту сторону. Кроме того, величины усилий, которые может приложить оператор в условиях невесомости без фиксации, значительно меньше усилий, развиваемых в обычных, земных условиях. Например, продольные усилия (толкающе-тянущие) уменьшаются приблизительно в 30—50 раз. Исключения составляют усилия на сжатие и растягивание, выполняемые обеими руками. Следовательно, необходима разработка специальных «безинерционных» инструментов для использования в открытом космосе. Этот инструмент должен быть простым в эксплуатации, по возможности унифицированным для ряда операций, а также не должен создавать реактивных сил и моментов, воздействующих на космонавта.

При конструировании подобного инструмента необходимо помнить, что оператор работает в необычных условиях, экипирован в скафандр, движения его затруднены и ограничены, обзор определяется иллюминатором гермошлема, условия освещенности на рабочем месте зачастую также необычны из-за резкого перехода света и тени. Ручки и другие детали должны быть удобны, чтобы в перчат-

ках можно было легко удерживать инструмент без значительных усилий на сжатие кисти руки. Важно также учитывать, что космонавт работает в «мягком» скафандре, который можно порвать или порезать. Если ударить молотком по массивной металлической части, он отскакивает. Отскокивающий молоток может разбить иллюминатор скафандра. Поэтому был создан «неотскакивающий» молоток с ударными поверхностями из мягких материалов.

В рамках программы «Джемини» был разработан безинерционный инструмент с малым реактивным моментом ($7,2 \cdot 10^{-4}$ кгм). Инструмент весил 3,6 кг при габаритах $26,7 \times 22,9 \times 12,7$ см. В комплект инструмента входили сменные насадки (сверло, гаечный ключ, отвертка и пр.). Питание электроэнергией осуществлялось от аккумуляторной батареи, вмонтированной в его корпус. Наряду со специальным инструментом не исключается возможность применения и привычного для работ на Земле стандартного инструмента.

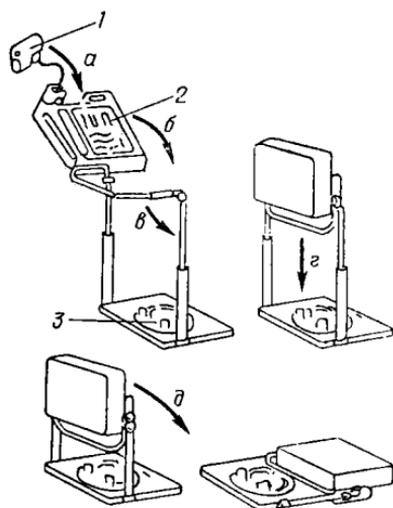
В настоящее время деятельность человека в открытом космосе значительно расширяется. Естественно, космонавту потребуются не только различные средства: фиксаторы, инструмент и пр., но и портативные унифицированные рабочие места. К ним можно отнести «рабочие площадки» ПКК «Джемини», стационарно оборудованные на внешней поверхности корабля еще на Земле. Однако подобное решение имеет ряд недостатков, в первую очередь это увеличивает габаритно-весовые характеристики космических объектов. Кроме того, нужна более гибкая возможность модификации и переукомплектации. Поэтому были разработаны проекты нестационарных рабочих мест. В основу их разработки были положены портативность, возможность размещения инструмента и необходимого оборудования, наличие фиксирующих средств, освещение и удобство работы.

Одно из наиболее простых портативных рабочих мест состоит из площадки с фиксаторами для ног, откидной рамы и хранилища инструментов. Фиксаторы вместе с привязной системой, закрепляемой на телескопическом поручне, позволяют космонавту принять удобную для работы позу.

Для облегчения подхода космонавта и его фиксации имеется временный откидной поручень. Он приводится в действие нажатием на кнопку. Откидная рама выполнена

Рис. 19. Проект «рабочего места»:

а, б, в, г, д — этапы сборки «рабочего места» из рабочего положения транспортирования и хранения; 1 — осветительная лампа на «гибком» фиксаторе; 2 — хранилище инструмента, запасных блоков и другого оборудования; 3 — поворотная платформа с фиксаторами для ног



на основе телескопических поручней, раздвигаемых по желанию космонавта.

Хранилище для инструмента состоит из ячеек соответствующих форм, сделанных из материала с удерживающими свойствами. Корпус хранилища может поворачиваться и фиксироваться под углом, удобным для работ. Монтаж его производится с помощью специальных штифтов. Вес подобного рабочего места составляет 11,3 кг, его размеры в свернутом состоянии $0,94 \times 0,43 \times 0,15$ м. Объем $0,06$ м³. Такие рабочие места предполагается использовать в течение двух часов.

На рис. 19 представлен проект более сложного рабочего места. Фиксаторы для ног могут быть повернуты космонавтом относительно вертикальной оси, что весьма удобно для выполнения работ влево или вправо от космонавта.

Хранилище для инструмента и запасных блоков имеет откидную конструкцию. На хранилище установлена лампа для освещения рабочего места. Положение лампы может изменяться по желанию космонавта. Вес подобного устройства 20 кг, размеры в сложенном виде — $0,66 \times 0,66 \times 0,25$ м.

Таким образом, для обеспечения выхода космонавта в открытый космос и активных работ за пределами герметизированных отсеков ПКК и ПОС необходимо самое разнообразное техническое оснащение — от простейших меха-

ических устройств до сложнейших индивидуальных средств перемещения.

Уже на современном уровне развития науки и техники человек может достаточно успешно работать в открытом космосе, решая разнообразные по своему характеру и содержанию задачи: сборка, ремонт, спасение, транспортировка и т. д.

Космическое пространство — чуждая для человека среда, но человек, вооруженный современной техникой, смело вступил с ней в борьбу, поставив перед собой основную цель — заставить космос служить человечеству. О первых шагах в покорении открытого космоса и пойдет речь в следующих главах.



ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА В ОТКРЫТОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Космонавту уже сегодня приходится работать в открытом космическом пространстве шесть и более часов, т. е. почти полный рабочий день. Поэтому есть основания говорить об особенностях условий этой деятельности, их влиянии на организм и качество работы космонавта. Если можно так сказать, разговор должен идти о «профвредностях» профессии космонавта, длительное время выполняющего комплекс работ вне корабля.

В чем заключается основное отличие физических параметров открытого космического пространства, если их рассматривать с точки зрения условий деятельности человека, от тех же параметров у поверхности Земли и в кабине космического корабля.

Как известно, с подъемом над поверхностью Земли давление воздуха быстро уменьшается. Уже на высоте 50 км давление и плотность воздуха уменьшаются примерно в 1000 раз. На высоте полета пилотируемых космических кораблей давление воздуха вне корабля составляет $6 \cdot 10^{-4}$ ат. Число молекул воздуха в 1 см^3 снижается с $2,7 \cdot 10^{19}$ до величин порядка 10^8 . На этих высотах атмосфера почти полностью теряет способность рассеивать свет и лучистую энергию, поглощать космическое излучение и звук. Столь разреженная атмосфера не оказывает сопротивления движению метеоритов и межпланетной пыли, которые здесь не сгорают и обладают огромной кинетической энергией.

Все это, учитывая фактор невесомости, безусловно оказывает влияние на деятельность космонавта, снижая уровень его работоспособности. С одной стороны, это связа-

но с непосредственным влиянием на человека необычных условий, а с другой — с применением защитных от этих условий средств (скафандр, гермошлем и т. д.).

Итак, основными физическими факторами открытого космического пространства, которые начинают действовать дополнительно или усиливают свое действие по сравнению с внутрикабинной обстановкой, являются: глубокий вакуум, вероятность метеоритного поражения, ионизирующая радиация и лучистая энергия солнечного излучения, невесомость и др.

Вакуум. Этот опасный для организма человека физический фактор открытого космического пространства действует быстро и необратимо.

Кислород необходим для жизнедеятельности человеческого организма, его клеток, клеток мозга. В организме человека практически нет запаса кислорода. И если без пищи он может прожить месяцы, без воды — недели, то без кислорода — несколько минут.

Пониженное барометрическое давление ведет к расширению газа в клетках нашего организма и к «закипанию» его жидких сред. Вода, а также кровь при давлении около 47 мм рт. ст. (19 200 м) закипает не при 100°C, а при 37°, т. е. при обычной температуре тела. При быстром перепаде давления газы выделяются в виде пузырьков, закупоривают мелкие кровеносные сосуды, питающие важные органы человека, сдавливают нервные окончания.

Человека надо защитить. В открытом космосе он сможет жить и работать только надежно защищенным от действия вакуума. Защита от вакуума обеспечивается с помощью специальных скафандров, в которых создается необходимое общее давление газа и парциальное давление кислорода. Чтобы избежать декомпрессионных расстройств, желательно создавать в скафандре такую же газовую среду, как и в космическом корабле. С этой целью лучше использовать жесткие скафандры, способные выносить большое внутреннее давление газа, не приводя к существенным ухудшениям условий жизнедеятельности космонавта. В то же время жесткие скафандры, как указывалось выше, ограничивают двигательную деятельность человека. Поэтому скафандры для работ в открытом космосе и скафандры для использования внутри корабля отличаются по своему устройству, системам жизнеобеспечения и средствам для передвижения.

Вакуум влияет не только на человеческий организм, но

и на различные материалы, из которых изготавливаются защитные приспособления. Из-за испарения изменяются свойства органических веществ. В сложных веществах сначала будут испаряться компоненты с более низким молекулярным весом.

В космосе бывает так, что достаточно близкие друг к другу поверхности имеют большой перепад температуры. Из-за этого снижается надежность их функционирования. Следовательно, при создании защитных приспособлений необходимо внимательно отнестись к выбору исходного материала и условиям его эксплуатации. И если указанные факторы не сразу воздействуют на механические характеристики устройств, то изменения оптических и электрических характеристик весьма вероятны.

Еще до полета космических кораблей опасности метеоритного поражения придавали большее значение, чем радиационной опасности.

Однако в настоящее время вероятность пробоя от метеоритов в стенке корабля оценивается значительно меньше. Статистические расчеты показывают, что встречи с крупными метеоритами, которые могут повредить космический корабль, довольно редки: вероятность встречи с метеоритом диаметром 4 мм на площади 90 м² — одна за 250 000 лет, а с метеоритом диаметром 0,6 мм — одна за 20 лет.

Об этом говорил еще К. Э. Циолковский. В то время была популярной гипотеза Мейера, полагавшего, что энергия Солнца поддерживается кинетической энергией падающих на его поверхность метеоритов. Критикуя эту гипотезу, Циолковский писал, что если бы Мейер был прав, то для поддержания такой энергии падения метеоритов должны быть очень частыми, и не только на Солнце, но и на Землю, «на каждый двор, имеющий в длину и ширину 14 сажень, должен падать ежедневно аэролит весом 1—3 фунта. Вывод совершенно не согласованный с наблюдениями».

Тем не менее эта опасность для космонавта, работающего в открытом космосе, вполне реальна. Его скафандр может повредить метеорит диаметром 0,16 мм, причем возможность встречи с таким телом — один раз за 2,5 года. Однако вероятность метеоритного поражения снижается эффективной защитой от этого фактора.

Во время прохождения Земли через метеорные потоки, обращающиеся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам,

плотность потока метеорных тел может резко возрастать. Тем не менее эксперименты показывают, что и в этих условиях вероятность встречи космонавта с крупным метеоритом чрезвычайно мала, практически равна нулю. Вероятность встречи с метеоритом, способным пробить защитный слой в 1,25 см из мягкого фетра или пенопласта за 18 ч нахождения в открытом космосе, составляет 0,001% (поверхность космонавта при этом расчете принята за 1,8 м²). С другой стороны, встречи космонавта с мелкими метеорными частицами, даже при отсутствии метеорных потоков, многочисленны. Действуя на скафандр, они могут постепенно разрушать его. Поэтому конструкторы скафандров должны предусматривать специальные меры защиты.

Наиболее опасным фактором, действующим на человека в открытом космосе, является ионизирующая радиация. Это прежде всего корпускулярная радиация, частицы, составляющие околоземные зоны при хромосферных вспышках, и первичные космические лучи.

Средний пояс радиации расположен на высоте от 7000 до 40 000 км и имеет два максимума — 10 000 и 17 000 км. Излучение состоит в основном из электронов с энергией от единицы кэВ до нескольких МэВ. Энергия протонов в этих максимумах около 60 МэВ. Излучение наиболее удаленного третьего пояса радиации состоит из электронов малых энергий, защита от которых не представляет труда. Пояса были обнаружены во время запусков искусственных спутников Земли. При запуске второго, а затем и третьего спутника было замечено возрастание интенсивности излучения с высотой и геомагнитной широтой. Первоначально полученные результаты свидетельствовали как бы о наличии трех поясов повышенной радиации, разделенных между собой «чистым» пространством. Однако позднее было доказано, что это аппаратный эффект, связанный с низкой чувствительностью счетчиков, чувствительных к высокоэнергетичной компоненте захваченной радиации. На самом деле радиационная зона представляет собой единое образование со сложным распределением частиц по составу и энергии.

Ионизирующее излучение Солнца, возникающее при хромосферных вспышках высокой интенсивности, на 90% состоит из протонов с энергиями от нескольких МэВ до 1000 МэВ и на 10% — из альфа-частиц (ядра гелия). На околоземных орбитах (200—300 км) вследствие экрани-

рующего влияния магнитного поля Земли это излучение будет на два порядка меньше, однако и в этом случае доза радиации от одной вспышки представляет опасность для здоровья и жизни человека. Защита человека в открытом космосе от этого вида излучения требует большого веса защитного материала. Например, толщина радиационной защиты скафандра должна иметь 2—3 см. Представьте себе общий вес, если поверхность тела человека, одетого в скафандр, равна приблизительно 2 м²! Следовательно, подобная защита практически невозможна. Поэтому целесообразней научиться прогнозировать солнечные вспышки, появление которых, вероятно, закономерно, но в настоящее время носит для нас случайный характер. Интенсивность излучения может изменяться 2—3 раза даже в течение нескольких суток, и это необходимо учитывать при выполнении программы выходов непосредственно в космическом полете.

Космические лучи представляют собой поток ядер, лишенных электронных оболочек. Это ядра различных химических элементов. Из них 98% составляют ядра водорода и гелия и 2% более тяжелые ядра. Энергия частиц огромная. Некоторые из них имеют энергию в 10¹⁸ эВ. Это поток частиц, движущихся с релятивистскими (близкими к скорости света) скоростями. Поток возникает далеко за пределами Солнечной системы как в галактике, так и вне ее и имеет одинаковую интенсивность во всех направлениях.

В окрестностях Земли наблюдаются вариации космических лучей, обусловленные энергией Солнца. Помимо генерирования самим Солнцем, наблюдаются временные снижения интенсивности потока космических лучей. Они обусловлены эффектом модуляции магнитными полями, связанными со спародическими потоками плазмы. Следовательно, и здесь прогнозирование солнечной активности может сыграть свою роль.

Биология и медицина предлагают ряд защитных, в том числе и фармакологических, средств от этого воздействия космоса. Однако можно согласиться с мнением А. Холлендера, который сравнивал развитие и перспективы радиобиологии в излагаемом плане с «историей поля боя, на котором никогда не было выиграно ни одного сражения».

Изучение теплового баланса — один из первых космических экспериментов, проводившихся с помощью спутников. Уже на первом советском спутнике имелась система

принудительной циркуляции охлаждающего агента, и его телеметрическая информация содержала данные о температурном режиме спутника. В дальнейшем эксперименты, проводимые как нашими, так и американскими исследователями, показали приемлемые цифры. Так, типичные записи температуры поверхности спутника обнаруживают периодические, связанные с периодом вращения вокруг Земли, вариации температуры в диапазоне $+2-3^{\circ}$ на ночной стороне Земли, до $+65-70^{\circ}$ — на дневной. Однако лучистая энергия Солнца влияет на организм не только тепловым воздействием.

В открытом космосе из-за отсутствия защитного действия атмосферы состав солнечного излучения существенно отличается от излучения у поверхности Земли. Лучистая энергия, заполняющая окосолнечное космическое пространство, охватывает весь диапазон электромагнитного спектра, начиная от длинноволновых радиоволн, включая инфракрасные, видимые и ультрафиолетовые лучи, и кончая областью рентгеновских лучей, граничных с космическими лучами. В открытом космосе опасность воздействия этого фактора на организм человека возрастает и требует специальных защитных средств (специальной окраски скафандров выходящего космонавта, применение светофильтров, задерживающих ИК- и УФ-излучения, и др.). Сложность создания фильтров и других защитных приспособлений связана в основном в подборе соответствующих материалов, которые должны не только задерживать и отражать вредные лучи, но и быть достаточно «светопрочны», т. е. не менять своих оптических свойств, быть прозрачными в видимой области и не давать вторичных излучений под действием рентгеновских или коротких УФ-лучей.

Существует и целый ряд психических факторов, или специфичных только для деятельности выходящего космонавта, или резко увеличивающихся по сравнению с условиями деятельности космонавта внутри корабля.

Еще К. Э. Циолковский полагал, что выход космонавта из космического корабля в полете будет связан с преодолением «боязни пространства». В дальнейшем это предположение превратилось в так называемый «психологический барьер», обсуждаемый на страницах научной и периодической печати.

Ученые считали, что этот барьер будет основываться на психическом синдроме отчуждения, когда человек рас-

смаатривает свою деятельность и особенно условия деятельности как бы извне, оценивает опасности, сопровождающие эту деятельность, и др. Большая высота, на которой космонавт оставляет уже обжитой дом — корабль и выходит во враждебную среду открытого космического пространства, вносит свою долю в сооружение психологического барьера. Огромная скорость, как таковая не воспринимаемая человеком, также оказывает психологическое воздействие, поскольку выходящий космонавт будет отчетливо представлять все опасности, связанные с пей.

Безопорное положение — новое качество невесомости. В статье «Свободное пространство» К. Э. Циолковский задавал вопрос: «А человек или животное? Помогут ли им их органы, их двигательные члены, рожденные Землей, помогут ли им сдвинуться с места, если нет кругом опоры?» И сам же отвечал: «В этом случае одушевленный предмет приравнивается по своей беспомощности к неодушевленному. Никакие страстные желания, никакие дергания рук и ног, дрыгания, производимые, нужно сказать, крайне легко, ничто такое не в состоянии сдвинуть центр тяжести человеческого тела». Трения нет, торможения никакого, любое движение бесконечно!

Человек, попавший в эти условия, даже при кратковременной самолетной невесомости в «бассейнах невесомости» не мог контролировать свои двигательные реакции. Люди инстинктивно совершают «плавающие» движения руками, стремясь удержаться в воздухе, как неумеющий плавать стремится удержаться на воде подобными беспорядочными движениями.

Советские космонавты А. Г. Николаев и П. Р. Попович впервые длительное время испытывали свои возможности в безопорном пространстве. Они освобождались от привязной системы, передвигались, пытались крепиться около нужного места. Это им удавалось. Но безопорное пространство в кабинах ПКК «Восток» небольшое: протянул руку — опора, подвинул ногу — опора, вокруг знакомые предметы, низ — пол кабины, верх — ее потолок.

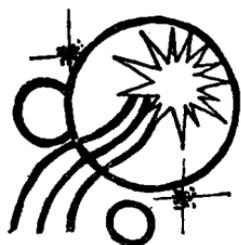
В открытом космосе возникает еще одна немаловажная особенность деятельности космонавта — безориентированность пространства.

При выходе снижаются и даже почти полностью пропадают все тактильные и мышечно-суставные ощущения. Так как между оболочками скафандра и телом имеется воздушная прослойка, то под давлением резко снижается

обратная афферентация (своеобразный самоконтроль организма, часто подсознательный, идущий по каналам обратной связи). Если в кабине корабля космонавт визуально, а также при помощи других рецепторов может определить низ и верх, то вне корабля он этого сделать не может. В открытом космическом пространстве первые импульсы, идущие от мышечно-суставного аппарата и рецепторов кожи, не дают представления о пространственном положении тела к окружающим его предметам. Они дают верную информацию о взаимоотношениях между отдельными частями тела, т. е. о «схеме тела».

Космонавт должен перейти в основном на информацию, поступающую по зрительному каналу связи. Но космическое пространство с его далекими звездами и просматриваемой Землей, которая может появиться в разных областях пространства (особенно при движении в открытом космосе), — малоопорный ориентир. Приходилось расставаться и с опорой, служащей для ориентации, и со зрением. Для определения местоположения корабля использовались присущие человеку творческие, интегральные возможности. Приведем отрывок из отчета А. А. Леонова, сделанного им после полета: «...для того, чтобы в каждый момент помнить, где находился корабль (когда он его не видел. — *Авт.*), мне приходилось вести как бы мысленную прокладку своего маршрута, учитывая, под каким углом отошел от корабля, на сколько градусов развернулся. В комплекс психологических представлений, обеспечивающих ориентировку, входило и образное представление о геометрических взаимоотношениях между видимыми в данный момент светилами и невидимым кораблем».

Таким образом, анализируя как физические, так и психические особенности деятельности человека в открытом космосе, вне корабля, можно заключить, что от вредного влияния этих факторов человека необходимо защищать не только скафандрами, но и специальными методами тренировки его организма, психологической подготовкой, которая поможет преодолеть ряд «шумов» этого ответственного этапа космического полета.



ВПЕРВЫЕ НА ОРБИТЕ ВНЕ КОРАБЛЯ

18—19 марта 1965 г. в Советском Союзе совершил полет космический корабль «Восход-2» с экипажем в составе командира П. И. Беляева и второго пилота А. А. Леонова. На втором витке орбитального полета впервые в истории человечества был осуществлен выход космонавта из герметичной кабины в космическое пространство. Этот полет явился началом нового цикла исследований, на базе которых должна строиться перспективная программа освоения космоса, ближайших планет, длительных полетов, решения ряда «рабочих» проблем космических исследований.

Программой полета ПКК «Восход-2» были определены две основные цели:

экспериментально проверить конструктивные решения выхода космонавта из корабля методом плюзования и возможность его работы в космическом пространстве;

исследовать особенности состояния и работоспособности космонавта при выходе из корабля и работы вне корабля.

В связи с этими целями нужно было решить ряд новых и достаточно сложных задач. Так, были необходимы дополнительные исследовательские и испытательные работы; в научной программе полета, а также при его подготовке потребовались новые методические приемы.

Одной из таких задач следует считать подготовку космонавтов к выполнению координированных, целенаправленных действий в условиях невесомости при выходе из корабля. В этом случае космонавт сталкивается с новым, еще малоизученным фактором невесомости — «эфф

безопорного пространства». Представление о невесомости, которое складывается у космонавта при полетах на самолете, из-за ограниченного пространства кабин преимущественно основывается на ощущениях феномена потери веса. И практически почти полностью исключается воздействие факторов, связанных с отсутствием первичного эффекта опоры для выполнения двигательной операции.

Сам выход методом шлюзования — достаточно сложная операция. Ученые ждали, и их ожидания оправдались, высокого уровня эмоционального напряжения при его реализации.

При первом выходе космонавта в открытое космическое пространство прошли своеобразную проверку и вопросы, связанные с подготовкой к комплексной деятельности не одного человека, а большого коллектива.

При подготовке к выходу и во время выхода как выходящий космонавт, так и командир корабля должны выполнить сложную систему последовательных операций. Это прежде всего подготовка и герметизация скафандра, выходного оборудования, переключение коммуникаций. Проверка систем жизнеобеспечения, каналов связи и выходного оборудования идет параллельно с экипировкой космонавта, общим управлением полетом и потому требует тщательной предварительной отработки этих этапов полета, большой концентрации внимания и помехоустойчивости к факторам полета.

Эти операции производятся в ограниченном по размерам помещении шлюзовой камеры, при значительном эмоциональном напряжении. Поэтому при радиообмене между членами экипажа, экипажем и Землей отмечаются частые повторные запросы о проведении операции, его интенсификация, двусторонние консультации. В период подготовки и во время выхода человека в космос резко возрастает циркуляция информации, необходимой космонавтам и руководителям полета для контроля состояния оператора и надежности работающих систем. Например, во время выхода американского астронавта Уайта путем разгерметизации корабля с помощью бортовой радиотелеметрической системы на Землю передавалось 275 различных видов информации, что в 3 раза превышало ее количество при обычных полетах.

Профессиографическое описание деятельности космонавта вне корабля в полете, по-видимому, должно включать две основные проблемы: передвижение космонавта

по поверхности корабля и в беспорном пространстве, а также выполнение рабочих операций в этих условиях.

Работа со страховочным фалом при удалении от корабля от 7 до 15 м требует прочных биомеханических навыков, значительной физической подготовки, вестибулярной устойчивости и хорошо развитой зрительно-двигательной координации. Наземные тренировки позволяют хорошо отработать указанные навыки.

Более сложные навыки нужны при использовании автономных двигательных установок для передвижения в открытом космосе на значительное расстояние. В этом случае важно не только найти оптимальный импульс и место его приложения по отношению к центру масс тела, но и решить ряд новых задач. Невыполнение их может привести к возникновению вращающих моментов, к «закрутке», а это, в свою очередь, — к потере пространственной ориентации со всеми вытекающими отсюда опасными последствиями.

Результаты полетных и модельных экспериментов свидетельствуют о весьма ограниченном участии афферентных систем человека в анализе динамики пространственных взаимоотношений. Не облегчает деятельность оператора в этом плане и практически безориентирное пространство космоса, ограничивающее функциональные возможности зрительного анализатора.

Движение человека в беспорном пространстве интересовало ученых давно. Так, механики прошлого века считали, что живое существо не может перемещаться и поворачивать свое тело в беспорном положении вокруг какой-либо оси. Основным аргументом при этом была ссылка на закон постоянства момента количества движений.

Ошибочность подобных утверждений впервые была доказана Марселем Дебре. Он сделал ряд фотографических снимков падающей кошки, на которых видно, что она без особого труда поворачивалась лапами книзу. Казалось, данный факт необъясним с точки зрения фундаментальных законов механики. Однако В. Л. Кирпичев доказал, что кошка поворачивается в полном соответствии с законом постоянства момента количества движений. С этими выводами созвучны данные экспериментов Р. Поля, который доказал, что человек может поворачивать свое тело вокруг продольной оси.

В полете космического корабля «Восход-2» индивиду-

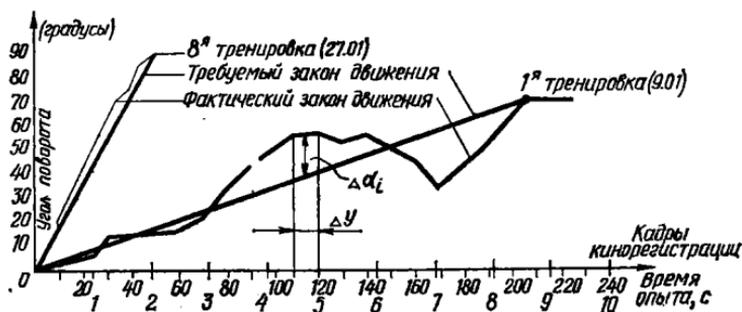


Рис. 20. Графики изменения угла поворота А. А. Леонова из вертикального положения в горизонтальное

альные средства поступательного передвижения космонавтов не планировались, ориентация и перемещение проводились с помощью опоры на фал. Поэтому специальная система психофизиологической тренировки выходящих космонавтов предусматривала:

ознакомление с биомеханическими возможностями человека в безопорном состоянии;

выработку навыков управления угловым положением тела в безопорном пространстве, перемещение в нем с помощью фала, а также предотвращение «закруток».

Поставленные задачи решались в два этапа. Первый этап включал теоретические занятия по биомеханике и специальную физическую подготовку. Второй этап включал занятия на стенде, позволяющем имитировать безопорное состояние оператора, и полеты на невесомость в самолете-лаборатории.

Упражнения на безопорном стенде вырабатывали у космонавтов умение ориентировать и стабилизировать свое тело в пространстве с помощью фала, осуществлять поступательное движение к данному месту и предотвращать возможные закручивания (рис. 20). Занятия на безопорном стенде чередовались с тренировкой при полетах на невесомость, в процессе которой окончательно отрабатывалось умение координировать и соизмерять усилия при перемещениях (отход от шлюза, остановка с помощью фала, ориентация по отношению к шлюзу и возвращение к нему).

На отработку указанных навыков было выделено наибольшее количество режимов невесомости. Последовательность отработки биомеханики движений была следующей: отход от шлюзовой камеры, остановка с помощью фала (стабилизация) и подход к шлюзу. Причем для выработки плавного, без разворотов, подхода к шлюзовой камере с помощью фала потребовалось меньшее количество режимов невесомости, чем на отработку отхода от нее. Это объясняется влиянием стендовой тренировки, а также тем, что тянущий принцип перемещения человека в безопорном положении по сравнению с толкающим эффективнее и проще. Движения космонавтов на стенде и в условиях невесомости регистрировались с помощью кино съемки, по результатам которой составлялись графики угловых перемещений, скорости и ускорений центра масс тела космонавта и отдельных его биомеханических звеньев. Это позволяло оценивать качество двигательной деятельности.

В табл. 5 приведены итоговые расчеты основных параметров движения трех операторов, в процессе которых учитывались результаты первой и девятой тренировок.

Таблица 5

Параметры	I		II		III	
	9.1.65	27.1.65	30.12.64	27.1.65	9.1.65	25.1.65.
Е см	39,6	2	21,8	20,4	61,5	17
см	16,9	7,7	10,3	7,1	13,8	12,4
с	8,5	1,54	3,3	2,7	1,33	7,3
см	64	22,4	55	18	77	30
см/с	47,5	40	53,6	28,4	98	34
см/с	240	192	100	92	276	122
см/с ²	1580	1024	890	400	1024	690
%	20,2	46,7	31,7	52,5	27,6	34,8

Как видно из табл. 5, почти во всех случаях в ходе тренировок изучаемые параметры движений улучшались.

Обобщенную оценку влияния тренировок на качество выполнения упражнений дает критерий качества $K_{об}$. Для принятых условий $K_{об}$ будет равен 100% в том случае, если заданные требования выполняются полностью, и меньше 100%, если они выполняются частично. В результате тренировок качество выполнения упражнения повысилось у всех операторов: у I—на 26,5%, у II—на 21%, а у III—на 7,2%.

Деятельность космонавтов в период подготовки и проведения шлюзования, выхода их в открытый космос анализируется по трем направлениям:

психофизиологический анализ работы космонавтов по обеспечению выхода;

биомеханический анализ деятельности второго пилота во время выхода;

динамика эмоционального напряжения космонавтов при выходе второго пилота.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

СОСТОЯНИЯ ЭКИПАЖА ПКК

«ВОСХОД-2»

В ПРОЦЕССЕ ВЫХОДА

На операции, связанные с выходом второго пилота из корабля в космическое пространство и его возвращением, было запланировано 120 мин. За это время предстояло произвести шлюзование второго пилота «корабль—шлюз—космос», осуществить три «отхода—возвращения» на 5—7-метровое расстояние от корабля, оценить особенности свободного плавания в космическом пространстве, сориентировать свое тело по отношению заданных осей координат, произвести ряд запланированных поворотов и выполнить работы по монтажу и демонтажу киноустановки. Программа выхода заканчивалась обратным шлюзованием космонавта «космос—шлюз—корабль».

Космонавт П. И. Беляев должен был выполнить более 50 целенаправленных двигательных актов и 15 контрольных операций. Космонавт А. А. Леонов соответственно — 41 и 9. В течение этого же времени экипаж провел 460 сеансов связи. Следовательно, весь процесс выполнения «выхода — входа» вторым пилотом на космическом корабле в полете представлял собой сложный вид деятельности, состоящей из ряда ответственных последовательных операций.

Элементы деятельности экипажа корабля «Восход-2» анализировались методом качественного сравнения алгоритмов, зарегистрированных в полете, с алгоритмами, которые были получены во время заключительных тренировок по отработке действий по выходу из корабля на тренажере-имитаторе.

Полученные результаты показали, что экипаж космического корабля «Восход-2» с поставленными задачами

справился успешно. Однако отдельные этапы выхода сопровождались повышенной эмоциональной напряженностью. Так, при тренировках в термобарокамере космонавты вели необходимые по операциям переговоры в строгом соответствии с программой. В реальном полете в радиопереговорах напряженность космонавтов находит свое разрешение в элементах юмора, шуток, обращении в запросах по именам, а не по позывным и т. д. На некоторых этапах полета у космонавтов психическая напряженность проявлялась в уменьшении объема внимания, в переключении внимания, в «забывании» отдельных запрограммированных вспомогательных действий и т. п.

Деятельность командира в подготовительном к выходу периоде была стабильной и строго соответствовала программе. Командир корабля П. И. Беляев четко руководил действиями А. А. Леонова, придерживаясь отработанной на тренировках программы. Так, в процессе учебных тренировок за один контрольный этап командир корабля вступал в радиосвязь с «Землей» 28 раз, в реальном полете на этом же этапе и за это же время он провел 29 радиообменов.

При исследовании состояния напряженности в первых полетах молодых летчиков отмечается своеобразная двигательная и психическая скованность.

Состояние напряженности проявляется в вегетативных изменениях (учащении сердцебиения, нарушении ритмов дыхательных движений и т. п.). Эмоциональная напряженность была и у экипажа корабля «Восход-2». На рис. 21 приводятся некоторые характеристики вегетативных функций во время выхода. Динамика частоты пульса (сплошная линия) и дыхательных циклов (штрихпунктирная линия) показана на фоне аналогичных данных, полученных на тренировках в барокамере. На верхнем участке рисунка (А. А. Леонов находился вне корабля) синхронно по времени указаны основные моменты радиотелефонных переговоров «Беляев—Леонов». Это дает представление о деятельности экипажа в данном отрезке времени. Всего за этот период было 135 радиопереговоров.

На рис. 21 видно также, что за 7 мин до открытия люка ШК и первого знакомства А. А. Леонова с открытым космосом частота пульса у него колебалась в пределах 87—90 уд/мин и не превышала частоту пульса на этом этапе в термобарокамере. Однако сразу после открытия люка частота пульса у А. А. Леонова начинает расти

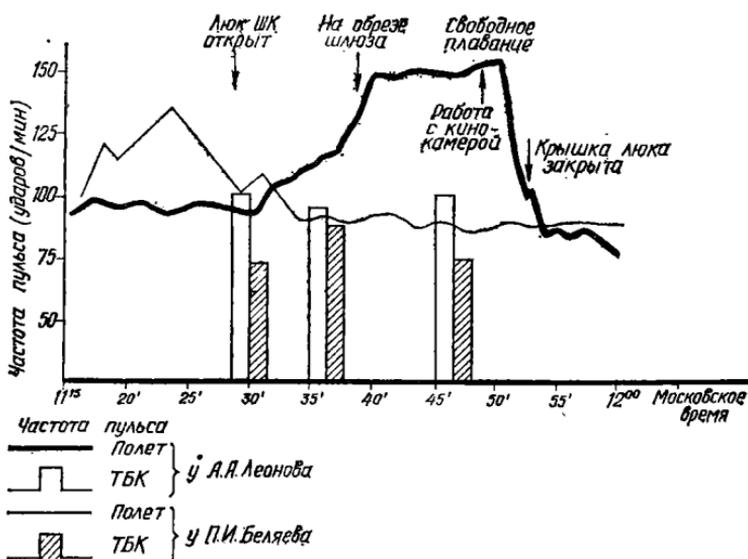


Рис. 21. Динамика некоторых характеристик вегетативных функций во время выхода в открытый космос второго пилота ПКК «Восход-2»

и за 6 мин возрастает на 60 ударов, достигая 147—162 уд/мин.

За 6 мин А. А. Леонов вышел из шлюзовой камеры в космическое пространство и снял крышку кинокамеры. Учащению пульса способствовала физическая нагрузка (выполняя различные действия, передвигаясь, он преодолевал сопротивление наддутого скаффандра), но главное — значительный эмоциональный стресс: ведь он делает первый шаг в свободном космическом пространстве. Ведь совершалось то, о чем могли мечтать фантасты, — человек открыл дверь космического корабля и смело шагнул в открытое космическое пространство.

Через минуту А. А. Леонов несколько освоился с положением. Частота сердечных сокращений в течение последующих 7 мин стабилизируется.

Напряженность на первых этапах подготовки и во время выхода А. А. Леонова в космос заметно снизила устойчивость выработанных оперативных навыков как у второго пилота, так и у командира. Об этом свидетельствует характер переговоров между космонавтами. В переговорах

появились вопросы, которых не было во время наземных тренировок.

На следующих этапах работа командира стабилизируется и выполняется строго по программе. Командир корабля ведет себя рационально, стараясь укрепить уверенность у второго пилота: «Дела хорошо», «Пульс, дыхание хорошие», «Ну, Леша, спокойненько, осмотрись, все в порядке у меня. Давление в баллонах хорошее, пульс, дыхание отличные».

На пятой минуте после выхода в космос А. А. Леонов снижает давление в скафандре до 0,27 атм. Это улучшает его подвижность. Перед возвращением в шлюзовую камеру А. А. Леонов отметил некоторое затруднение с демонтажом кинокамеры («Паша, никак не могу оторвать кинокамеру»). При этом частота пульса сразу возрастает на 12 уд. Когда А. А. Леонов возвратился в шлюз, П. И. Беляев не торопит его: «Леша, отдохни, ничего не говори», и только после этого приказывает: «По готовности доложить закрытие крышки».

После закрытия крышки люка частота сердечных сокращений у А. А. Леонова падает: через минуту со 160 до 138 уд, через две минуты до 117, через четыре минуты до 91 уд, т. е. спустя четыре минуты после входа в шлюз частота пульса приходит к норме. Частота дыхательных циклов в этот период полностью коррелировала с частотой сердечных сокращений. Коэффициент корреляции составляет 0,85. Войдя в шлюз, как сообщил А. А. Леонов, он вынужден был сделать в нем несколько оборотов, вращал головой, энергично перемещался. Эти действия представляют интерес с точки зрения переносимости многоплоскостных вращений в условиях невесомости.

Иная картина физиологических реакций на этом же этапе полета отмечалась у командира корабля. Наибольшая частота сердечных сокращений и дыхания наблюдается у П. И. Беляева за 7—10 мин до открытия люка шлюзовой камеры, что совпадает с наиболее напряженным и ответственным участком работы командира экипажа (управление системой шлюзования, радиопереговоры и др.).

После открытия люка частота пульса у П. И. Беляева начинает снижаться и через пять минут достигает уровня, отмеченного в термобарокамере при выполнении аналогичных операций (94 уд/мин).

Итак, рабочие операции по шлюзованию, выходу вто-

рого пилота в космос, отходу его от корабля и возвращению в кабину относятся к сложным видам целенаправленной, точной и строго регламентированной деятельности, протекающей на фоне высокого напряжения космонавтов. Выполнение этих операций в полете показывает возможность проведения в условиях космоса целенаправленной продуктивной рабочей деятельности при определенной профессиональной и специальной предполетной психофизиологической подготовке членов космического экипажа.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ А. А. ЛЕОНОВА В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ

Новизна задачи выхода в космос, разнообразие научно-технических и медико-биологических вопросов, высокий уровень эмоциональности — все это ограничило объем биомеханических исследований изучением общих закономерностей.

В программу исследований входило выполнение следующих упражнений:

удаление от корабля — отталкивание руками от выходного шлюза;

подходы к кораблю — подтягивание на фале;

повороты тела вокруг своего центра масс на 90° , с опорой на гибкий фал;

выполнение ряда рабочих операций.

В таблице 6 представлены параметры движения космонавта при отходе от корабля и подходе к нему в заключительных тренировках на самолете и при выходе в космос.

Сопоставление этих параметров показывает, что отход от корабля в космосе мало отличается от подобных движений в тренировочных полетах на самолете. По времени они занимают около четырех секунд. Время и кинетические параметры подходов также близки к тем, которые были получены при последних тренировках в самолете. Большое практическое значение имеет оценка степени сохранения выработанных на земле двигательльно-координационных навыков при передвижении в космосе. Параметры движений были получены на основе сравнения максимальных скоростей и ускорений, а также развиваемых при этом физических усилий.

Таблица 6

Параметры	Тренировочные данные на самолете (заключительный этап)		Данные при выходе в космос		
	отход	подход	I отход	II отход	подход
Время выполнения, с	3,95	9,4	4,08	4,17	10,4
Средняя скорость движения, см/с	12,7	53	10,4	73	48
Максимальная скорость, см/с	153	127	160	77,8	150
Максимальное ускорение разгона, см/с ²	235	79	325	157	132
Максимальное ускорение торможения, см/с ²	300	98	700	125	36
Максимальное усилие при разгоне, кг	23,5	7,8	32,2	15,5	13
Максимальное усилие при торможении, кг	29,7	9,7	69	12,4	3,56
Длина пути, см	500	500	425	304	500

Как видно из таблицы, параметры движения за время полета изменялись незначительно. Однако иногда в полете усилия, прилагаемые к фалу, достигали 70 кг. Это можно объяснить тем, что фал непрочно держался в руках и космонавт не успевал плавно погасить скорость. Несмотря на то что трос, соединявший А. А. Леонова с кораблем, мог выдерживать нагрузки до 5000 кг, неудачное положение космонавта во время рывка могло вызвать напряжение скафандра и его повреждение.

Известную опасность могут представлять и случайные удары космонавта о корабль при сближении. Если, например, допустить, что космонавт, приближаясь к кораблю, получил закрутку и при подходе не мог смягчить удар руками или ногами, то в зависимости от того, чем и как он ударится, сила удара может быть весьма значительной. В неблагоприятном случае сближение с кораблем даже со скоростью 100 см/с может вызвать удар силой 100—150 и более кг. Для оценки качества выполнения заданных упражнений в полете и сравнения их с качеством выполнения этих же упражнений на тренировках предложен обобщенный критерий качества K , определяемый из равенства: *

* Расчеты Е. А. Иванова.

$$K = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt}}}{P_i} [\%], \quad (6)$$

где P_{opt} — требуемое значение каждого из параметров;
 P_i — фактическое значение параметров;
 N — число учтенных параметров, характеризующих качество выполнения упражнения.

Например, для характеристики качества выполнения сближения с кораблем учитывались следующие параметры:

средняя продолжительность Δg и средняя величина отклонения Δa тела оператора от положения, свойственного движению тела в процессе выполнения упражнения;
 полное время выполнения упражнения, t_b ;
 время, нужное для сближения с кораблем, t_c ;
 общее число выполнения упражнения, $n_{\text{общ}}$;
 число правильно выполненных упражнений, $n_{\text{пр}}$;
 число грубых ошибок, допущенных в процессе выполнения упражнения, $n_{\text{ош}}$.

В этом случае обобщенный критерий качества выполнения упражнений K определяется из соотношения:

$$K = \frac{1}{5} \left(\frac{\Delta a_{\Gamma}}{\Delta a_i} + \frac{\Delta \Gamma_n}{\Delta \Gamma_i} + \frac{t_{c\Gamma}}{t_{bi}} + f \frac{t_c}{t_i} + \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{ош}}} \right) 100 [\%], \quad (7)$$

где

$$f = \frac{1}{n_{\text{общ}} + 1}.$$

При сближении космонавта с кораблем эти величины имели следующие значения: $\Delta a = 3,34^\circ$, $\Delta g = 2,17$ с, $t_c = 7,5$ с, $t_s = 11$ с, $n_{\text{ош}} = 0$, $n_{\text{пр}} = 1$, $n_{\text{общ}} = 1$, $n_{\text{общ}} = 1$. Обобщенный критерий качества выполнения сближения составил 39,7%.

Нужно сказать, что качество выполнения упражнений А. А. Леоновым в космосе ниже качества выполнения этого же упражнения в самолете-лаборатории при полете его по траектории Кеплера на последних тренировках ($K = 57-60\%$), но существенно выше, чем на первых тренировках ($K = 27-28\%$). Тренировки, проведенные в полетах на невесомость, а также на стендах, имитирующих безопорное пространство, оказали существенное положи-

тельное влияние на становление соответствующих двигательного-координационных навыков.

Развороты вокруг вертикальной оси тела на 90° А. А. Леонов успешно выполнил за две секунды. В процессе тренировок на земле и в полетах на самолете был выработан характерный навык управления движением, придерживаясь рукой за фал, вблизи центра масс своего тела. Это позволило предотвратить «закрутки» (неуправляемые вращения тела). Хорошая пространственная ориентировка позволила А. А. Леонову производить повороты точно на заданный угол. Однако в одном случае и он не смог быстро парировать произвольное вращение вокруг сагиттальной оси, достигшее скорости десятков угловых градусов в секунду. В этот момент А. А. Леонов прикладывал силы до 10 кгм. Это возможно лишь в положении, когда космонавт отводил руку с фалом на значительное расстояние от центра масс своего тела, что и вызвало такое вращение.

У человека в беспорядочном малоориентированном пространстве страдает функция «субъективной системы координат», нарушается принцип действия системы соотнесения «человеческого пространства восприятия» с единственно константной для обычной жизни величиной — силой земного притяжения, действующей вертикально к поверхности Земли при любом положении тела человека. Однако, находясь в открытом космосе, А. А. Леонов не терял пространственной ориентации, потому что придерживался условной ориентации, выработанной на Земле и определяемой координатными осями корабля.

Космонавт полностью выполнил все предусмотренные рабочие операции при выходе из корабля. Он произвел монтаж-демонтаж киноустановки, провел радиорепортаж и ряд научных наблюдений.

АНАЛИЗ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭКИПАЖА ПРИ ПОДГОТОВКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ ВЫХОДА А. А. ЛЕОНОВА В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС

В повести «Вне Земли» К. Э. Циолковского мы читаем о переживаниях героя: «Когда открыли наружную дверь и я увидел себя у порога ракеты, я обмер и сделал судорожное движение, которое и вытолкнуло меня из ракеты.

Уж, кажется, привык я висеть без опоры между стенами этой каюты, но когда я увидел, что подо мной бездна, что нигде кругом нет опоры, со мною сделалось дурно, и я опомнился только тогда, когда вся цепочка уже размоталась и я находился в километре от ракеты».

А вот слова А. А. Леонова из его послеполетного отчета: «...те 20 минут, которые мне довелось побывать в условиях космического пространства, в том числе вне корабля 12 минут, были «изюминкой» полета корабля «Восход-2».

Полетное задание, как мы уже говорили, А. А. Леонов выполнил полностью, однако были моменты значительного эмоционального напряжения, в той или иной степени оказывающие влияние на его состояние.

Мы не ставили себе целью раскрыть вообще причины возникновения эмоционального напряжения у человека, и даже только у космонавта. Этот вопрос требует отдельного обсуждения. Мы будем говорить о причинах эмоционального напряжения человека, выходящего в открытый космос.

Одной из причин возникновения эмоционального напряжения выходящего космонавта можно считать необычность окружающей среды, повышенную вероятность появления сложной ситуации, заботу о своей жизни, обусловленную древним инстинктом самосохранения. С этим спорить не приходится. Соприкосновение человека с космосом таит в себе больше опасности, чем полет в кабине корабля. Однако эмоции выходящего космонавта не могут быть сведены только к чувству самосохранения.

Большое значение в генезисе эмоций человека, выходящего в открытый космос, имеет стремление к достижению поставленной цели. В открытом космосе человека окружает все необычное. Делая каждый новый шаг, космонавт анализирует явления, стремясь не пропустить то, что в будущем сделает его деятельностью более рациональной, более полезной, т. е. как бы накапливает опыт, при необходимости используя и совершенствуя его.

И еще одна причина эмоционального напряжения космонавта — это, по теории П. В. Симонова, дефицит прагматической информации, т. е. недостаток сведений о среде функционирования и навыках, необходимых для выполнения поставленных заданий в этой среде. Как было сказано выше, в ходе подготовки экипажей, в программе полета которых запланирован выход в открытое космическое пространство, не удастся полностью моделировать физичес-

кие условия безопорного пространства. Поэтому между прогнозируемым представлением о безопорном пространстве и реальными ощущениями появляются рассогласования. В этом также одна из причин эмоционального напряжения.

Эмоциональное напряжение выходящего космонавта оценивалось по спектральному анализу его речи, поступающей на Землю по каналам связи (магнитофонные записи радиопереговоров между космонавтами, а также между ними и Землей во время полета). Основное внимание уделялось анализу элементов речи в период подготовки и выхода второго пилота в космическое пространство. Для сравнения изучались записи радиопереговоров этого же периода, полученные при тренировках в термобарокамере (ТБК). Из радиопереговоров выбирались наиболее часто встречающиеся типовые фразы, которые использовались в радиообмене при тренировках в ТБК и в полете на одних и тех же этапах, при выполнении одних и тех же операций.

Для исследования были отобраны следующие фразы: «Я — Алмаз», «Самочувствие отличное», «хорошо», «понял», «к выходу готов», «прохожу обрез». Заданным условиям наиболее соответствовали две фразы: «Я—Алмаз» и «Самочувствие отличное». На рис. 22 графически показана динамика второй формантной частоты для фразы «Я — Алмаз» и ее спектральной амплитуды в одинаковых ситуациях полета и тренировки в ТБК. После объявления «готовность одна минута» степень эмоционального напряжения повышалась (формантная частота $f=630$ гц). На других этапах полета — «подготовка к старту», «подготовка к выходу» — значение формантной частоты уменьшается ($f=400-500$ гц), что свидетельствует о снижении эмоционального напряжения у космонавта. Во время выхода («люк ШК открыт») эмоциональное напряжение вновь растет ($f=630$ гц). И наконец, после возвращения космонавта в корабль наблюдается уменьшение формантной частоты ($f=500$ гц).

Следует отметить, что на некоторых участках полета максимальные частоты одинаковы. В этом случае для дифференцирования степени эмоционального напряжения используются спектральные амплитуды этих частот. Если рассматривать соотношение спектральных компонент для одинаковой формантной частоты ($f=630$ гц), то видно, что степень эмоционального напряжения космонавта в мо-

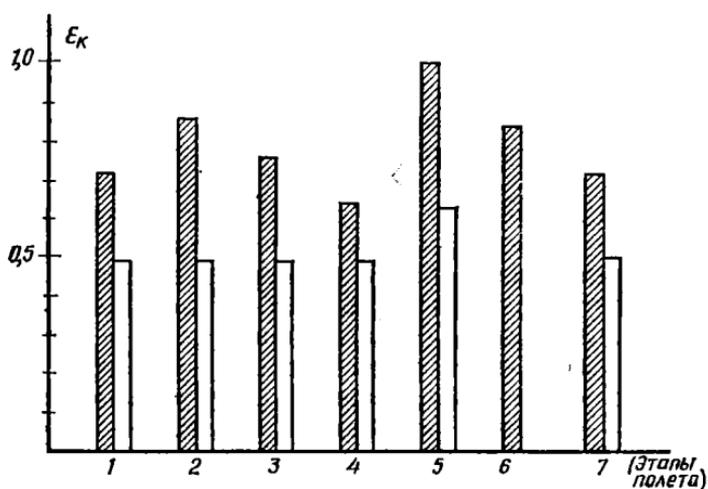
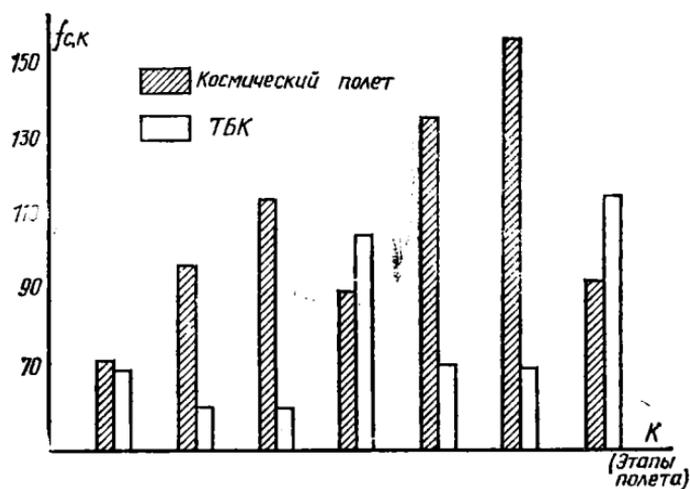


Рис. 22. Динамика второй формантной частоты для фразы «Я — Алмаз» и ее спектральной амплитуды в одинаковых ситуациях полета и тренировки:

1 — подготовка к старту; 2 — «готовность одна минута»; 3 — «активный участок»; 4 — подготовка к выходу; 5 — выход в космос («люк ШК открыт»); 6 — «свободное плавание»; 7 — в камере ШК (после входа в нее из космоса)

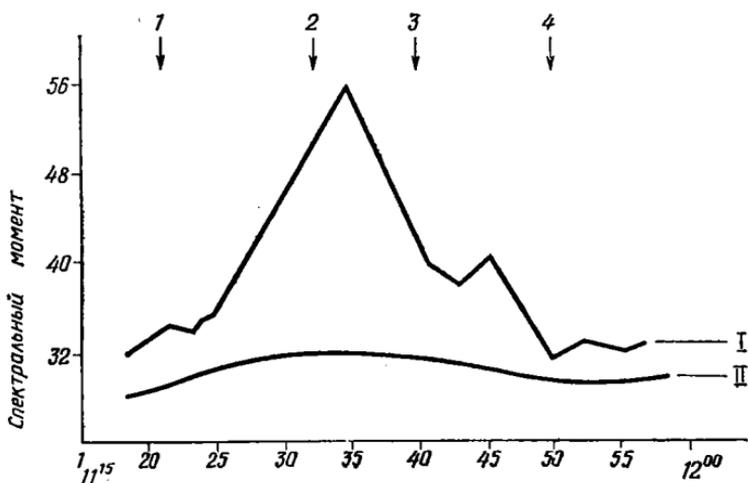


Рис. 23. Результирующий график эмоционального напряжения космонавта во время выхода:

I — в условиях полета; II — в условиях ТБК; 1 — подготовка к выходу; 2 — во время открывания люка; 3 — во время свободного плавания; 4 — после закрытия люка

мент выхода была больше, чем во время минутной готовности (спектральная амплитуда здесь меньше).

Характер изменения спектральных амплитуд свидетельствует о большем эмоциональном напряжении на этапе «свободное плавание», чем на других участках.

На этапах «подготовка к старту» и «в камере ШК» (после входа в нее из космоса) эмоциональное напряжение примерно одно и то же (одинаковые спектральные амплитуды на частотах $f = 500$ гц).

Более отчетливо динамика эмоционального напряжения видна из графика, построенного на основе интегральной оценки формантных частот и их спектральных амплитуд (рис. 23). Этот график показывает тенденцию и характер развития эмоционального напряжения на разных этапах полета. Ординаты этого графика пропорциональны формантным частотам с учетом их спектральных амплитуд.

Так, если в условиях ТБК напряженность на фоне всего «полета» почти одинаковая, с незначительным подь-

емом в момент открытия люка ШК (II), то полетная кривая (I) лежит на более высоком уровне и имеет два ясно выраженных подъема, соответствующие этапам «минутная готовность» и «выход». Характерно, что большее значение напряженности отмечается во втором случае.

Следует отметить, при тренировках в ТБК изменения в динамике частоты сердечных сокращений обусловлены как эмоциональным, так и физическим напряжением. В ТБК преобладало физическое напряжение на сравнительно низком эмоциональном фоне. Это подтверждается динамикой результирующего показателя в полете, когда физические усилия были сравнительно малыми и изменения (они видны на графике) возникали в основном за счет эмоционального напряжения.

Дополнительная информация была получена при изучении амплитудных огибающих выбранных фраз. Нужно было проверить и уточнить достоверность полученных и описанных выше результатов интонационной характеристики речи космонавтов. Для этого было решено воспользоваться принципом моделирования человеческих эмоций с помощью актерского перевоплощения. При этом актеру задавался не характер интонации («радость», «тревога» и т. д.), а та или иная ситуация, что должно было вызвать у него соответствующее эмоциональное напряжение.

В основных контрольных опытах участвовали 15 актеров и учащихся студии Московского театра «Современник» (совместная работа с П. В. Симоновым и М. В. Фроловым). Актеры разыгрывали сцены, соответствующие полетным, используя текст фактического радиообмена. Электрокардиограмма в момент записи речевых реакций давала возможность убедиться, истинно ли эмоциональное напряжение или актер воспроизводит соответствующие ситуации чисто подражательно, оставаясь совершенно спокойным. Существенные изменения сердечного ритма у большинства актеров подтверждают первое предположение. А это значит, что результаты опытов сопоставимы с естественными реакциями космонавтов, подтверждая достоверность полученной в полете динамики эмоционального состояния.

В заключение этого раздела мы хотели бы привести высказывания летчика-космонавта А. А. Леонова — первого человека, осуществившего выход в открытый космос, — о подготовке этого эксперимента, его проведении

и субъективных впечатлениях. Нам кажется, научный анализ субъективных чувств человека-первопроходца дает некоторую иллюстрацию к психофизиологическому, биомеханическому и эмоциональному анализу.

«...Мы начали готовиться к нему (к выходу в космос.— Авт.) задолго до его осуществления, с момента прибытия в Звездный городок. Практически мы готовились одновременно с подготовкой корабля, в период работы ученых и конструкторов над специальным оборудованием и модернизацией корабля «Восход»...

Много усилий было приложено к тому, чтобы создать тренажеры, которые позволили бы максимально приблизить тренировку к реальным условиям полета. Так, моделировался корабль, шлюзовая камера, в термобарокамере создавался глубокий вакуум. И вот мы, облаченные в скафандры, этап за этапом отработывали все действия.

Когда необходимые навыки были достаточно закреплены, перешли к занятиям в специальном самолете-лаборатории Ту-104, создающем кратковременную невесомость.

Большое внимание было уделено вестибулярным тренировкам...

И вот наступило 18 марта 1965 г. После выхода на орбиту мы приступили к подготовке эксперимента. Провели вестибулярную пробу, о чем каждый из нас сделал запись в бортовом журнале. Перед выходом в шлюзовую камеру, находясь в кабине корабля, я с помощью командира надел ранец с автономной системой жизнеобеспечения. Мы вместе проверили работу оборудования, систем и аппаратуры регистрации физиологических параметров, которые должны были замеряться во время свободного плавания в космосе, и параметров скафандра. Выравнили давление в камере и в кабине. Затем открыли люк из кабины корабля в шлюзовую камеру, через который я выплыл в камеру. Дал давление в скафандр, с герметичностью все в порядке, закрыл шлем, положение светофильтра на нем правильное. Проверив подачу кислорода в скафандр, еще раз мысленно представил себе все операции по выходу из корабля и приготовился к выходу в космическое пространство...

Павел Иванович закрыл крышку люка кабины корабля. Стравив давление из камеры, я открыл крышку люка-выхода из шлюзовой камеры. Ослепительный сноп солнечного света заполнил шлюзовую камеру. Путь во Вселен-

ную открыт. Мне не терпелось поскорее выглянуть наружу. Запрашиваю командира, но он говорит, что все должно идти по плану, торопиться не нужно. Подождал еще немного. Наконец, все готово, можно выходить.

Первое, что бросилось в глаза,— это мощный яркий поток света. Солнце светило так, будто вы смотрите очень близко на электросварку. По заданию я должен был надеть светофильтр сразу и полностью. Однако мне хотелось посмотреть на Вселенную без него. Для этого оставил миллиметров 30 свободного просвета.

Сам выход занял 3—4 секунды, не более. Вышел, остановился у шлюза и тут понял, что все-таки оказались правы те товарищи, которые еще на Земле сказали, что надо полностью закрыть светофильтр. И я тут же это сделал. Необъятный космос предстал передо мной во всей своей неопишуемой красоте. Первый взгляд на Землю. Она величественно проплывала перед глазами. Земля казалась плоской. И только кривизна горизонта напоминала о том, что она все-таки шар. Несмотря на достаточно плотный светофильтр, я видел яркие облака, лазурь Черного моря, кромку побережья, Кавказский хребет, Новороссийскую бухту.

Наступила пора полностью отойти от корабля. Тот момент, к которому столько времени готовились, наступил: слегка оттолкнувшись от люка, отделяюсь от корабля. Все дальше и дальше отхожу от него. Фал, посредством которого я был прикреплен к кораблю, растянулся на всю длину, и мое движение от корабля прекратилось. Небольшое усилие при отталкивании от корабля привело к незначительному его угловому перемещению. И перед моими глазами наш чудесный космический аппарат стал медленно разворачиваться.

Я ожидал увидеть резкие контрасты света и теней, но ничего подобного не было. Находящиеся в тени части корабля были достаточно хорошо освещены отраженными от Земли лучами Солнца. Немного потянув на себя фал, я стал приближаться к борту. Затем снова оттолкнулся от корабля и, поворачиваясь вокруг поперечной оси, начал отходить от него. Открылось величие космического простора. То я видел яркие немигающие звезды на фоне темно-фиолетового с переходом в бархатистую черноту бездонного неба, то Землю.

Через некоторое время я довольно энергично подтянулся, взявшись за фал, и был вынужден руками оборо-

няться от корабля, который начал стремительно на меня надвигаться. Прежде всего я подумал о том, как бы не удариться иллюминатором гермошлема о корабль. Но, приблизившись к шлюзу, самортизировал удар руками.

Это оказалось очень легко сделать, и я убедился в том, что, приноровившись, можно достаточно четко и координированно передвигаться в таких необычных условиях. Самочувствие у меня было отличным, настроение бодрым, расставаться со свободным космосом не хотелось. Я еще раз оттолкнулся от кромки люка, чтобы проверить, отчего получаются угловые скорости в первый момент после толчка. Оказалось, что малейшее смещение направления силы толчка приводило к вращению в соответствующей плоскости. По-видимому, людям, которые будут работать в космосе, еще немало предстоит потренироваться над фиксацией тела в состоянии невесомости. Что же касается так называемого психологического барьера, который якобы должен был явиться непреодолимой преградой человеку, собирающемуся встретиться один на один с космической бездной, то я его не только не ощутил, но даже забыл о том, что он может быть вообще. Некогда было о нем думать.

...П. И. Беляев приказал мне войти в корабль. Это над Енисеем. Я немедленно стал выполнять приказ. Снял киноаппарат, который запечатлял мой выход в космос на киноплёнку, и пытался сразу же войти в люк шлюзовой камеры, но это оказалось непростым делом. Все-таки движения в скафандре несколько ограничены, к тому же мешала кинокамера: когда я стал входить, она выплыла ко мне навстречу. Потребовались довольно большие физические усилия, и мое прощание с космосом несколько затянулось. Наконец, я снова находился в шлюзе, а через некоторое время я уже был в кабине...

Несмотря на довольно солидную физическую работу, которую мне пришлось совершить, автономная система жизнеобеспечения оказалась вполне надежной, и я не ощущал недостатка воздуха или неблагоприятных колебаний температуры. Но, уже сидя в кресле, почувствовал, как струйки пота стекают по лбу и щекам. По-моему, еще рано, как это делают некоторые журналисты, сравнивать космос с местом увлекательных прогулок. Я уверен, что не будь тех многих месяцев всесторонней подготовки, мне не удалось бы решить поставленную задачу».

Так был подготовлен и реализован первый выход чело-

века в открытое космическое пространство. Программа полета была выполнена, а мы стремились показать некоторые его особенности. Этот полет был начальным шагом. На прессконференции после полета академик М. В. Келдыш сказал: «Осуществление проведенного эксперимента по выходу человека в космос — одно из самых замечательных свершений на пути освоения космоса. Это событие знаменует собой начало качественно нового этапа в исследованиях Вселенной. Теперь открываются новые грандиозные перспективы создания орбитальных станций, стыковки космических кораблей на орбите, проведения астрономических и геофизических исследований в космосе. В недалеком будущем на орбите вокруг Земли можно будет создавать Космический научно-исследовательский институт, в котором смогут работать ученые самых различных специальностей».

Следующий шаг к этому сделали полеты наших славных «Союзов» — «Союз-4», «Союз-5», но об этом уже в другом разделе книги.

Итак, в результате космического полета ПКК «Восход-2»

получен первый опыт жизнедеятельности космонавта в открытом космосе;

успешно прошли испытания технические средства обеспечения выхода: ШК «мягкого» типа, скафандр, автономная СЖО, фал и пр.;

получены первые данные о физическом и эмоциональном напряжении космонавта практически в безопорном пространстве;

проведены исследования влияния движений космонавта на его угловое вращение и получена оценка способности маневрирования с помощью фала;

проведены операции монтажно-демонтажного характера.



СМЕНА ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ В ПОЛЕТЕ («СОЮЗ-4» — «СОЮЗ-5»)

Мы уже привыкли, что во время долговременных трудоемких и порой уникальных экспедиций на Земле происходит смена экипажей, съем накопленной информации. Также и космические экспедиции: переход части экипажа в космический корабль «Союз-4» из «Союза-5», заселение станций «Салют» и «Скайлэб», взаимные посещения экипажей «Союза» и «Аполлона». Именно смена экипажей космического корабля в полете, как было сказано выше, может потребовать выхода человека в открытый космос. Правда, на стационарных больших станциях, по всей видимости, будут использованы туннельные переходы, как в комплексах «Салют» и «Скайлэб» или «Союз—Аполлон». Однако способ перехода через открытый космос будет сохранен, так как в этом случае не нужны специальные сложные стыковочные узлы с герметичным туннельным переходом. Кроме того, необходимо иметь в виду, что смена экипажей через открытый космос может потребоваться и при отказах в системах стыковки, когда образование герметичного туннельного перехода практически невозможно, а также при организации спасательных работ с ПКК или ПОС. В такой ситуации переход может быть реализован с помощью несложного стыковочного устройства общенационального типа.

Но этот переход будет возможен несколько позже, после того как два пилотируемых объекта обнаружат друг друга в необъятных просторах космоса, определят свои координаты, рассчитают программу сближения, сойдутся на орбите, произведут жесткую стыковку...

Стыковка космических кораблей состоит из трех основ-

ных этапов: поиск и обнаружение космического объекта на фоне звездного неба или Земли; дальнейшее сближение; причаливание и жесткое соединение кораблей.

Эти операции могут быть реализованы с помощью радиоаппаратуры, а также оптических приборов. В последнем случае активная роль принадлежит человеку. Поэтому интересней рассмотреть именно этот способ.

Поиску космического объекта предшествует угловая ориентация иллюминатора космического корабля или визирного устройства на объект. С больших расстояний, исчисляемых несколькими сотнями, а иногда и тысячами километров, с которых начинается поиск, все космические объекты независимо от их величины выглядят светящимися точками. По яркости их нельзя отличить от звезд. Единственный признак, отличающий ИСЗ от звезд, — его движение относительно неподвижных звезд. Такая операция проведена командиром космического корабля «Союз-3» Г. Т. Береговым, который в полете наблюдал беспилотный космический корабль «Союз-2». Экипаж американского космического корабля «Джемини-6» обнаружил ПКК «Джемини-7» с расстояния около 100 км. С 50 км были замечены проблесковые огни корабля.

После того как космонавт убеждается, что заданный объект опознан, начинается второй этап стыковки — этап дальнего сближения. Экипаж космического корабля «Джемини-12» из-за неисправности в радиолокационной системе проводил сближение с ракетой «Аджена» с помощью ручной системы управления с дальности 111 км. Используя секстант и бортовую вычислительную машину, астронавты определили величину приращения скорости при первом маневре на конечном участке сближения. Рассчитанная ими величина на 0,2 м/с отличалась от величины, вычисленной наземными службами. Этот пример еще раз говорит о том, что человек — надежное звено на борту ПКК, и в частности при ручном управлении стыковкой.

Следующий этап стыковки очень лаконично описал в своем дневнике Г. Т. Добровольский, командир корабля «Союз-11»: «...7 ч 24 мин началось сближение... Увидели станцию в оптический визир до режима «подготовка к сближению»...

Со 100 м включили ручное причаливание. Скорость 0,9 м/сек... По включении станция пошла вправо...

...Мне показалось, что правой ручки не хватило, и я

подключил «боковую скорость» левой ручкой. На расстоянии 60 м уменьшил скорость до 0,3 м/сек...

...Касание, механический захват прошли одновременно в 7 ч 49 мин 15 сек. Объект практически не колеблется. В 7 час 55 мин 30 сек — стыковка. Колебаний и раскачиваний объекта не было. Касание практически не ощущалось...»

Некоторые данные, характеризующие возможности человека по опознанию космических объектов, были получены при ручном управлении сближением космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5».

«На расстоянии нескольких километров стыкуемый корабль представляется как очень яркий предмет — ярче любой планеты. С расстояния 1 км ясно видны очертания корабля, ориентация относительно Земли, отдельные детали конструкции, светотени и т. д. Корабль «Союз-4» приближался как самолет, распластав крылья солнечных батарей.

Величественная картина. Еще ближе, расстояние 100 м — корабль ярко светится. Еще ближе, механический захват — корабли состыкованы, создана первая орбитальная лаборатория», — так писал об этом полете один из его участников.

Сложная и напряженная деятельность. Проведем анализ состояния командира корабля, который руководил всеми операциями стыковки. Основная связь по каналу «ПКК — Земля» велась командиром активного корабля. Поэтому у нас была возможность изучить динамику эмоционального состояния по спектральным характеристикам речи командира корабля (рис. 24). Из переговоров было взято слово «Понял», которое часто повторяется в лексиконе летчика-космонавта. На этапах сближения и стыковки было зафиксировано 12 реализаций этого слова — в основном ответы на команды, поступающие с Земли или же с пассивного корабля. Все данные прошли специальную обработку, и по каждому слову был получен его спектральный момент, повышение которого коррелирует с величиной эмоционального напряжения говорящего.

Детальный анализ приведенного графика показывает, что на этапе сближения эмоциональное напряжение командира активного корабля превышает фоновые данные (столбик на том же рисунке). Однако наибольший всплеск был отмечен, когда корабли находились на расстоянии 250—300 м друг от друга. Это эмоции ответственности,

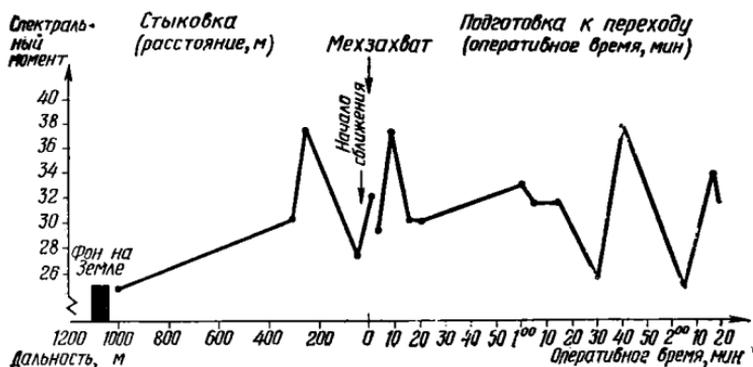


Рис. 24. Динамика эмоционального состояния командира активного корабля при стыковке (по интонационным характеристикам речи)

готовности к выполнению всей программы деятельности. Но в самый ответственный момент при причаливании командир спокоен, действует по отработанной на Земле программе. Корабли состыкованы.

Надо готовиться к выходу, ведь основная задача после стыковки — выход, переход из корабля в корабль в полете.

О выходе в открытый космос и переходе из корабля в корабль в полете рассказывает один из авторов этой работы, участвовавший в этом переходе.

«...16 января 1969 года, когда состыкованные корабли «Союз-4» и «Союз-5» совершили 35-й виток, мы с А. Елисеевым вышли из кабины корабля в орбитальный отсек и надели скафандры, проверили герметичность скафандров, работу системы жизнеобеспечения, доложили о готовности к выходу и получили на это разрешение. Мне первому предстояло покинуть орбитальный отсек корабля. Люк плавно открылся, и в корабль, точнее в орбитальный отсек, хлынул поток солнечного света. Я увидел водную поверхность нашей планеты, горизонт и черное небо. Меня охватило какое-то волнение, похожее на предстартовое волнение спортсмена, которое длилось несколько секунд. Затем привычный, отработанный на десятках тренировок ритм работы поглотил меня целиком, и вся энергия мозга и мышц была направлена только на выполнение поставленного перед нами задания. Вышел я из корабля легко,

осмотрелся. Корабли представляли великолепное зрелище! Они ярко сияли, отражая солнечный свет. Хорошо просматривались мелкие детали конструкции на поверхности корабля...» И далее: «...держась одной рукой за поручень, другой снял кинокамеру с кронштейна и отстыковал от борта корабля разъем ее электропитания». Затем по наружной стенке космонавт перешел в отсек корабля «Союз-4», стоя по пояс в люке, провел наблюдения, работал с кинофотоаппаратурой. Вел связь с командирами кораблей и Алексеем Елисеевым, наблюдал за переходом А. Елисеева. И вот космонавты в отсеке другого корабля, корабля «Союз-4», который на сутки раньше их стартовал.

Наконец, давление выравнено с давлением в спускаемом аппарате, скафандры сняты и уложены. Открылся люк, в отсек вышел В. Шаталов, ему переданы письма от родных, утренние газеты за 15 января с сообщением ТАСС о его полете...

Так был выполнен переход двух космонавтов из одного корабля в другой на высоте около 250 км при скорости полета около 8 км/с.

Легко, просто?! Но какой труд заложен в подготовку космонавта, сколько специалистов, не жалея сил, сделали все так, чтобы в полете было легко, просто.

А на первых тренировках было не так. На рис. 25 приведены хронопрофессиограммы выполнения перехода из корабля в корабль Е. В. Хруновым и А. С. Елисеевым (результаты совместной работы с Н. А. Колосовым и И. Ф. Чекирда). Показаны различные этапы тренировочного процесса выполнения этой операции группой космонавтов в самолете-лаборатории в режиме «невесомость». У всех космонавтов уменьшалось время выполнения отдельных элементов упражнения и повышалось его качество по мере освоения навыков при неоднократном повторении.

Выше был дан субъективный анализ качества перехода и трудности для космонавта, его выполняющего. Посмотрим на этот этап полета, спустя много времени после посадки, когда были расшифрованы ленты, изучена биологическая информация, поставлены дополнительные эксперименты... Момент одевания скафандров и подготовки к переходу в полетах кораблей «Союз-4» и «Союз-5» был выбран сразу после стыковки, а поэтому эмоции, связанные с успешным завершением операции встречи на орбите и стыковки, несколько мешали экипажу. В выполнении

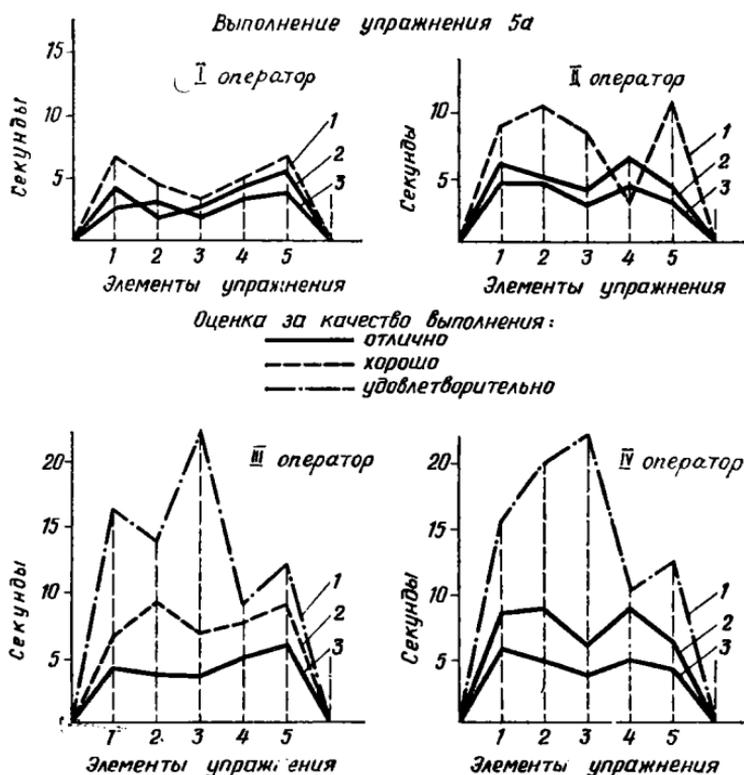


Рис. 25. Хронопрофессиограммы выполнения перехода на различных этапах (в начале — 1, в середине — 2 и в конце — 3) тренировочного процесса:

1 — занятие исходной позы для перехода (после выхода); 2 — переход по первому поручню до места стыковки кораблей; 3 — переход на второй поручень с переноской карабина страховочного фала; 4 — переход по второму поручню до люка; 5 — занятие исходной позиции до входа в люк

запланированных операций появился дефицит времени.

Вообще вопрос о дефиците времени не нов, но в деятельности космонавта проявляется впервые. В этих условиях, как показано нами ранее на основе экспериментальных и полетных данных, отмечаются некоторые закономерности в деятельности оператора — пропуски в выполнении плановых операций, а с нарастанием дефицита

времени — неправильные решения и ошибочные действия. С учетом указанных закономерностей ниже мы даем некоторые рекомендации. Их реализация повысит надежность работы космонавта при дефиците времени.

В период подготовки к переходу двух космонавтов появились затруднения при укладке аппаратуры, соединений разъемов и шнуровке нижней части скафандра. Разъемы уплывали, трудно было работать с концами шнурков.

В целом надевание оболочки скафандра, как и выполнение других плановых операций, сразу становится будничным делом, забывается, что находишься в реальном полете, а не на очередной тренировке. Именно стереотип деятельности, хорошо закрепленный в памяти космонавта, выступает в полете как лучшее средство против напряженности.

«...Первый момент открытия люка и наблюдения космоса, Земли — все воспринимается очень остро и напряженно — бездна, скорость, неопределенность. Нас могут понять парашютисты, делающие первый прыжок. Чувства аналогичны тем, которые возникают при первом прыжке, когда стоишь у открытого люка самолета, смотришь вниз и ожидаешь команды — «Пошел!!!» Обстановка анализируется обостренно. Начались работы по выходу. Напряжение значительно спадает, эмоции ослабевают. Все мысли связаны с тем, как правильно выполнить полетное задание, т. е. профессиональная значимость момента сильнее той неопределенности, которую несет с собой открытый космос».

Сам переход каких-либо неожиданностей не имел. Однако опять же из-за дефицита времени, который на отдельных этапах доходил до 10—12 мин, программу потребовалось видоизменить.

Так, выход в открытый космос был начат на 11 мин позже расчетного времени. Причем момент окончания перехода нельзя было перенести на более позднее время, так как состыкованные корабли входили в тень Земли. Из-за такого жесткого лимита общего времени сокращены сроки выполнения отдельных операций перехода. Это делалось двояким путем: сокращено время выполнения отдельных операций, а из алгоритма перехода были изъяты виды работ, не имеющих принципиального значения для решения основной задачи.

На втором этапе — перестыковка разъемов — дефицит

времени существенно не уменьшился, поэтому на третьем этапе было решено несколько изменить программу (отменили перестановку поручней, сократили время кино съемки, фотографирования и др.). Это позволило к четвертому, завершающему этапу перехода ликвидировать дефицит времени.

О психофизиологическом состоянии космонавта. Частота пульса при подготовке к выходу составляла 70—75 уд/мин, т. е. соответствовала обычной полетной норме. При надевании скафандров она колебалась в пределах 85—95 уд; причина учащения — физическое напряжение, связанное с надеванием оболочек скафандра, и т. д. Во время перехода частота пульса доходила до 154 уд/мин. Причина такого увеличения — дефицит времени и желание космонавтов выполнить задание в указанный срок. Кроме того, во время самого перехода возникали ситуации, которые также способствовали увеличению эмоциональной напряженности. Так, на одном из этапов перехода из-за резкого поступательного движения космонавт начал вращаться вокруг точки опоры, силы инерции опрокидывали его на спину. Попытки погасить угловые скорости усилием одной руки, как это было на тренировках, оказались недостаточными. Масса человека в скафандре велика. Пришлось на какое-то время полностью отключиться от выполнения задания и, опершись второй рукой на поручень, остановить вращение. Переход продолжался.

Следовательно, эмоции, связанные с дефицитом времени, можно считать важной особенностью перехода. Не менее важна другая особенность при переходе из одного космического корабля в другой через открытый космос — большая нагрузка на руки и в первую очередь на кисти. При передвижениях в невесомости нагрузка на ноги почти отсутствует и перераспределяется на руки.

Много исследований провели ученые, конструкторы, космонавты, чтобы решить вопрос о креплениях к обшивке корабля, по поверхности которого должны передвигаться космонавты. Испытывалась магнитная обувь, клеящиеся вещества, ворсовые молнии и т. д. Однако все это оказалось недостаточно эффективным. При использовании магнитов оперативная память занята передвижением и закрыта для выполнения других операций. Это неприемлемо. Поэтому решили, пока нет других оптимальных предложений, использовать для передвижения человека в космосе древний рефлекс — хватательную способность

рук. Однако руки устают, а усталость кистей затрудняет выполнение операций, требующих тонких координированных движений, таких, как фотографирование, астроизмерения, монтаж-демонтаж и др.

Но вот переход закончен. Сняты скафандры, в отсеке корабля земная атмосфера. Космонавты рады, что задание выполнено. Их ощущения таковы, будто выполнена тяжелая физическая работа. Чувствовалась усталость всех мышц, особенно кистей рук и плечевого пояса.

Анализируя особенности работы космонавта, выходящего в открытый космос для перехода в другой корабль, целесообразно рассмотреть некоторые типичные отклонения от заданного стереотипа.

Прежде всего, о чем подробно говорилось выше, это дефицит времени. Известно, что в процессе тренировок на самолете в условиях невесомости космонавты поэтапно отрабатывают каждую операцию по надеванию скафандра, гермошлема и т. д. В принципе любая такая операция в отдельности проста и не требует предварительных навыков для ее выполнения. Однако в комплексе множество простых операций, связанных единым алгоритмом, уже представляет сложную задачу. Г. Т. Береговой называет это «задержкой в намерении». Прежде чем взять аппарат, космонавт продумает, как его взять, каким будет движение руки и т. д. Из этого следует, что в алгоритме операций подготовки и выполнения перехода необходимо предусматривать элементы и группы работ, которые могут быть при дефиците времени «безболезненно» исключены. В процессе наземной подготовки должны быть отработаны резервные варианты изменения алгоритма деятельности космонавта.

Большое значение имеют маркировка и рациональное расположение фалов различного назначения. Их неудачное расположение может затруднить работу космонавтов. Так, в момент выхода из космического корабля «Союз-5» натянутый фал мешал передвижению. При укладке фалы расплывались, заполняя весь объем отсека.

При выходе в космос у космонавтов терялись мелкие детали, принадлежности фотокиноаппаратуры и т. д. Значит, вопрос о креплениях требует дальнейшего тщательного изучения. Необходим поиск новых способов фиксации в условиях космического полета.

Таким образом, человек разными методами и разными способами выходил в космос, посещал другое небесное

тело, заселял орбитальные станции. Мы рассмотрели особенности деятельности космонавта при смене экипажа, проводимого через открытый космос по обшивке состыкованных кораблей. Тяжелая и сложная операция. Однако человек выполнил задание. И несмотря на то, что некоторые второстепенные операции проводились не так, как задумывалось, что от некоторых операций пришлось отказаться, полет ПКК «Союз-4» и «Союз-5» еще раз доказал надежность человека, его удивительные адаптивные способности. Появился еще один путь для оказания в случае необходимости помощи экипажам, терпящим бедствие на орбите.

Некоторые результаты полета:

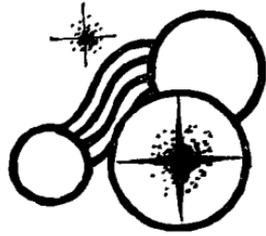
получен опыт перехода космонавтов на орбите из одного ПКК в другой;

испытаны средства обеспечения перехода космонавтов по внешней поверхности ПКК: ШК (орбитальный блок), скафандры, автономные СЖО, поручни, привязи, фиксаторы;

в процессе перехода выполнены монтажно-демонтажные операции, транспортировка малогабаритных грузов, перемещение космонавтов, научные наблюдения;

отработана циклограмма групповой деятельности космонавтов и практически подтверждена методика наземной подготовки;

результаты полета открыли новые перспективы смены и спасения космонавтов на орбите.



АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АСТРОНАВТОВ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ ПО АМЕРИКАНСКИМ ПРОГРАММАМ

Из четырех программ пилотируемых полетов США три программы предусматривали деятельность человека в открытом космосе. Это программы «Джемини», «Аполлон» и «Скайлэб». Причем по программам «Джемини» и «Скайлэб» выход в открытый космос осуществлялся на геоцентрических орбитах, тогда как в рамках программы «Аполлон» астронавты проводили его на трассе «Луна—Земля» и на поверхности Луны.

Работа в открытом космосе носила следующий характер. Программа «Джемини» — экспериментальные работы за пределами корабля, испытание систем, агрегатов и устройств, обеспечивающих активную жизнедеятельность космонавта в открытом космосе. Программа «Аполлон» — испытания СЖО и скафандра для работ на поверхности Луны, обслуживание научной аппаратуры на внешней поверхности корабля. Программа «Скайлэб» — обслуживание научной аппаратуры и выполнение ряда научных экспериментов. Однако в ходе полета астронавтам пришлось выполнять ремонтные работы в открытом космосе.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АСТРОНАВТОВ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ ПО ПРОГРАММЕ «ДЖЕМИНИ»

На 1965—1966 гг. по программе «Джемини» было запланировано шесть экспериментов с выходом в открытый космос, два из которых были выполнены полностью, в трех — задачи выхода были выполнены частично, а в одном из полетов вследствие аварийной посадки корабля («Джемини-8») выход в открытый космос был отменен.

Для наглядности мы составили обобщенную таблицу (табл. 7). В ней перечислены основные виды работ, выполненных астронавтами во время пребывания в открытом космосе, указаны особенности их осуществления.

Из таблицы видно, что за пределами ПКК «Джемини» астронавты были заняты самыми разнообразными операциями: монтажно-демонтажные, перемещение по поверхности спутника и в безопорном пространстве, операции с экспериментальным оборудованием, испытания систем перемещения, переход на другие космические объекты, фотографирование и пр.

Для более полного представления о работах в открытом космосе рассмотрим деятельность астронавтов в каждом из полетов ПКК «Джемини».

«Джемини-4» (астронавты Д. Макдивитт и Э. Уайт). Во время полета этого корабля был совершен первый выход в космос американского астронавта Э. Уайта. В соответствии с первоначальным планом полета он должен был лишь открыть люк и встать на сиденье кресла. Однако успешный выход в открытый космос советского космонавта А. А. Леонова в полете ПКК «Восход-2» позволил американским специалистам отказаться от предварительных экспериментов с открыванием люка. Астронавт был связан с кораблем 7,6-метровым фалом, через трубопровод которого подводился в скафандр кислород для дыхания. Аварийный запас кислорода, рассчитанный на 9—12 мин, хранился в нагрудном ранце.

Выход был осуществлен на третьем витке полета (по плану — на втором). Отсрочка была вызвана тем, что астронавты не успели подготовиться к началу работ. После установки кинокамеры астронавт провел эксперименты по маневрированию в безопорном пространстве в течение 3 мин (до окончания запасов рабочего тела) с помощью реактивного устройства «пистолетного» типа, а затем с помощью фала.

По субъективным ощущениям астронавт не терял ориентации при маневрировании. Во время перемещения в безопорном пространстве он проводил фотосъемку с помощью фотокамеры, вмонтированной в устройство для перемещения. При закрытии люка после возвращения в корабль произошли затруднения (по предположениям — сварка деталей механизма привода в условиях вакуума). Поэтому от повторного открывания люка отказались.

Пульс Э. Уайта во время работ за пределами корабля

Таблица 7

Космический корабль	Деятельность в открытом космосе	Общая длительность работ за пределами КК		Примечание
		запланированная, мин	фактически, мин	
«Джемини-4» (3.06.65г.—7.06.65г.)	Монтаж кинокамеры, маневрирование с помощью устройства «пистолетного» типа, фотографирование	12	20	—
«Джемини-9» (3.06.66г.—6.06.66г.)	Монтаж кинокамеры и зеркал, демонтаж научного прибора, перемещение по внешней поверхности корабля, маневрирование с фалом, проверка «ранцевой» системы АМУ	145	125	Работы выполнены не полностью из-за запотевания стекла шлема скафандра и неисправностей установки АМУ
«Джемини-10» (18.07.66г.—21.07.66г.)	Фотографирование, маневрирование с помощью «пистолетного» устройства. Демонтаж приборов с корабля и ракеты «Аджена»	115	72	Эксперименты выполнены частично из-за неисправности скафандра и перерасхода топлива в системе стабилизации корабля
«Джемини-11» (12.09.66г.—15.09.66г.)	Фотографирование, демонтаж научного прибора с корабля, соединение корабля и ракеты «Аджена» тросом длиной 30 м	255	208	Эксперимент выполнен не полностью из-за сильного потоотделения и усталости астронавта
«Джемини-12» (11.11.66г.—15.11.66г.)	Монтаж кинокамеры, научного прибора, установка в рабочее положение телескопического поручня, соединение корабля и ракеты тросом, рабочие операции, работа с фиксаторами, фотографирование	335	337,5	—

составлял: открывание люка — 184 уд/мин; выход — 150 уд/мин, работа в открытом космосе — $110 \div 170$ уд/мин, закрывание люка — 178 уд/мин.

Некоторые результаты полета:

1. Прошли испытание системы обеспечения выхода в открытый космос, скафандр и система жизнеобеспечения.

2. Перемещение в безопорном пространстве с помощью реактивного устройства «пистолетного» типа, а также перемещение с помощью фала, которое оказалось затруднительным (при подтягивании фал запутывался).

«Джемини-8» (астронавты Н. Армстронг и Д. Скотт). Несмотря на то что выход в открытый космос не был проведен из-за досрочной посадки корабля, план этих экспериментов представляет практический интерес. Длительность выхода планировалась 2 ч 51 мин. Он должен был произойти после стыковки с ракетой «Аджена-8» (стыковка в этом полете была осуществлена).

Планируемые операции в открытом космосе:

монтаж кинокамеры на корпусе корабля, стоя в люке по пояс;

выход из корабля, демонтаж научного прибора;

выход к ракете «Аджена-8», операции с научной аппаратурой (раскрытие створок держателя);

протираание тканью иллюминатора кабины астронавтов с целью изучения веществ, загрязняющих стекла;

эксперимент с универсальным безынерционным инструментом: закручивание до упора ослабленного болта; демонтаж и монтаж металлической пластины с винтовыми соединениями (при выполнении этих работ астронавт привязывает ноги к крюку на корпусе корабля);

работы с обычным гаечным ключом;

надевание заплечного ранца с автономной системой жизнеобеспечения и наращивание 7,6-метрового фала до 30 м;

маневрирование с помощью реактивного устройства «пистолетного» типа и, в частности, сближение с ракетой «Аджена-8» (перед началом маневрирования объекты расстыковываются);

имитация операции «спасения» астронавта: сближение корабля с астронавтом, находящимся в открытом космосе.

«Джемини-9» (астронавты Т. Стаффорд и Ю. Сернан). Планируемые операции в открытом космосе:

монтаж кинокамеры и демонтаж держателя с ловуш-

кой метеорных частиц и биологическими образцами (операции выполнялись из открытого люка, стоя на сиденье кресла астронавта);

выход из корабля, монтаж зеркал для наблюдений командира корабля за действиями астронавта в открытом космосе;

перемещение к состыкованной с кораблем ракете «Аджена-9» и раскрытие створок ловушки метеорных частиц; перемещение к «ранцевой» установке АМУ, размещенной во вспомогательном отсеке (с помощью поручней и мягких накладок);

проверка УПК АМУ (35 операций) и «наращивание» фала 30-метровым нейлоновым тросом;

маневры с УПК АМУ после отделения от корабля;

имитация операции спасения астронавта в открытом космосе: сближение корабля с астронавтом с включенной УПК АМУ;

снятие УПК и троса-удлинителя, вход в корабль;

удаление ненужного оборудования из кабины астронавтов при открытом люке.

Работа на орбите. Выход в космос был осуществлен на третьи сутки полета. Во время выхода астронавт Ю. Серван выполнил все операции до отделения УПК АМУ от корабля. При перемещении по корпусу корабля мягкие накладки иногда отставали от корпуса, маневрирование с помощью фала также представляло трудности, так как фал «заплывал» и обвивался вокруг астронавта. Ю. Серван провел проверки УПК АМУ, подключил систему электропитания, связи и СЖО к скафандру и отстыковал 7,6-метровый фал, связывающий астронавта с СЖО корабля. Однако дальнейшие действия проводились не по запланированной программе полета, так как запотел иллюминатор в скафандре, ухудшилась связь с командиром корабля и заклинило один из рычагов установки АМУ. Было принято решение об отмене эксперимента с установкой АМУ, и астронавт, перейдя на СЖО корабля, вернулся в корабль, предварительно демонтировав установленное ранее зеркало.

Перед закрытием люка астронавт выронил кассету с пленкой, на которую был снят его выход за пределы корабля. Запотевание стекла иллюминатора специалисты объясняли тем, что выполнение запланированных операций в открытом космосе потребовало значительно больших усилий, чем при тренировках на Земле (по оценке

астронавта Ю. Сернана в 4—5 раз). Это подтверждают сравнительные данные о частоте пульса при тренировках (при выходе 80—90 уд/мин) и в реальном полете у астронавта Сернана (открывание люка 155 уд/мин; 130—170 уд/мин в открытом космосе при различных физических нагрузках; 180 уд/мин — закрытие люка). В связи с этим тепловыделения организма значительно превышали расчетную величину (250—500 ккал/ч), и система отвода влаги в подскафандровом пространстве оказалась неэффективной. При входе в тень эта влага сконденсировалась на стекле гермошлема.

Некоторые результаты полета:

выполнена часть запланированных экспериментов в открытом космосе (монтажно-демонтажные операции и проверочные операции с установкой АМУ);

не выполнен основной эксперимент — испытания «ранцевой» установки перемещения в безопорном пространстве;

реальные усилия, затрачиваемые астронавтами при работах в открытом космосе, оказались значительно выше предполагаемых;

СЖО установки АМУ недостаточно эффективна.

«Джемини-10» (астронавты Д. Янг и М. Коллинз).

Планируемые операции в открытом космосе:

фотографирование при открытом люке;

демонтаж научных приборов с корпуса корабля и ракеты «Аджена-8»;

монтаж научного прибора на ракете «Аджена-8»;

исследование динамики фала (попытка удержаться с помощью фала на определенном расстоянии от корабля);

маневрирование с помощью реактивного устройства «пистолетного» типа;

имитация спасения космонавта на орбите;

операции при открытом люке для удаления ненужного оборудования из кабины космонавтов.

Работа на орбите. Выход в открытый космос совершал М. Коллинз. Эксперимент по фотографированию выполнен не полностью из-за раздражения глаз астронавта. Во время второго выхода был установлен в рабочее положение специальный поручень, пользуясь которым астронавт перемещался по корпусу корабля. Переместившись к вспомогательному отсеку, М. Коллинз подсоединил трубопровод от баллона с сжатым азотом к реактивному устройству.

ву, после чего выполнил демонтаж держателя с научным прибором с корпуса «Джемини».

После выполнения операций на корабле «Джемини» астронавт перешел на ракету «Аджена-8» (командир корабля удерживал корабль на расстоянии нескольких метров от ракеты) и демонтировал с ее стыковочного узла научный прибор. Монтаж другого прибора произведен не был, так как астронавт опасался порвать скафандр о плохо закрепленную деталь стыковочного узла. Во время этих операций «улетела» кинокамера, привязанная к скафандру. Далее М. Коллинз провел эксперимент по маневрированию с применением реактивного устройства «пистолетного» типа и перемещение методом подтягивания фала. Эксперименты по исследованию динамики фала и имитации спасательных операций проведены не были.

Во время выбрасывания ненужного оборудования из кабины «выплыли» научный прибор и бортжурнал.

Некоторые результаты полета:

подтверждена возможность маневрирования с довольно простыми реактивными устройствами «пистолетного» типа;

осуществлен переход астронавта из одного космического объекта на другой без их взаимной стыковки с проведением демонтажных операций на беспилотном спутнике;

подтверждена сложность маневрирования с применением фала и перемещения по корпусу ПКК без опор для рук;

потеряно оборудование при работах вне корабля и при открытом люке, установлена стесненность движений в скафандре, находящемся под наддувом.

«Джемини-11» (астронавты Ч. Конрад и Р. Гордон). Планируемые операции в открытом космосе:

демонтаж научных приборов с корабля и монтаж кинокамеры;

установка в рабочее положение поручня для перемещения;

перемещение к ракете «Аджена-11», состыкованной с кораблем перед выходом в открытый космос;

соединение 30-метровым фалом ракеты и корабля;

монтаж и демонтаж зеркал для наблюдений;

перезарядка кинокамеры, установленной в районе выходного люка;

перемещение к вспомогательному отсеку, операции с универсальным инструментом и гаечным ключом;
подготовка к работе реактивного устройства для перемещения «пистолетного» типа;

маневрирование с помощью реактивного устройства;
транспортировка двух кинокамер и передача их в корабль;

удаление ненужного оборудования из кабины при открытом люке.

Работа на орбите. При подготовке к работам в открытом космосе (через сутки после старта) обнаружилось, что астронавт Р. Гордон в наддутом скафандре чувствовал большую стесненность движений (с трудом мог поднять руки, а защитные козырьки были надеты на гермошлем только с помощью командира корабля, причем на эту операцию ушло 30 мин). Астронавт при открытом люке провел операции по монтажу кинокамеры и демонтажу научного прибора. Уже через 6 мин после открытия люка отмечалась усталость. Работа была прекращена для отдыха. После отдыха астронавт покинул корабль, переместился к ракете «Аджена», соединил корабль и ракету 30-метровым тросом. На выполнение этой операции затрачено 30 мин (в условиях кратковременной невесомости на тренировках на эту операцию затрачивалось 25 с).

В процессе выполнения этих операций астронавт периодически отдыхал. Средняя частота пульса во время работы вне корабля — 160 уд/мин, максимальная — около 180. Тепловыделения организма составляли 900 ккал/ч (при расчетной тепловой нагрузке 500 ккал/ч), запотевал иллюминатор гермошлема, резко ухудшая видимость. От дальнейших работ в открытом космосе было решено отказаться. Люк был открыт еще дважды — для удаления ненужного оборудования и для проведения эксперимента по фотографированию.

Некоторые результаты полета:

программа работ в открытом космосе выполнена не полностью: не проведены операции с инструментами, маневрирование с реактивным устройством;

циклограмма работ в открытом космосе не предусматривала периодического чередования труда и отдыха астронавта;

временные и физические затраты на выполнение операций были учтены с большими погрешностями;

фиксирующие устройства недостаточно эффективны

(по субъективной оценке астронавта Гордона, 80% усилий затрачивалось им на то, чтобы удержаться на месте проведения работ, астронавт считает, что фиксация во время выполнения операций в открытом космосе обязательна);

СЖО неэффективна при работах за бортом со значительной физической нагрузкой;

конструкция скафандра не обеспечивала достаточной свободы движений астронавта и требовала значительных усилий при их выполнении.

«Джемини-12» (астронавты Д. Ловелл и Э. Олдрин). Это последний ПКК серии «Джемини». Результаты полетов ПКК «Джемини-9, -10, -11» показали, что физические нагрузки астронавта, работающего в открытом космосе, превышают расчетные величины циклограммы его деятельности. Значительные усилия астронавт затрачивает на поддержание положения, удобного для выполнения той или иной операции. Следовательно, необходимы средства фиксации на внешней поверхности корабля в районе проведения работ. Было установлено несоответствие между временными затратами на одну и ту же операцию в реальном космическом полете и на тренировках в барокамере и в условиях кратковременной невесомости на самолетах. Кроме того, ряд важных запланированных экспериментов или полностью не был выполнен или выполнен частично.

В связи с этим основными задачами полета ПКК «Джемини-12» были: объективное определение физических нагрузок на организм космонавта, допустимой степени сложности операций, выполняемых в открытом космосе, и их временных затрат, оценка различных технических средств для перемещения и фиксации космонавта. Большое значение в полете придавалось циклограмме работ: правильному чередованию труда и отдыха.

Для выполнения этих весьма обширных задач были разработаны экспериментальные операции, характерные для работ за пределами корабля и достаточно простые для космонавта. При наземной подготовке к полету большое внимание было уделено отработке операций в открытом космосе. В частности, астронавт Э. Олдрин в течение 12 ч отрабатывал действия за пределами корабля в условиях гидронеувесомости.

Планируемые операции в открытом космосе:
фотографирование при открытом люке;

операции с лентами из материала velcro, который применялся для перемещения, фиксации астронавта и транспортировки грузов;

многократные соединения с помощью тросовых систем (необходимо накинуть петлю диаметром 5 и 2,5 см на крюк с пружинной фиксацией такого же диаметра);

многократное соединение и разъединение электрических разъемов различной конструкции и типовых трубопроводов;

разрезание стандартными ножницами 6-, 10- и 16-жильного кабеля;

операции с резьбовыми соединениями, выполняемые специальным гаечным ключом;

соединение 30-метровым тросом корабля и ракеты «Аджена-12»;

удаление пенужного оборудования из гермокабины.

Для выполнения этих операций на поверхности корабля были подготовлены «рабочие площадки» с инструментами и необходимым оборудованием: одна площадка (0,6×0,6 м) на вспомогательном отсеке, вторая, меньшая по площади, в передней части корабля в районе стыковочного узла. Площадки были оборудованы средствами фиксации относительно объекта обслуживания: колодки для фиксации ног, тросовая система с «мягкими» фиксирующими накладками. Для перемещения астронавта внешняя поверхность корабля имела поручни, в том числе раздвижной телескопический поручень длиной 2,4 м. Циклограмма работ в открытом космосе предусматривала двухчасовую работу с 12 перерывами для отдыха по 2 мин каждый. Все эксперименты в открытом космосе разделены на три этапа:

а) работы при открытом люке;

б) деятельность во время выхода из корабля;

в) операции при открытом люке (удаление части оборудования из гермокабины).

Ход работы на орбите. Во время первого этапа, через 20 ч после старта астронавт Э. Олдрин при открытом люке установил кинокамеру, демонтировал пластины для изучения веществ, осаждающихся на иллюминаторах корабля, произвел научные наблюдения и фотографирование. Во время выхода в открытый космос через 43 ч после старта были выполнены все запланированные операции по техническому обслуживанию экспериментального оборудования (работы длились 2 ч 10 мин). При этом астро-

навт, в соответствии с разработанной циклограммой, чередовал труд и отдых.

На третьем этапе через 66 ч после старта астронавты удалили ненужное оборудование из гермокабины (32 кг) и выполнили эксперименты по фотографированию звезд и восхода Солнца. Во время работ в открытом космосе пульс астронавта составлял 88—120 уд/мин и не поднимался выше 130 уд/мин. При работах с открытым люком (фотографирование, научные наблюдения) пульс составлял 90 уд/мин.

Некоторые результаты полета:

операции, выполняемые в открытом космосе, должны быть простыми и учитывать ограниченность движений конечностей в наддутом скафандре;

фиксирующие устройства облегчают и упрощают работы в открытом космосе;

инструменты, используемые космонавтом, должны быть приспособлены к условиям их применения;

подтверждена разработанная циклограмма работ: чередование труда и отдыха;

космонавт при правильной организации деятельности, соответствующем оснащении и тщательной наземной подготовке способен выполнять операции технического обслуживания в открытом космосе.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АСТРОНАВТОВ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ ПО ПРОГРАММЕ «АПОЛЛОН»

Деятельность астронавтов за пределами ПКК «Аполлон» можно рассматривать в двух направлениях:

за пределами корабля на геоцентрической орбите и трассе Луна — Земля;

на поверхности Луны.

В данном разделе будет рассмотрена деятельность астронавтов в условиях орбитального полета. Работа астронавтов ПКК «Аполлон» на орбите вокруг Земли и на орбите возвращения к Земле носила как экспериментальный, исследовательский характер, так и характер технического обслуживания научной аппаратуры, размещенной на внешней поверхности космического корабля. При планировании и техническом осуществлении этих работ учитывался опыт деятельности астронавтов в открытом

космосе, полученный при реализации программы «Джемини». В таблице 8 приведены обобщенные данные о работах в открытом космосе по программе «Аполлон».

«Аполлон-9» (астронавты Д. Макдивитт, Д. Скотт и Р. Швейкарт). Одна из задач полета этого корабля — проведение эксперимента по переходу астронавта через открытый космос из лунной кабины в отсек экипажа, состыкованного с ней основного блока. Цель этого эксперимента — имитация нештатной ситуации на селеноцентрической орбите (невозможность стыковки лунной кабины и основного блока, наличие отказов в системе перехода из объекта в объект по герметизированному внутреннему туннелю-лазу). Кроме этого, не менее важно было провести испытания систем разгерметизации лунной кабины и отсека экипажа, испытания в условиях вакуума космического пространства лунного скафандра и автономной системы жизнеобеспечения, которая предназначалась для работ астронавтов на поверхности Луны. Планировались испытания «лунной» телевизионной камеры, а также монтажно-демонтажные операции киноаппаратуры и научных приборов. Комплекс работ рассчитывался на 2 ч. В экспериментах участвовали все три астронавта. Циклограмма работ приводится ниже.

Переход астронавта из лунной кабины в отсек экипажа осуществлялся с помощью поручней, расположенных на поверхности космических объектов.

Начало эксперимента планировалось через 68 ч после старта. Были предусмотрены:

переход двух астронавтов из отсека экипажа в лунную кабину, надевание скафандров (Швейкарт дополнительно надевает автономную систему жизнеобеспечения и защитные козырьки на гермошлем), стравливание давления из отсеков корабля и открывание люков. На эти операции отводилось около 5 ч;

выход астронавта через люк лунной кабины на площадку, фиксация ног, монтаж кинокамеры, перемещение с помощью поручней к люку отсека экипажа, вход в люк. На эти операции было выделено 22 мин с двухминутным отдыхом перед началом перехода. Третий астронавт, находящийся в отсеке экипажа, перед началом перехода монтирует кинокамеру для регистрации процесса перехода;

после двухминутного отдыха астронавт, совершивший переход, демонтирует научное оборудование и передает

Таблица 8

Космический корабль	Деятельность в открытом космосе	Длительность работ за пределами КК		Примечание
		план., мин.	фактическая, мин.	
«Аполлон-9» 3.03.69г.— 13.03.69г.	Испытание «лунного» скафандра и автономной системы жизнеобеспечения, фото- и киносъемки, демонтаж научного оборудования, оценка по-ручей	130	47	Объем работ выполнен не полностью. Два других члена экипажа работали при открытых люках лунной кабины и отсека экипажа
«Аполлон-15» 26.07.71г.— 7.08.71г.	Перенос двух кассет с пленкой в отсек экипажа, осмотр научного оборудования	60	18	Выполнен дополнительный переход по просьбе астронавтов с целью осмотра научных приборов
«Аполлон-16» 16.04.72г.— 27.04.72г.	Перенос кассет с пленкой в отсек экипажа. Эксперимент по экспонированию контейнера с микроорганизмами	60	64	—
«Аполлон-17» 7.12.72г.— 19.12.72г.	Перенос кассет с пленкой и контейнера с мышами в отсек экипажа	60	67	—

его в отсек экипажа. На эту операцию выделялось около 9 мин;

после очередного двухминутного отдыха астронавт совершает обратный переход, демонтаж научного оборудования и передачу его в лунную кабину. На эти операции выделялось около 7 мин;

после очередного двухминутного отдыха астронавт демонтирует кинокамеру и монтирует телевизионную камеру. Продолжительность этих операций — около 7 мин;

последующие 36 мин корабль находится в тени Земли; в это время астронавт проводит наблюдения и оценивает яркость источников света основного блока и лунной кабины и яркость свечения знаков, обозначающих местонахождение поручней;

после выхода из тени в течение 12 мин астронавт фотографирует корабль;

после 10-минутного репортажа с помощью телекамеры эксперимент по выходу в открытый космос заканчивается, астронавт возвращается в лунную кабину; люки лунной кабины и отсека экипажа закрываются, отсеки корабля наддуваются кислородом.

Как видно из программы работ, астронавт должен был выполнять монтажно-демонтажные операции, переход по внешней поверхности корабля, визуальные наблюдения и фотографирование, телерепортаж. В открытом космосе астронавт использует поручни и фиксаторы. Режим труда чередуется с двухминутными интервалами отдыха после трудоемких операций.

В связи с недомоганием астронавта Р. Швейкарта было решено ограничиться разгерметизацией лунной кабины и открытием люка, при этом астронавт использует автономную систему жизнеобеспечения. После сна самочувствие астронавта стало лучше, что позволило запланировать работы вне ПКК, но без перехода в отсек экипажа и обратно.

Деятельность астронавтов в открытом космосе протекала следующим образом:

- переход в лунную кабину (Макдивитт, Швейкарт);
- одевание автономной системы жизнеобеспечения;
- разгерметизация и открытие люков лунной кабины и отсека экипажа;

- установка защитного козырька и подсоединение 7,6-метрового фала (2 мин);

выход из лунной кабины, фиксация ног в фиксаторах на площадке (1,5 мин);

фотографирование с помощью фото- и кинокамер; демонтаж кварцевых пластин (без расфиксации ног); оценка конструкции поручней (5 мин);

возвращение в лунную кабину, закрытие люка.

Выход длился 47 мин.

В открытом космосе астронавт чувствовал себя хорошо и просил разрешения увеличить продолжительность эксперимента. Однако разрешение получено не было. Оценивая поручни, астронавт отметил, что, удерживаясь за них руками, можно управлять положением своего тела в пространстве. Пульс астронавта составлял в среднем 61—88 уд/мин. Во время пребывания Р. Швейкарта за пределами корабля астронавты Д. Скотт и Д. Макдивитт также выполняли различные операции:

Д. Скотт проводил фото- и киносъемки из открытого люка отсека экипажа;

Д. Макдивитт принял у Р. Швейкарта фотокамеру и передал кинокамеру.

Некоторые результаты полета:

программа работ в открытом космосе выполнена неполностью, в частности, не выполнены эксперименты по переходу астронавта из лунной кабины в отсек экипажа и обратно. не был проведен телерепортаж с целью испытаний телекамеры, предназначенной для работ на поверхности Луны;

успешно прошли испытания «лунного» скафандра и автономной системы жизнеобеспечения;

проведены фото- и киносъемки, частично демонтировано научное оборудование, оценено удобство расположения и использования некоторых поручней, смонтированных на лунной кабине.

«Аполлон-15», «Аполлон-16», «Аполлон-17». Начиная с ПКК «Аполлон-15» астронавты должны были в полете извлечь кассеты с пленкой из комплекта научных приборов, расположенного на внешней поверхности двигательного отсека корабля. Извлечение кассет и доставка их в отсек экипажа производится астронавтом на трассе «Луна — Земля». Эти операции выполняет один астронавт, второй работает у открытого люка и подстраховывает первого.

В соответствии с программой астронавт должен был

совершить два перехода к месту расположения обслуживаемых приборов:

- а) первый переход для переноса кассеты (38,5 кг);
- б) второй переход для переноса кассеты (10,5 кг).

Кроме того, астронавт осматривает поверхность корабля и научные приборы. В открытом космосе астронавт использовал СЖО корабля, кислород для дыхания поступал через трубопровод, проложенный в 7,6-метровом фале. В комплект снаряжения астронавта входил также ранец с аварийным запасом кислорода. Астронавт перемещался с помощью поручней, расположенных на внешней поверхности корабля на трассе передвижения. Для работ с научными приборами предусматривались фиксаторы для ног.

Транспортировка кассет производилась самим астронавтом. Кассеты крепились привязью к запястью астронавта. В ходе полетов астронавты А. Уорден, Т. Маттингли и Р. Эванс выполнили операции переноса кассет.

Кроме переноса кассет, астронавты провели осмотр внешней поверхности корабля, научного оборудования, выполнили запланированные эксперименты. Длительность работ составила от 18 до 67 мин.

Некоторые выводы по реализации работ в открытом космосе по программе «Аполлон»:

1. Работы в открытом космосе носили в основном характер технического обслуживания научной аппаратуры, размещенной на внешней поверхности корабля.

2. Технология технического обслуживания научной аппаратуры предусматривала выполнение перехода по внешней поверхности с помощью поручней, демонтаж кассет и транспортировку их самим астронавтом во время обратного перехода.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АСТРОНАВТОВ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ ПО ПРОГРАММЕ «СКАЙЛЭБ»

Полет ПОС «Скайлэб», ее ремонт и техническое обслуживание на орбите наглядно продемонстрировали возможность и эффективность работ в открытом космосе.

Техническое обслуживание систем ПОС и особенно станции длительного существования предусматривает проведение следующих работ за пределами станции:

обслуживание агрегатов, систем и приборов с ограниченным ресурсом работы, пополнение расходных материалов;

осмотр внешней поверхности станции и оборудования, расположенного за пределами ее гермоотсеков, нахождение неисправностей;

ремонт, замена и проверка оборудования на внешней поверхности станции;

проведение профилактических мероприятий (удаление пыли с объективов оптических приборов, иллюминаторов и пр.)

Этот комплекс задач выполнялся астронавтами орбитальной станции «Скайлэб» — первого орбитального космического объекта США длительного существования. Время пребывания трех экспедиций составило более 171 суток, время полета станции до эвакуации последнего экипажа — 271 сутки, из них с экипажем — 171 сутки 13 ч 15 мин.

Для более полного представления о деятельности экипажа вне станции необходимо сказать несколько слов о конструктивных особенностях станции и расчетной программе полета.

Станция «Скайлэб» — четвертый тип пилотируемых объектов США в общекосмической программе. В этой станции был учтен опыт разработки и полетов предыдущих космических объектов от «Меркурия» с ограниченными возможностями управления человеком до «Аполлона» с широкими возможностями ручного управления в сочетании с автоматическими системами и компьютерами.

Станция «Скайлэб» конструктивно рассчитана на активное участие астронавтов в управлении ее системами и экспериментальным оборудованием. В программе полета предусматривались активные действия экипажа в открытом космосе.

Одна из основных задач программы «Скайлэб» — наблюдение Солнца с помощью комплекта астрономических приборов. Для извлечения кассет с отснятой пленкой и установки вместо них кассет с неэкспонированной пленкой планировалось шесть выходов астронавтов трех экипажей в открытый космос. В ходе полета кассеты с отснятой пленкой переносились в транспортный корабль «Аполлон» и доставлялись на Землю.

Программой предусматривались эксперименты с выходом астронавтов в открытый космос.

Возникшие во время запуска и полета станции «Скай-лэб» неисправности также потребовали выхода астронавтов в открытый космос для проведения ремонтно-восстановительных работ.

В открытом космосе астронавты использовали модифицированные скафандры, аналогичные скафандрам ПКК «Аполлон-15, -16, -17». Для выхода из герметичных отсеков использовалась шлюзовая камера, отделяемая от объема станции двумя герметичными люками. Третий, боковой люк ШК служил для выхода в открытый космос. Объем ШК (4,3 м³) позволял разместиться двум астронавтам в скафандрах.

Деятельность первого экипажа (Ч. Конрад — командир, Д. Кервин — врач-астронавт, П. Вейц — летчик-астронавт). В ходе запуска станции «Скай-лэб» на активном участке полета возникли некоторые неисправности:

отрыв одной из основных солнечных батарей;

неполное раскрытие одной из основных солнечных батарей;

отрыв защитно-метеорного экрана станции, служившего также и теплозащитным экраном.

Нештатная ситуация — перегревание станции и недостаток электроэнергии — требовала срочных ремонтных работ в открытом космосе. В частности, раскрытие солнечной батареи и установка теплозащитного экрана.

Запуск транспортного корабля был отложен на десять дней, в течение которых экипаж проводил интенсивные тренировки в условиях гидросреды по отработке ремонтных операций. Было разработано и испытано необходимое дополнительное оборудование для их проведения. В частности, был скомплектован набор инструментов для раскрытия батареи: резак на раздвижной ручке и штанга длиной 3 м с крюком на конце.

Осмотр станции, произведенный экипажем, показал, что раскрытию солнечной батареи мешает осколок метеоритного экрана.

Первый выход астронавтов первого экипажа в открытый космос. Цель выхода: раскрытие солнечной батареи из ПКК «Аполлон» при групповом полете со станцией.

Работы проводились через 8 ч после старта. Корабль «Аполлон» был переведен в режим группового полета на расстояние 2—3 м от станции. Управление кораблем осуществлял Ч. Конрад. После разгерметизации кабины ПКК «Аполлон» П. Вейц вылез по поясу из люка и попытался

извлечь осколок с помощью штанги с крюком на конце. Кервин удерживал Вейца за ноги, фиксируя его положение. Попытка развернуть батарею не удалась.

Второй выход астронавтов в открытый космос. Основная цель выхода: раскрытие солнечной батареи. Эта попытка в отличие от первой предусматривала работы на замой станции. Дополнительные цели: замена неисправной кассеты и фиксация в открытом положении крышки прибора комплекта астрономических наблюдений. Выход был совершен на 14-е сутки полета. Астронавты за сутки до выхода в течение 3 ч отработывали необходимые операции согласно полученных с Земли инструкций. Работы в открытом космосе осложнялись тем, что на поверхности станции от выходного люка шлюзовой камеры до солнечных батарей не было средств для перемещения.

Выход осуществляли Ч. Конрад и Д. Кервин. Первым покинул станцию Конрад, а затем Кервин. Работы проводились как на освещенной части витка, так и в тени при освещении рабочего пространства прожекторами. Конрад выбрал поручень длиной 7,5 м из секций по 1,5 м, к концу которого были привязаны ножницы для резки металла. Кервин после нескольких попыток закрепил один конец поручня у панели солнечной батареи, надев ножницы на осколок, который предстояло разрезать, а другой — к ферме комплекта астроприборов.

Выполняя эти операции, астронавт встретился с трудностями из-за фиксации ног. Пришлось обойтись без фиксаторов — астронавт привязал себя тросом. Частота пульса при установке поручня у Кервина 140—150 уд/мин, у Конрада 100—110 уд/мин. Установленный поручень Конрад использовал для перемещения к панели солнечной батареи. Фал, запутываясь, мешал передвижению. Кервин «стравил» фал и следил, чтобы он не зацепился за элементы конструкции станции. Оба астронавта испытывали трудности при фиксации тела. Конрад сообщал, что продвигаться трудно не оттого, что он устал, а оттого, что он не может найти опоры для ног. Передвижение осуществлялось с помощью рук. У панели Конрад фиксировал положение ножниц, удерживая их за одну ручку, а Кервин создавал усилие для разрезания, натягивая трос, привязанный к другой ручке ножниц. Осколок был удален, и панель начала раскрываться. Для дальнейшего раскрытия панели Конрад привязал трос к консоли батареи, подлез под него и выпрямился, упираясь ногами в

корпус станции, создав тем самым толкающее усилие для раскрытия.

Перед возвращением в станцию Кервин заменил неисправную кассету и зафиксировал в открытом положении крышку одного из приборов.

Таким образом, астронавты, используя имеющееся на борту оборудование и импровизируя во время выполнения работ в открытом космосе, выполнили программу выхода, обеспечив станцию недостающей электроэнергией. Выход длился 4 ч 15 мин.

Третий выход астронавтов в открытый космос. Основная цель выхода: смена шести кассет с пленкой в комплекте астрономических приборов.

Дополнительные цели:

осмотр теплозащитного экрана (установлен через ШК научных приборов без выхода в открытый космос);

удаление загрязнения с диска коронографа;

ремонт регулятора напряжения в одной из аккумуляторных батарей.

В этом выходе участвовали Конрад и Вейц. Выход был совершен на 26-е сутки полета.

Вейц остался у люка, закрепив ноги в фиксаторах, а Конрад поднялся по специально предусмотренной лестнице, насчитывающей семь ступенек, к комплекту астроприборов. Здесь предстояло выполнить запланированные операции. Первая операция — удаление нити с диска коронографа. Для этого Конрад использовал кисточку из верблюжьей шерсти. Ремонт регулятора напряжения, отработанный на Земле, заключался в ударе молотком по его корпусу. После достаточно сильного удара батарея заработала. Затем была произведена смена кассет. Во время выполнения этих операций частота пульса Конрада составляла 98—130 уд/мин. Осмотр установленного теплозащитного экрана показал, что он покрывает меньшую площадь станции, чем предполагали. На внешней стороне станции с помощью клейкой ленты Конрад укрепил обрешетку материала экрана для определения изменения его теплозащитных свойств. Во время этой операции частота пульса у Конрада составила 150 уд/мин.

Выход продолжался 1 ч 36 мин вместо трех часов по плану.

Второй экипаж (А. Бин — командир, Д. Лусма — летчик-астронавт, О. Гэрриот — научный работник-астронавт) находился на борту станции 59 суток. За этот пе-

риод астронавты совершили три выхода в открытый космос, выполнив ряд запланированных операций и ремонтных работ.

Работы в открытом космосе планировались на 3-и, 25-ю и 53-и сутки полета. Однако из-за плохого самочувствия экипажа первый выход был перенесен на 8-е сутки полета.

Первый выход астронавтов второго экипажа в открытый космос. Цели выхода:

- установка теплозащитного экрана типа «полог»;
- замена кассет с пленкой в комплекте астроприборов;
- монтаж ловушки метеорных частиц;
- демонтаж заслонки прибора;

внешний осмотр станции в поисках утечки хладагента и короткого замыкания в электроцепи, а также осмотр транспортного корабля в поисках видимых повреждений вспомогательных двигателей.

Необходимость установки теплозащитного экрана типа «полог» была продиктована тем, что укрепленный первым экипажем экран развернулся на 80% и поэтому часть станции перегревалась. Процедура установки экрана этого типа заключалась в натягивании на V-образную раму, образованную двумя 16-метровыми штангами, полотнища размером $7,34 \times 6,79$ м. При разворачивании экрана астронавт Гэрриот собрал две штанги, находясь у люка, и закрепил их одним концом у люка, а другим — к основанию фермы с астроприборами, где находился астронавт Лусма.

Ловушка метеорных частиц в соответствии с программой выносилась в открытый космос через шлюз, однако выносной механизм заклинило. Было принято решение укрепить ее при выходе в открытый космос. Заслонку спектрогелиометра решили демонтировать, так как ее заклинивало при дистанционном управлении из станции. Утечка хладагента в системе терморегулирования и утечка в топливной системе транспортного корабля потребовали осмотра внешней поверхности станции и двигателей корабля «Аполлон». Подготовка к выходу была начата в середине рабочего дня, предшествующего выходу.

Выход начался с опозданием на полтора часа из-за задержки в подготовке. Все предметы, которыми пользовались астронавты, были привязаны тросами. Обязанности были распределены между астронавтами следующим образом: Лусма поднимается по лестнице на площадку с

астроприборами; Гэрриот работает у люка, закрепив ноги в фиксаторах; Бин находится в шлюзовой камере и руководит действиями Лусмы и Гэрриота. Работы проводились на освещенной стороне витка, а при заходе в тень — в свете прожекторов. Лусма отмечал, что фал мешал работать и что он несколько раз запутывался в нем.

На установку экрана астронавты затратили 4 ч, т. е. вдвое больше, чем предполагалось. Астронавты встретились с трудностями при сборке штанг из-за конструктивных дефектов системы соединения секций. Пульс Гэрриота при сборке штанг достигал 105 уд/мин. Другая трудность возникла при установке полотнища экрана. Установка экрана проводилась методом натягивания его с помощью тросов, перекинутых через блоки. Тросы заедали, они переклестывались. Кроме того, полотнище «слежалось», и при разворачивании его приходилось расправлять вручную. Эти работы выполнялись спокойно, астронавты Лусма и Гэрриот двигались медленно, без резких движений. По оценке руководителей полета, астронавты работали «чрезвычайно осмотрительно и осторожно». Бин, наблюдавший за ходом работ, также отмечал, что астронавты «не спешили, так как знали, что им вовсе не надо спешить, и, главное, их никто не торопил».

Освещение места работы было недостаточным, и астронавты вынуждены были прерывать работы при входе станции в тень Земли.

После установки теплозащитного экрана астронавты выполнили остальные задания, на которые ушло сравнительно мало времени. Лусма сменил четыре кассеты с пленкой в комплекте астроприборов, установил на корпусе станции образцы различных теплозащитных покрытий, осмотрел станцию, блоки двигателей корабля «Аполлон».

Работы в открытом космосе продолжались 6 ч 31 мин.

Второй выход астронавтов в открытый космос, как и планировалось, был совершен на 25-е сутки полета.

Цели выхода:

подключение запасного комплекта гироскопов к вычислительной машине комплекта астроприборов;

смена кассет с пленкой;

демонтаж ненадежно работающих заслонок объективов ряда приборов.

Рабочий день, предшествующий дню выхода, был посвящен подготовке. Тренировки показали, что на выпол-

нение всех операций требуется больше времени, чем предусматривалось программой.

По просьбе командира экипажа Бина время тренировок было увеличено на 3 ч. Бин также выразил мнение, на основании опыта первого выхода, что для выполнения всех работ недостаточно отведенных 4 ч.

Подключение блока запасных гироскопов к вычислительной машине заключалось в отстыковке двух электрических кабелей и подстыковке одного 7-метрового кабеля. Эти операции особой трудности не представляли: «все равно что вставить вилку шнура осветительной лампы в розетку на стене».

В выходе участвовали Лусма и Гэрриот, Бин оставался на станции, чтобы обеспечить ее стабилизацию в момент отключения гироскопов. Выход начался на полтора часа позже, чем было запланировано, причем опоздание объяснялось не техническими причинами, а желанием астронавтов более тщательно подготовиться к предстоящим работам. Первой операцией, выполненной астронавтом Лусмой, было подсоединение кабеля. Гэрриот травил кабель, стоя у люка шлюзовой камеры, на что ушло менее 10 мин, хотя в имитированных условиях на Земле подобная операция требовала около 20 мин.

Смену кассет в комплекте астроприборов без труда произвел Гэрриот. Выход продолжался 4 ч 21 мин (по программе 4 ч).

Третий выход в открытый космос был совершен на 55-е сутки полета.

Цели выхода:

замена кассет с пленкой;

удаление загрязнения с объектива одного из приборов; ремонт механизма поворота антенны прибора для исследований природных ресурсов Земли.

Предшествующие выходу сутки полета были посвящены подготовке к работам в открытом космосе. Выход продолжался 2 ч 49 мин (по программе 2,5—3 ч). В работах участвовали Бин и Гэрриот. Они произвели замену шести кассет с пленкой, сняли образцы укрепленных ранее теплозащитных покрытий. Астронавт Бин кисточкой удалил кусочек краски с объектива одного из астроприборов и произвел регулировку механизма поворота антенны прибора для исследования природных ресурсов Земли. Астронавты подтянули крепление теплозащитного экрана.

Отмечалось, что Бин и Гэрриот работали спокойно, часто отдыхали.

Деятельность астронавтов третьего экипажа. Третий экипаж (Д. Карр — командир; У. Поуг — летчик-астронавт и Э. Гибсон — научный работник-астронавт) провел на станции 84 суток. Было запланировано четыре выхода в открытый космос: на 7-е, 39-е, 44-е и 80-е сутки полета.

Первый выход в открытый космос. Цели выхода:

замена кассет с пленкой в комплекте астрономических приборов;

ремонт привода антенны одного из приборов для исследований природных ресурсов Земли;

установка камеры для съемки объектов искусственного происхождения, образующихся вокруг станции за счет выброса продуктов работы двигателей, жизнедеятельности и пр.;

монтаж на станции образцов теплозащитных покрытий для изучения воздействия космических излучений и солнечной радиации.

По сложности ремонт антенны уступал лишь операциям развертывания заклинившей солнечной батареи. В ремонте должны были участвовать два астронавта, один из которых должен подавать необходимые инструменты. Астронавтам предстояло пройти вокруг корпуса станции к месту, где смонтирована антенна. Устройств для фиксации тела в районе антенны не было, поэтому необходимо было установить два фиксатора для ног в виде больших ботинок.

Рабочий день накануне выхода был сокращен на час, чтобы астронавты могли отдохнуть перед работами в открытом космосе. В этот день астронавты провели медицинское обследование. Накануне у Гибсона и Поуга наблюдались признаки дезориентации и укачивания.

Выход начался с опозданием из-за чистки скафандров. Значительную часть времени астронавты затратили на ремонт антенны. Они определили характер неисправности: неисправна электрическая цепь. Потребовалось смонтировать переключатель. При этом было необходимо вывинтить винты. Поуг, проводивший эту операцию, отмечал трудность работ в перчатках. Ремонт считался успешным. Длительность работ в открытом космосе составила 6 ч 34 мин.

Второй выход в открытый космос. Цели выхода:

съемка кометы Когоутека с помощью двух камер; смена кассет с пленкой в комплекте астроприборов; устранение неисправности в механизме вращения диска с фильтрами в одном телескопе и ремонт механизма поворота заслонки объектива другого телескопа.

Для съемки кометы пришлось монтировать камеры на ферменной конструкции, наводить их на комету по командам с Земли. Значительная часть времени отведена на устранение неисправности в диске с фильтрами. Подобной операции астронавты на Земле не отработывали. Астронавты дублирующего экипажа разработали методику ремонта в условиях, имитирующих невесомость, и передали инструкцию, которая предусматривала использование зеркала и фонаря, на борт станции. На съемку кометы отводилось 3 ч.

За сутки до выхода астронавты провели подготовку к выполнению предстоящих операций.

Выход Карра и Поуга начался на 40-е сутки полета с опозданием примерно на час из-за затянувшихся подготовительных операций. Астронавты смонтировали камеры и навели их по командам с Земли на комету Когоутека.

После смены кассет с пленкой в комплекте астроприборов Карр произвел ремонт механизма вращения диска с фильтрами, применив отвертку. В общей сложности выход продолжался 7 ч.

Третий выход в открытый космос планировался на 44-е сутки полета. Расчетная длительность выхода 3,5 ч.

Цели выхода:

съемка кометы с помощью камер после прохождения перигелия;

наблюдения Солнца с помощью выносной камеры; демонтаж метеорной ловушки.

Выход начался по графику. Астронавты установили на внешней стороне станции камеры для съемки кометы и одну для наблюдений Солнца. Съемка с помощью этих камер проводилась в автоматическом режиме. Ловушку метеорных частиц астронавты не обнаружили. Предположили, что ее сорвали во время предыдущего выхода, зацепив фалом.

Выход продолжался 3 ч 28 мин и завершился успешно.

Четвертый выход в открытый космос совершен на 80-е сутки полета.

Цели выхода:

извлечение шести кассет с пленкой из приборов астро-наблюдений;

демонтаж образца теплозащитного экрана;

фотографирование Солнца;

визуальный осмотр и фотографирование корпуса станции;

съемка частиц искусственного происхождения вокруг станции для определения помех при астрономических наблюдениях с борта станции.

На выполнение всех операций отводилось 4 ч 35 мин. Астронавты Карр и Гибсон выполнили всю программу, пробыв вне станции 5 ч 18 мин.

Итак, астронавты каждого из экипажей провели в открытом космосе:

первый экипаж более 12 человеко-часов;

второй экипаж около 28 человеко-часов;

третий экипаж более 42 человеко-часов.

В общей сложности астронавты работали в открытом космосе более 82 человеко-часов. Максимальная длительность пребывания в открытом космосе за один выход составила 7 ч, а длительность пребывания одного астронавта в открытом космосе за полет составила от 2 ч 49 мин до 16 ч.

Выходы в открытый космос осуществлялись в различные периоды полета, на первые сутки после старта и на 80-е.

Основными задачами, которые решались за пределами станции, были:

ремонтные операции механических узлов и электронного оборудования;

штатное техническое обслуживание аппаратуры, размещаемой вне станции;

проведение научных экспериментов;

осмотр внешней поверхности станции.

Ремонтные операции составили более 50% всех работ, выполненных в открытом космосе, и потребовали значительных временных затрат. Ремонтные операции проводились с механическими системами: раскрытие солнечной батареи, установка теплозащитного экрана, регулировка и ремонт механизмов приводов, демонтаж механических деталей, удаление загрязнения с объективов. Выполнены также работы по стыковке и расстыковке электрических кабелей и «ремонт» электронного оборудования.

Операции технического обслуживания — смена кассет с пленкой в комплекте астрономических приборов. Это работы с механическими системами.

Научные эксперименты включали наблюдения в открытом космосе, а также съемки с помощью фотоаппаратуры. Кроме этого, астронавты проводили монтажно-демонтажные операции экспериментального оборудования, визуальный осмотр деталей и систем, расположенных на внешней поверхности станции, для определения их состояния, возможных утечек жидкостей, а также для определения воздействия глубокого вакуума и солнечной радиации.

Некоторые выводы по реализации работ в открытом космосе по программе «Скайлэб»:

1. Эффективность выполнения программы космического полета в значительной мере зависит от надежности функционирования бортовых систем и, в частности, систем и агрегатов, расположенных за пределами герметичных отсеков.

Для поддержания работоспособности этих систем необходимы ремонтно-профилактические работы, связанные с выходом в открытый космос.

Эти работы можно разделить на плановые, т. е. предусмотренные программой, и внеплановые, необходимость которых возникает в ходе космического полета.

2. Деятельность астронавтов за пределами станции убедительно доказывает, что человек, оснащенный нужными средствами и имеющий достаточный уровень тренированности, способен успешно выполнять в открытом космосе сложные и трудоемкие операции.

3. Конструктивные особенности работ в открытом космосе.

Успешное выполнение операций за пределами герметичных отсеков во многом зависит от технических средств, обеспечивающих выход в открытый космос. В плюсовой камере станции «Скайлэб» свободно размещались два астронавта, экипированные в скафандр, и необходимое оборудование. Для работ на внешней поверхности станции были предусмотрены фиксаторы для ног и поручни для перемещения. Однако в ходе эксплуатации и ремонта станции выяснилось, что ремонтные операции могут потребоваться в местах, где не предусмотрены или невозможно предусмотреть фиксирующие устройства. Астронав-

ты в подобных ситуациях использовали привязи. В связи с этим возникает необходимость в разработке переносных универсальных средств фиксации.

То же можно сказать и в отношении средств перемещения по поверхности станции. Естественно, что нельзя предусмотреть поручни и другие механические средства перемещения по всей поверхности станции.

Радиус активных действий астронавта при использовании бортовых СЖО определяется длиной фала, который часто мешал работам, и астронавты в нем запутывались.

Следовательно, на борту долговременных пилотируемых объектов целесообразно иметь установки перемещения, которые позволят космонавту совершать поступательное перемещение и маневрирование вокруг центра масс без контакта с поверхностью станции, т. е. в безопорном пространстве. Подобные установки прошли испытания на борту станции «Скайлэб», которые проводились как с фалом, так и без него.

Большое значение имеет удобство и простота конструктивного решения обслуживаемой аппаратуры. Астронавты выполняли предусмотренные операции по техническому обслуживанию, например смену кассет в комплекте астрономических приборов, перестыковку электрических кабелей и т. д.

Одним из определяющих факторов работоспособности космонавтов является конструкция скафандров. В ходе работ выяснилось, что перчатки скафандров затрудняют выполнение операций с мелкими деталями и сборку секций поручней.

Опыт проведенных работ показал также, что оборудование, используемое вне станции, необходимо фиксировать. Астронавты привязывали все предметы, которыми пользовались за бортом станции.

Освещение рабочих мест позволило выполнять операции и на теневой части витка, что увеличивало время активной работы.

4. Подготовка астронавтов.

Подготовка астронавтов проводилась в ходе общей подготовки к полету и, в частности, в гидробассейне на полномасштабном макете орбитальной станции. Эти тренировки дополнялись отработкой ряда ремонтных операций, которые планировались в соответствии с работоспо-

способностью бортовой аппаратуры станции: раскрытие солнечной батареи, установка теплозащитного экрана и пр. При возникновении неисправностей во время полета была отработана методика ремонтных операций. Она разрабатывалась на Земле специалистами и дублирующим экипажем и передавалась на борт. Накануне выхода астронавты тренировались в соответствии с полученной методикой, дополняя и изменяя ее.

Большую роль играла творческая импровизация экипажа. Часто приходилось пользоваться лишь имеющимся на станции инструментом, оборудованием и подсобным материалом.

5. Работоспособность астронавтов.

Несмотря на сложность и трудоемкость ряда ремонтных операций, астронавты выполнили их успешно. Этому способствовали хорошая физическая подготовка астронавтов и тренировки с помощью бортовых средств: велоэргометр, «бегущая» дорожка, эспандер и пр.

Работы вне станции в скафандрах можно отнести к разряду тяжелых физических работ. При этом необходимо учитывать особенности условий работы: невесомость, ограниченность движений, сферы обзора, непривычная освещенность и т. д. Частота пульса астронавтов при выполнении отдельных операций достигала 170—180 уд/мин, движения отличались размеренностью и неторопливостью. Работы проводили два астронавта, помогая и страхуя друг друга, — один выполнял основную часть работы, другой подавал необходимое оборудование, выбирал или подавал фал, помогал созданию больших физических усилий и т. д.

В ходе работ астронавты чередовали активную деятельность с отдыхом. В каждом из последующих после первого выходов участвовал астронавт, уже имевший опыт работ в открытом космосе.

Как правило, временные затраты превышали расчетные значения. Иногда они достигали почти 50%. На некоторые операции требовалось меньше времени, чем ожидали по результатам их отработки в гидросреде. Поэтому программа работ в открытом космосе корректировалась. Астронавты отмечали, что благоприятная обстановка создавалась благодаря тому, что многие операции не ограничивались жестко по времени, т. е. не надо было спешить.

Астронавты достаточно быстро адаптировались к условиям пребывания в космическом пространстве, только у Кервина в первое время после выхода отмечались симптомы дезориентации.

Опыт работ советских космонавтов и американских астронавтов в открытом космосе вносит значительный вклад в исследования деятельности человека вне космических кораблей и станций в полете.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ



Средства обеспечения деятельности человека в открытом космосе отличаются конструктивным исполнением, особенностями применения, а также различной их оценкой в наземных условиях до выведения на орбиту. Например, поручни, некоторые виды фиксаторов и инструментов и т. д. довольно просты. УПК «ранцевого» типа, безинерционный инструмент, скафандры, наоборот, имеют сложную конструкцию. Каждое средство, которое применяет космонавт в полете, проходит широкую программу исследований в наземных условиях.

Технические средства, обеспечивающие в космическом полете динамику движений космонавта, исследуются методом математического моделирования, а также в условиях, имитирующих космический полет.

Для имитации условий невесомости и безопорного состояния в настоящее время широко применяются:

- полеты самолетов по параболе Кеплера;
- создание нулевой плавучести в гидросреде;
- специальные стенды с различным числом степеней свободы.

Невесомость, возникающая при полете самолета по параболе Кеплера, непродолжительна (около 30 с), что часто не позволяет достоверно оценить динамические процессы большой длительности. Картину физиологического воздействия искажает чередование перегрузок и невесомости.

Гидроневесомость дает возможность проводить необходимые исследования в течение длительного времени,

Однако этот метод имеет свой недостаток — сопротивление окружающей среды.

Стенды с различным числом степеней свободы также не лишены недостатков, которые искажают картину реального космического полета и безошибочного пространства.

Средства обеспечения деятельности человека в открытом космосе можно разделить на две группы. К первой группе отнесем средства, не требующие большой динамичности космонавта при их применении: поручни, некоторые типы фиксаторов и инструментов. Конечно, космонавт, пользуясь ими, совершает определенные движения конечностями, поступательные и угловые передвижения, но в ограниченном диапазоне и с незначительными линейными и угловыми скоростями. Ко второй группе отнесем средства, предназначенные для широкого маневрирования (поступательное и угловое перемещение). К ним относятся реактивные устройства «пистолетного» и «ранцевого» типа.

Средства первой группы исследуются в условиях, имитирующих кратковременную невесомость, и в условиях гидросреды. При исследованиях динамики маневрирования имитирующие условия могут дать весьма ценную, но далеко не достоверную информацию.

Рассмотрим некоторые результаты моделирования динамики маневрирования космонавта с УПК «пистолетного» и «ранцевого» типа, стенды с различными степенями свободы и исследования УПК в реальном космическом полете.

ИССЛЕДОВАНИЯ УПК «ПИСТОЛЕТНОГО» ТИПА

Исследования УПК «пистолетного» типа проводились как в наземных условиях, так и в условиях реального космического полета. Впервые УПК «пистолетного» типа применялись во время полета «Джемини-4».

Астронавт Э. Уайт использовал установку для маневрирования относительно корабля, однако из-за того, что кончилось рабочее тело, продолжительность эксперимента составила всего лишь около 3 мин. Астронавт отметил сравнительную простоту в обращении с УПК подобного типа.

Положительную оценку устройство перемещения подобного типа получило и при полете ПКК «Джемини-10».

В этом эксперименте время маневрирования было увеличено до 30 мин. Астронавт выполнял маневры сближения с ракетой «Аджена-8», находящейся на расстоянии 1,5—3,7 м от ПКК, и возвращение к кораблю. Кроме того, с помощью установки астронавту удалось парировать вращение, которое он получил в безопорном состоянии при попытке ухватиться рукой за стыковочный узел ракеты «Аджена».

Итак, подобные достаточно простые устройства для маневрирования в безопорном пространстве могут быть использованы в практике космических полетов.

Однако, как мы отмечали ранее, данное устройство не имеет автоматической стабилизации. Это значительно увеличивает умственную и физическую нагрузку на космонавта. Кроме того, в процессе маневрирования заняты руки космонавтов, УПК этого типа имеют ограниченный радиус действия. В результате подобные установки редко применяются для таких операций, как техническое обслуживание, транспортировка грузов, сборка, спасение экипажа и др.

ИССЛЕДОВАНИЯ УПК «РАНЦЕВОГО» ТИПА

Конструкция любого устройства, предназначенного для маневрирования космонавта, должна быть совместима с динамикой такого маневрирования. Вне космического корабля в безопорном состоянии самого космонавта вместе с установкой перемещения следует рассматривать как космический объект, подчиняющийся классическим законам движения. Очевидно, космонавт будет отделяться от корабля с малыми относительными скоростями, что диктуется прежде всего требованиями безопасности.

Предположим, орбита корабля круговая. В некоторый момент времени от корабля отделяется космонавт в установке перемещения, связующий фал отсутствует, т. е. аппараты совершают независимое движение по своим орбитам. Пренебрегая влиянием аэродинамического сопротивления, можно считать, что космонавт будет обращаться вокруг Земли по эллиптической орбите малого эксцентриситета, лежащей вблизи орбиты корабля.

Практический интерес представляет относительное движение космонавта и корабля. Введем вращающуюся систему координат с центром O , совпадающим с центром

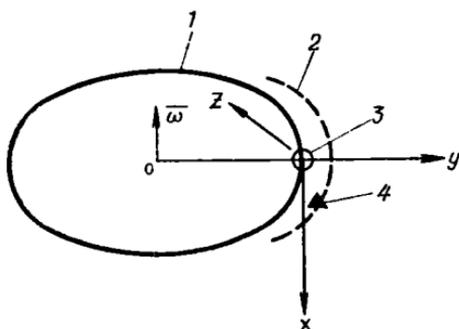


Рис. 26. Относительное движение космонавта:

0 — центр Земли; $\vec{\omega}$ — орбитальная угловая скорость ПКК; 1 — орбита ПКК; 2 — орбита космонавта с УПК; 3 — ПКК; 4 — космонавт с УПК

масс корабля. Ось Y системы направлена от центра Земли, ось X перпендикулярна оси Y и направлена в сторону, противоположную орбитальной скорости корабля, ось Z дополняет систему до правой (рис. 26). Массы обоих космических аппаратов пренебрежимо малы по сравнению с массой Земли. Возмущениями, действующими на оба космических объекта, из-за несферичности Земли и притяжения других небесных тел, которые также малы по сравнению с гравитационным ускорением Земли, можно пренебречь.

Учитывая эти допущения, линеаризованные уравнения относительного движения космонавта в системе $OXYZ$ можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \ddot{x} - 2\omega\dot{y} &= \frac{F_x}{m}; \\ \ddot{y} + 2\dot{x}\omega - 3\omega^2\dot{y} &= \frac{F_y}{m}; \\ \ddot{z} + \omega^2z &= \frac{F_z}{m}, \end{aligned} \quad (8)$$

где ω — орбитальная угловая скорость космического корабля;

m — масса космонавта с установкой перемещения;
 $F_{x,y,z}$ — проекции тяги двигателей установки перемещения на соответствующие оси.

Если предположить, что управляющие силы, действующие на космонавта, отсутствуют, а это значит, что правые части уравнения равны нулю, их нетрудно проинтегрировать. В результате получим выражения для координат траектории относительного движения в функции времени:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= \left(x_0 + \frac{2\dot{y}_0}{\omega} \right) - \frac{2y_0}{\omega} \cos \omega t + \left(\frac{4\dot{x}_0}{\omega} - 6y_0 \right) \sin \omega t + \\
 &\quad + \left(6y_0 - \frac{3\dot{x}_0}{\omega} \right) \omega t; \\
 y(t) &= \left(4y_0 - \frac{2\dot{x}_0}{\omega} \right) + \left(\frac{2\dot{x}_0}{\omega} - 3y_0 \right) \cos \omega t + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t; \quad (9) \\
 z(t) &= z_0 \cos \omega t + \frac{\dot{z}_0}{\omega} \sin \omega t,
 \end{aligned}$$

где x_0 ; y_0 ; z_0 ; \dot{x}_0 ; \dot{y}_0 ; \dot{z}_0 — начальные (в момент $t=0$) составляющие векторов относительной дальности и скорости.

Из полученных выражений видно, что координаты $y(t)$ и $z(t)$ — периодические функции времени. Они изменяются с частотой, определяемой орбитальной угловой скоростью корабля. Координата $x(t)$ содержит вековой член. Уравнения для $x(t)$ и $y(t)$ характеризуют относительное движение в орбитальной плоскости. Перемещение по оси z отражает движение вне плоскости орбиты корабля и не зависит от составляющих $x(t)$ и $y(t)$. В зависимости от направления и величины импульса скорости на отделение космонавта от корабля вид траекторий относительного движения будет существенно отличаться. Характерные случаи траекторий относительного движения сведены в таблицу 9.

При начальных условиях, соответствующих варианту А, функция $z(t)$ представляет собой гармоническое колебание с периодом, равным периоду обращения корабля по орбите и с амплитудой \dot{z}_0/ω . При удалении от корабля на максимальное расстояние $\frac{\dot{z}_0}{\omega}$ космонавт возвращается к нему через интервал времени, равный половине периода обращения корабля. Если составляющая относительной скорости в направлении оси z отсутствует, то максимальное боковое отклонение плоскости орбиты корабля будет определяться величиной z_0 , которая представляет собой ошибку некопланарности в момент отделения.

В варианте В движение космонавта происходит по эллипсу, центр которого непрерывно смещается параллельно оси X . Нетрудно убедиться в том, что смещение происходит вдоль большой полуоси, которая в два раза превышает малую полуось.

Траектория относительного движения в случае *B* представляет собой эллипс с отношением большой полуоси к малой, равным 2. Центр этого эллипса неподвижен. Космонавт завершает оборот по эллипсу относительного движения в точке встречи с кораблем, определяемой ошибкой некомпланарности в момент отделения.

Если импульс отделения имеет проекции на оси *У* и *Z*, космонавт будет двигаться по эллиптической траектории, плоскость которой наклонена к орбитальной плоскости корабля на угол, определяемый начальными условиями отделения. При наличии составляющих импульса отделения на оси *X* и *У* космонавт будет двигаться по эллипсу относительного движения, который напоминает эллипс в случае *B*, но с перемещающимся центром.

Методика относительного движения с помощью движущихся эллипсов обобщена в классификации траекторий относительного движения космонавта в установке перемещения, когда основной космический объект находится на круговой орбите. Классификация траекторий проводилась по признаку равенства или неравенства эксцентриситетов и периодов орбит космического корабля ($e_{кк}$, $T_{кк}$) и эксцентриситетов и периодов орбит космонавта в установке перемещения (e_k ; T_k).

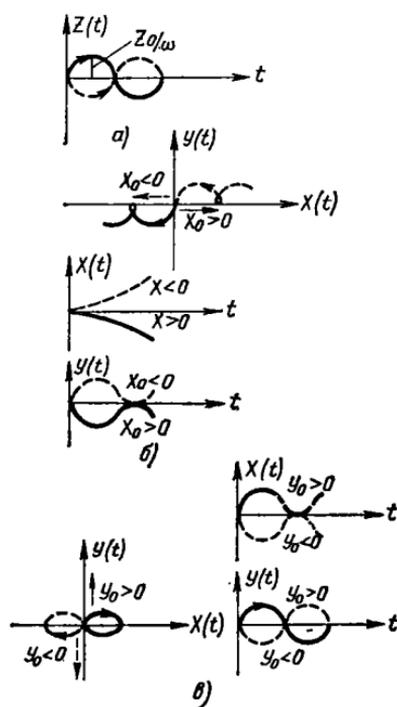
Т а б л и ц а 9

Вариант	Комбинация начальных условий	Уравнения, характеризующие изменение координат $x(t)$; $y(t)$; $z(t)$
A	$x_0 = y_0 = z_0 = 0;$ $\dot{x}_0 = \dot{y}_0 = 0;$ $z_0 \neq 0$	$z(t) = \frac{z_0}{\omega} \sin \omega t$
B	$x_0 = y_0 = z_0 = 0;$ $\dot{y}_0 = z_0 = 0;$ $\dot{x}_0 > 0;$ $\dot{x}_0 < 0$	$x(t) = \dot{x}_0 \left(\frac{4 \sin \omega t}{\omega} - 3t \right);$ $y(t) = 2 \frac{x_0}{\omega} (\cos \omega t - 1).$
B	$x_0 = y_0 = z_0 = 0;$ $\dot{x}_0 = \dot{z}_0 = 0;$ $\dot{y}_0 > 0;$ $\dot{y}_0 < 0$	$x(t) = 2 \frac{\dot{y}_0}{\omega} (1 - \cos \omega t);$ $y(t) = \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t$

Траектории относительного движения и изменения координат $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ показаны на рис. 27, а, б, в соответственно для вариантов А, Б и В.

Рис. 27. Траектории относительного движения:

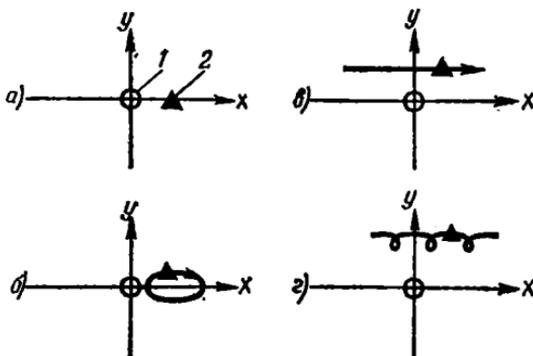
а — для варианта А; б — для варианта Б; в — для варианта В



На рис. 28, а, б, в, г показан вид траекторий относительного движения соответственно для случаев:

Рис. 28. Вид траекторий относительного движения:

а — космонавт неподвижен во вращающейся системе координат и находится на одной высоте с ЦКК; б — космонавт движется по эллипсу с неподвижным центром; в — эллипс относительного движения вырождается в движущуюся точку; г — космонавт движется по эллипсу, центр которого перемещается вдоль оси X ;
 1 — ЦКК; 2 — космонавт с УПК



$$e_{\text{КК}} = e_{\text{К}}; T_{\text{КК}} = T_{\text{К}}(I); e_{\text{КК}} \neq e_{\text{К}}, \text{ но } T_{\text{КК}} = T_{\text{К}}(II);$$

$$e_{\text{КК}} = e_{\text{К}}, \text{ но } T_{\text{КК}} \neq T_{\text{К}}(III); e_{\text{КК}} \neq e_{\text{К}}; T_{\text{КК}} \neq T_{\text{К}}(IV).$$

При пилотировании в установке перемещения космонавту удобнее и проще пользоваться траекториями типа I и II, так как они соответствуют равным орбитальным периодам космонавта и космического корабля.

Конечным этапом сближения космонавта с ПКК является их стыковка. Для стыковки УПК и ПКК необходима их встреча на орбите. Пользуясь ранее полученными уравнениями относительного движения, можно рассчитать нужные $x_0; y_0; z_0$ так, чтобы для заданных $x_0; y_0; z_0$ и для требуемого момента времени $t_{\text{встр}}$ могла быть осуществлена встреча космических объектов. Не принимая во внимание боковое движение, можно определить начальные скорости $\dot{x}_0; \dot{y}_0$, при которых произойдет пересечение траектории полета УПК и космонавта через начало связанной системы координат $OXYZ$ в момент встречи $t_{\text{встр}}$. Задаваясь значениями $x(t_{\text{встр}}) = 0$ и $y(t_{\text{встр}}) = 0$, можно вычислить скорости:

$$\dot{x}_0 = \frac{6\omega y_0 (\sin \omega t_{\text{встр}} - \omega t_{\text{встр}}) + 2\dot{y}_0 (\cos \omega t_{\text{встр}} - 1) + \omega x_0}{3\omega t_{\text{встр}} - 4\sin \omega t_{\text{встр}}};$$

$$\dot{y}_0 = \frac{\omega y_0 [12 (\sin \omega t_{\text{встр}} - \omega t_{\text{встр}}) \cos \omega t_{\text{встр}} + 2x_0 - 1]}{4 (\cos \omega t_{\text{встр}} - 1) (1 - \cos \omega t_{\text{встр}})}.$$

Таким образом, при выбранном ($t_{\text{встр}}$) и при наличии на УПК счетно-решающего устройства и устройств определения параметров относительного движения можно осуществить встречу УПК и ПКК на орбите.

Однако подобного рода аппаратура значительно усложняет конструкцию УПК, увеличивает ее вес и габариты.

Большая часть установок перемещения «ранцевого» типа прежде всего из-за весовых и габаритных ограничений не имеют устройств измерения параметров относительного движения и устройств их обработки. Поэтому для повышения безопасности космонавта, выполняющего работы вне космического корабля, весьма желательно разработать простые и надежные методы визуального пилотирования. Выполнение такого рода маневров потребуются при отказе соответствующего навигационного оборудования. В подобных ситуациях единственно надежными навигационными параметрами для космонавта, нахо-

дящегося в открытом космосе, могут быть: ракурс корабля, кажущееся движение корабля по отношению либо к горизонту Земли, либо к звездному фону, видимое относительное положение корабля.

Естественно, что при применении методов визуального пилотирования диапазон расстояний между космонавтом в установке перемещения и космическим кораблем ограничен величинами, на которых можно различить геометрические размеры корабля.

Один из методов автономного пилотирования при групповом полете может быть основан на использовании относительных траекторий, характер которых рассмотрен выше. Рассмотрим случай, когда эксцентриситет и периоды орбит космического корабля и космонавта равны. Космонавт и космический корабль находятся на одинаковых орбитах, космонавт может быть впереди или позади корабля при нулевой относительной скорости. Единственным навигационным параметром, по которому космонавт может судить о высоте относительно корабля, может служить угловая высота корабля над горизонтом α (угол между линией визирования корабля и линией визирования горизонта Земли).

Этот угол остается постоянным для различных значений координаты $x(t)$. Меняется он в том случае, если космонавт находится выше или ниже корабля. При использовании α в качестве навигационного параметра космонавт должен направлять вектор тяги двигателей установки перемещения так, чтобы он пересек линию равных высот впереди или позади корабля, а затем устранить вертикальную скорость сведением к нулю угловой скорости α . Если орбитальные параметры объектов совпадут, то космонавт будет неподвижен относительно корабля. Если же в конце маневра орбитальные параметры не совпадают, то космонавт начнет перемещаться из точки равных высот по одной из возможных траекторий (см. рис. 28, z) — вверх (при $x < 0$) или вниз (при $x > 0$).

Если космонавт движется вверх, то одновременно уменьшается угол α . В этом случае требуется составляющая тяги, направленная к центру Земли, и одновременный маневр торможения для увеличения x . Если космонавт перемещается вниз, то угол α увеличивается. При этом тяга должна направляться от центра Земли с одновременным маневром уменьшения x .

Управление движением вне плоскости орбиты заключается в приведении плоскости орбиты космонавта к плоскости орбиты корабля. Для этого космонавт должен направлять тягу установки перемещения в сторону плоскости орбиты корабля. На дневной стороне орбиты космонавт может определить расхождение орбитальных плоскостей по смещению корабля от направления движения наземных ориентиров. На ночной стороне относительный наклон орбитальных плоскостей можно определить по видимому движению корабля на звездном фоне. Для практического использования этого метода нужно, чтобы космонавт удерживал свою связанную ось $У$ в орбитальной плоскости. Это может выполнить система стабилизации УПК.

После того как космонавт займет стационарное положение относительно корабля, может потребоваться сближение. Для этого необходима тормозная тяга. При направлении вектора тяги УПК к кораблю-цели космонавт будет двигаться с одновременным отклонением от линии равных высот. С течением времени это отклонение будет возрастать. Чтобы его устранить, космонавт должен периодически прикладывать тягу в направлении оси X (рис. 29).

Моделирование пилотирования с использованием относительного движения с равными периодами и эксцентриситетами орбит корабля и космонавта показало, что угол α является удовлетворительным навигационным параметром автономного пилотирования при групповом полете. Моделирование проводилось для предварительной отработки способов управления движением космонавта в УПК при сближении и стыковке с ПКК.

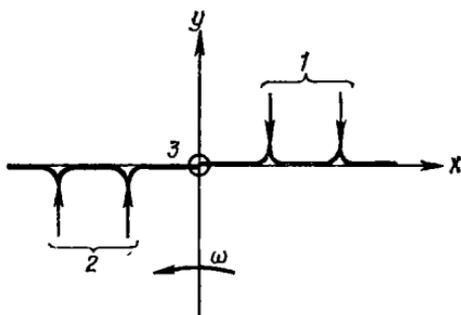
Цели моделирования — оптимизация параметров системы управления и двигательной установки, разработка методов ручного управления на основе визуальной информации.

Задача испытателя заключалась в визуальном определении своей ориентации относительно звезд, горизонта Земли и ПКК. Далее, вручную управляя угловым и поступательным перемещением УПК, испытатель осуществлял отход от корабля, маневрирование и стыковку. Предполагалось, что корабль находится на круговой орбите. Корабль ориентировался в трех режимах:

- стабилизация относительно инерциальных осей;
- стабилизация в орбитальной системе координат;

Рис. 29. Сближение методом последовательного приложения импульса тяги:

1 — последовательность включения двигателя при подходе к ПКК сзади; 2 — последовательность включения двигателя при подходе к ПКК спереди; 3 — ПКК



колебательные движения с угловой скоростью 0,5 град/с.

Динамика процесса встречи состояла в устранении угловой скорости линии визирования корабля относительно звезд с последующим перемещением вдоль линии визирования. Метод сведения к нулю угловой скорости линии визирования заключался в устранении составляющей скорости, нормальной к линии визирования, обнаруживаемой космонавтом по движению корабля на звездном фоне. После приложения корректирующей тяги для управления использовалось новое направление линии визирования и весь процесс повторялся до встречи. Автоматическая стабилизация УПК, как показало моделирование, значительно облегчила задачу маневрирования.

Управление в ручном режиме потребовало вдвое больше времени, чем при автоматическом управлении. Средний полный импульс на маневрирование возрастал на 40%. Однако по мере приобретения опыта характеристики ручного управления улучшались.

Моделирование стыковки начиналось с момента, когда, по мнению космонавта-испытателя, он находился на расстоянии 3 м от переходного отсека корабля. Стыковка считалась успешной, если радиальное расстояние от продольной оси корабля меньше, чем радиус переходного отсека (1,5 м), а относительная скорость направлена к кораблю и не превышает 0,3 м/с.

Два испытателя успешно осуществили 76 и 84 эксперимента по стыковке. При этом тяга каждого двигателя УПК была выбрана 0,9 кг, а команды по угловой скорости были ограничены величиной 15 град/с. Относительная скорость в точке контакта в основном не превышала

0,3 м/с. Радиальное расстояние при контакте не превышало 1,5 м, и лишь в трех случаях находилось в диапазоне 1,5—1,8 м.

Таким образом уже на Земле благодаря математическому моделированию можно провести предварительное изучение особенностей поступательного перемещения космонавта с УПК относительно ПКК, определить методы пилотирования и провести тренировки космонавтов. Естественно, что при этом исключается влияние эмоциональной напряженности, присущей реальному полету.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМОНАВТА ВОКРУГ ЦЕНТРА МАСС

Для выполнения группового пилотирования, сближения с космическим кораблем или другим космическим объектом, для выполнения ряда работ вне корабля космонавту необходима ориентация и стабилизация вокруг центра масс. Например, в процессе маневрирования используется визуальное наблюдение за кажущимся перемещением космического корабля относительно горизонта Земли или звезд. Для понимания качественной картины относительного движения космонавт должен поддерживать свою ориентацию в инерциальном пространстве с высокой степенью точности. Это необходимо прежде всего для того, чтобы избежать ошибочных умозаключений из-за собственного вращения.

При наблюдениях с помощью различного рода приборов, при выполнении экспериментов, в других ситуациях космонавт должен производить разнообразные движения конечностями. В руках космонавта могут быть инструменты, фото- или кинокамеры и т. д.

Возможно, космонавту придется выполнять движения конечностями и во время поступательного перемещения при работающих двигателях УПК.

Если по общепринятой концепции космический корабль считается жестким телом, то этого нельзя сказать про космонавта. К нему более применима механическая модель системы тел с шарнирными связями. Свободно двигающиеся конечности космонавта, космический скафандр, инструменты, экспериментальное оборудование и другие незафиксированные элементы — все это затрудняет определение Ц. М. и моментов инерции всей системы.

В отличие от космических кораблей и тем более орбитальных станций в системе «космонавт — УПК» масса космонавта, скафандра и других элементов полезной нагрузки соизмерима и даже больше массы самой УПК. Кроме того, в этой системе космонавт выступает одновременно как оператор и как объект управления. В связи с этим при определении параметров системы ориентации и стабилизации УПК и системы поступательного перемещения необходимо учитывать двигательную активность человека в процессе работ в открытом космосе. Эти задачи относятся к разряду инженерно-психологических задач.

Рассмотрим влияние перемещения отдельных элементов тела космонавта на его вращательное движение вокруг Ц.М. При этом будем рассматривать космонавта в УПК как систему материальных тел, состоящую из основного (несущего) тела и подвижных относительно него (носимых) тел.

В качестве основного тела естественно принять туловище космонавта, так как оно менее подвижно, и УПК. К тому же в них сосредоточена большая масса системы. К подвижным телам отнесем только конечности и удерживаемые ими различные массы. Рассматриваемая система в конечном счете не что иное, как биомеханическая модель. Отметим ее некоторые особенности: элементы конечностей (плечо, предплечье и т. д.) с достаточной степенью точности можно представить в виде невесомых стержней с сосредоточенными массами, равными массам соответствующих элементов и расположенных в Ц. М. элементов конечностей;

переносимые массы также представим в виде сосредоточенных масс на концах этих стержней.

Тогда, пользуясь аппаратом тензорного исчисления, можно определить вращательные движения космонавта с УПК в безопорном пространстве с помощью следующего дифференциального уравнения:

$$J_c \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{M}_y + \bar{M}_{cp} + \bar{M}_F - \mathfrak{Z}_v \cdot \bar{\omega} - \mathfrak{Z}_v \cdot \bar{\omega} - \bar{\omega} \times \mathfrak{Z}_v \cdot \bar{\omega} - \\ - ml_H^2 \left\{ \sum_{i=1}^8 [\mu_i \bar{\rho}_i \times \ddot{\bar{\rho}}_i + \mu_i \bar{\omega} \times (\bar{\rho}_i \times \ddot{\bar{\rho}}_i)] - \bar{\rho}_0 \times \ddot{\bar{\rho}}_0 - \right. \\ \left. - \bar{\omega} (\bar{\rho}_0 \times \ddot{\bar{\rho}}_0) \right\},$$

где \mathfrak{Z}_c — постоянная, \mathfrak{Z}_v — переменная части тензора инерции системы «космонавт — УПК»;

$\bar{\omega}$ — угловая скорость основного тела;
 μ_i — отношение массы элементов носимых тел к массе всей системы;
 $\bar{\rho}_i$ — нормированный радиус вектора Ц. М. i -го подвижного элемента (конечности);
 $\bar{\rho}_0$ — нормированный радиус — вектор Ц. М. всей системы;

\hat{M}_y — управляющий момент системы ориентации и стабилизации;

\hat{M}_{cp} — внешний возмущающий момент, создаваемый окружающей средой;

\hat{M}_F — возмущающий момент, определяемый смещением Ц.М. всей системы и проявляющийся при включении двигателей поступательного перемещения.

l_n — некоторый номинальный размер системы (например, длина туловища).

Наиболее характерные члены уравнения:

$\bar{\omega} \times \mathfrak{J}_v \cdot \bar{\omega}$ — составляющие, аналогичные составляющим, обусловленным центробежными моментами инерции;

$\mathfrak{J}_v \cdot \dot{\bar{\omega}}$ — вводят динамические перекрестные связи.

$\bar{\omega} \times (\bar{\rho}_i \times \dot{\bar{\rho}}_i)$ и $\mathfrak{J}_v \cdot \bar{\omega}$ — вводят гироскопические перекрестные связи.

Уравнение записано в системе координат, жестко связанной с основным телом; начало системы координат совпадает с Ц.М. этого тела.

В процессе профессиональной деятельности в открытом космосе космонавт принимает различные рабочие позы, соответствующие выполняемым в данный момент операциям. Профессиональную деятельность космонавта можно выразить в виде его работы в определенной позе с периодической их сменой. Двигательную активность космонавта можно представить в виде периодических колебаний относительно среднего положения.

Тогда переменная часть тензора инерции будет иметь вид:

$$\mathfrak{J}_v = \mathfrak{J}_{v0} + \delta\mathfrak{J}_v. \quad (11)$$

Результат изменения рабочей позы может быть выражен через начальную угловую скорость при исследовании процесса последующей ориентации. Если управляющий момент системы ориентации и стабилизации обеспечивает

условия устойчивости, то после изменения рабочей позы угловая скорость будет затухать и членами:

$\delta \mathfrak{Z}_v \cdot \dot{\bar{\omega}}; \delta \mathfrak{Z}_v \bar{\omega}; \bar{\omega} \times \delta \mathfrak{Z}_v \bar{\omega}; \mu_i \bar{\omega} \times (\bar{\rho}_i \times \dot{\bar{\rho}}_i); \bar{\omega} (\bar{\rho}_0 \times \dot{\bar{\rho}}_0)$
можно пренебречь.

Тогда уравнение (10) будет аналогичным уравнению для твердого тела

$$\mathfrak{Z}'_c \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{M}_y + \bar{M}_{c_p} + \bar{M}_F + \bar{M}_B, \quad (12)$$

где \mathfrak{Z}'_c — скорректированная постоянная часть тензора инерции (с учетом \mathfrak{Z}_{v0});

$$\bar{M}_B = -ml_n^2 \left[\sum_{i=1}^4 \mu_i \bar{\rho}_i \times \ddot{\bar{\rho}}_i + \bar{\rho}_0 \times \ddot{\bar{\rho}}_0 \right] \quad (13)$$

внутренний возмущающий момент, обусловленный движением конечностей.

Таким образом, исследование процессов ориентации космонавта в безопорном пространстве включает изучение характерных рабочих поз при выполнении различных рабочих операций вне ПКК. Они определяются значениями углов положения конечностей космонавта. Затем необходимо оценить угловые скорости и ускорения изменения углов при смене рабочих поз. Эти начальные условия позволят интегрированием уравнения (10) определить диапазон возможных начальных скоростей основного тела в различных позах, а также соответствующие координаты Ц. М. всей системы относительно Ц.М. основного тела. В результате можно будет найти вектор среднего значения момента \bar{M}_F , создаваемого системой управления поступательным перемещением космонавта.

Отклонения конечностей от среднего положения могут рассматриваться как случайные функции времени, которые обусловят некоторый внутренний момент, определяемый выражением (13). Кроме того, они приведут к случайным отклонениям Ц.М. системы. В результате при включении системы управления перемещением на космонавта наряду с отмеченной выше средней составляющей момента будет действовать случайная составляющая.

Задача синтеза системы ориентации и стабилизации

в таких условиях сводится к определению закона управления, который обеспечит устойчивость и оптимальные характеристики переходных процессов затухания начальных угловых скоростей при воздействии перечисленных моментов.

К ВОПРОСУ САМООРИЕНТАЦИИ КОСМОНАВТА В БЕЗОПОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В безопорном пространстве любое движение одной части тела относительно другой вызовет изменения движения всей системы в целом. В результате, как сказано выше, появляются моменты, вызывающие вращательное движение космонавта, определяя его переориентацию в пространстве. Для сохранения нужного углового положения моменты возмущения должна парировать система стабилизации УПК.

Однако если движения конечностей выполнять по определенной программе, то можно обеспечить требуемую переориентацию космонавта. Маневр с вращением конечностей будем называть маневром самоориентации. Характер движений конечностей зависит от того, вокруг какой оси и в каком направлении желает развернуться космонавт. Эффективность самоориентации можно повысить, если держать в руках какие-либо массы.

Чтобы развернуться по тангажу, космонавт может совершить движения верхними конечностями. В этом случае туловище и ноги можно рассматривать как одно твердое тело, конечно, при определенном и неизменном положении ног относительно туловища. Независимое движение по тангажу может быть получено симметричным вращением рук по поверхности конусов, вершины которых располагаются в плечевых суставах, а оси вращения являются продолжением линии плеч. Направления вращения должны быть противоположны. За каждый оборот рук космонавт изменит ориентацию по тангажу на определенный угол. Зависимость угла переориентации за один цикл вращения рук от геометрических и инерционных свойств системы, а также угла при вершине конуса вращения показана на рис. 30. Как видно из графиков, подгибание ног и наличие груза в руках космонавта увеличивает эффективность маневра.

Интересно, что маневрирование более эффективно, ког-

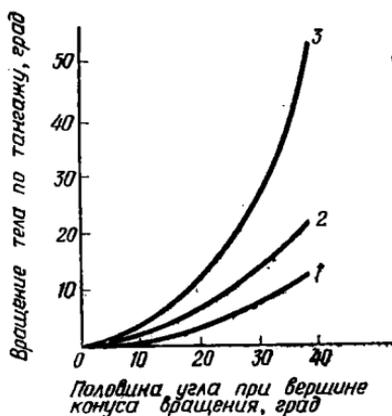


Рис. 30. Зависимость угла переориентации по тангажу от угла при вершине конуса вращения рук:

1 — космонавт в положении «ноги вытянуты»; 2 — космонавт в положении «ноги подогнуты»; 3 — космонавт в положении «ноги поджаты», в каждой руке груз по 2, 3 кг

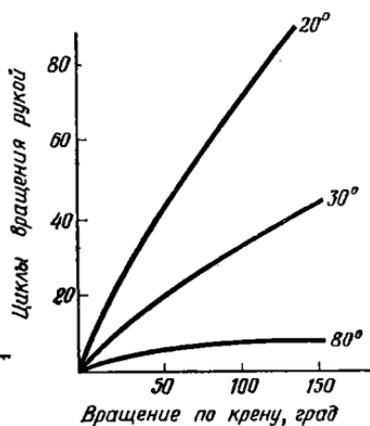


Рис. 31. Зависимость угла поворота по крену от количества циклов вращения рук

да конические поверхности не параллельны линии плеч, а составляют с ней угол около 15° .

При самоориентации целесообразно исключить или по возможности снизить влияние движения вокруг других осей.

Самым простым способом самоориентации по крену оказывается движение руками по идентичным коническим поверхностям в одном направлении. Оси конусов должны быть параллельны оси крена. На рис. 31 показана зависимость угла поворота по крену от количества циклов вращения рук при разных углах при вершине конуса вращения.

В отличие от маневра по тангажу маневр самоориентации по крену неизбежно сопровождается нежелательными вращениями по тангажу и рысканью (до $40-50^\circ$).

Маневр самоориентации по рысканью может быть осуществлен движением рук или ног. Возможен маневр и за счет сгибания туловища космонавта в различных плоскостях. Однако из-за скафандра этот метод представляет малый практический интерес.

Применение того или иного метода самоориентации за-

висит от возможностей перемещения конечностей космонавта в скафандре.

Приведенные графики самоориентации дают представление о динамике вращательного движения космонавта вокруг Ц.М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПК «РАНЦЕВОГО» ТИПА В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

В условиях кратковременной невесомости при полете на самолете КС-135 были проведены испытания установки АМУ и подготовка космонавтов для работ с ней. Установка АМУ была выведена на орбиту ПКК «Джемини-9», однако по ряду причин испытания ее в условиях реального космического полета проведены не были. В отчете по полету отмечалось, что, «находясь вне КК, пилот обнаружил, что подготовка установки для маневрирования потребовала гораздо больше труда, чем предполагалось». Это и явилось одной из причин досрочного прекращения эксперимента в открытом космосе.

Этот факт еще раз говорит о некотором несоответствии условий реального космического полета и условий имитации невесомости при полетах на самолете. Широкое применение при подготовке космонавтов нашли стенды с различными степенями свободы. Например, стенд с тремя степенями свободы, использующий воздушную подушку, позволяет космонавту совершать поступательное перемещение в двух направлениях и вращение вокруг вертикальной оси, т. е. обеспечивает выполнение самых простых маневров. Существенный недостаток стенда — ограниченность числа степеней свободы, в значительной мере искажающая реальную картину маневрирования. Другим недостатком является искусственное создание «жесткости» тела космонавта, т. е. самого динамичного звена системы «космонавт—УПК».

Стенд с шестью степенями свободы состоит из подвижной базы с УПК и вычислительного комплекса. Поступательное перемещение по трем осям обеспечивается движением подвижной базы и ее верхней части относительно самой базы. На верхней части подвижной базы размещается карданный подвес. На стенде космонавт может работать в скафандре и без него. В конструкции

стенда используются имитаторы звездного неба для создания зрительных ощущений полета.

Комплекс вычислительных устройств помогает моделировать уравнения движения системы «космонавт — УПК». В уравнениях предусмотрена возможность изменять положение центра масс, массу и моменты инерции системы.

Стенд имеет ряд недостатков, к которым, в частности, относятся вибрации, шумы и пр.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПК «РАНЦЕВОГО» ТИПА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Моделирование динамики маневрирования космонавта в УПК, имитация невесомости и безопорного пространства — это сложные и трудоемкие процессы. После состоявшихся испытаний УПК «ранцевого» типа по программе «Джемини» было решено провести экспериментальные исследования в космическом полете по программе «Скайлэб». В отличие от первого эксперимента, когда испытания УПК планировались в открытом космосе, подобные испытания стали проводить в лабораторном отсеке ПОС «Скайлэб». Это обуславливало большую степень безопасности астронавта и некоторые упрощения в конструкции УПК.

Для испытаний УПК (AMRV) предназначалась зона $3 \times 3 \times 6$ м в лабораторном отсеке. Параметры регистрировались на бортовые записывающие устройства. Во время экспериментов производилась кинофотосъемка и регистрация субъективных ощущений космонавта. Конструкция УПК и вспомогательного оборудования позволяла менять баллоны с рабочим телом и аккумуляторные батареи. Такая схема обеспечивала испытания установки в течение 7,5 ч. Следует отметить, что аналогичные маневры в космическом полете и на наземных стендах позволяют оценить эффективность тренажных средств, что и ставилось одной из задач эксперимента.

Космонавты должны были совершать маневры в три этапа. На первом этапе — ознакомительные полеты с выполнением простейших маневров относительно одной оси. На втором этапе — сложные маневры: поступательные перемещения с остановками, полет вдоль борта станции и т. п. Третий этап включал такие сложные маневры, как

имитация выполнения определенных операций, транспортировка грузов, парирование вращений и пр.

Исследования предполагалось проводить как без скафандра, так и в скафандре. Во время работ в скафандре проверялись возможности маневрирования в наддутом скафандре и влияние его элементов: фала, шлангов и пр. на ориентацию, стабилизацию и перемещение. Кроме установки AMRV, на борту ПОС «Скайлэб» планировались исследования установки FCMU с микродвигателями, смонтированными на ботинках космонавта, и установки «пистолетного» типа, подобные той, которую применяли астронавты по программе «Джемини». Некоторые результаты исследований.

Установка AMRV.

В ходе испытаний астронавты совершали полет через лабораторный отсек к определенной точке (с максимальной скоростью до 0,6 м/с) и зависали на определенном расстоянии от нее, обеспечивали заданную ориентацию в пространстве, выполняли закрутку и гашение вращений, транспортировку грузов, облет внутренних бортов станции на расстоянии нескольких сантиметров. Астронавтам удавалось зависать у заданных объектов с точностью до нескольких сантиметров, погасив при этом относительную скорость практически до нулевых значений (~ 1 мм/с).

Во время испытаний были опробованы следующие режимы работы установки:

ручное управление перемещением и стабилизацией;

ручное управление перемещением при автоматической стабилизации с использованием как скоростных гироскопов (исполнительные органы — микродвигатели), так и силовых гироскопов.

Ряд замечаний и предложений астронавтов о конструкции и параметрах УПК:

уровень сигнала ошибки для включения микродвигателей стабилизации выбран не оптимальным, так как малейшие движения вызывают срабатывание двигателей, а следовательно, и расход рабочего тела;

фал, кабели и другие элементы, подсоединенные к скафандру, затрудняют управление установкой. Поэтому в эксплуатационном варианте установки целесообразно использовать автономную ранцевую систему СЖО.

В целом УПК «ранцевого» типа получила положительную оценку астронавтов. С точки зрения инженерной

психологии важным считается тот факт, что органы управления УПК подобны органам управления ПКК.

Установка FCMU.

Отличительная особенность этой установки — управление маневрированием ступней ног. В результате освобождаются руки для выполнения необходимых операций. Это существенное преимущество установки FCMU по сравнению с установкой AMRV.

К недостаткам установки FCMU относятся:

поступательное перемещение только вдоль одной оси (вращение — по трем осям);

отсутствие автоматической стабилизации;

включение микродвигателей не парами, что приводит к появлению нежелательного перемещения при вращении вокруг Ц. М.

Программой испытаний предусматривалось перемещение к заданной точке и маневрирование вокруг трех осей (разворот на 90° и возвращение в исходное положение).

Как показали эксперименты, перемещение с помощью этой установки затруднено тем, что ноги мешают следить за приближающимся в ходе перемещения объектом. Отмечались трудности в остановках и коррекции траектории движения. Еще один недостаток — малая чувствительность ноги при управлении микродвигателями с помощью педали. Это объяснялось условиями невесомости (отсутствие привычной для наземных условий силы, прижимающей ступню к подошве ботинок скафандра), а также «загрублением» ощущений громоздкостью самих ботинок.

Мнения относительно установки FCMU разделились. По мнению одних астронавтов, эта установка совершенно непригодна для практического использования. По мнению других, можно создать достаточно эффективную установку подобного типа.

Таким образом, в результате комплексных исследований, включающих моделирование, наземные испытания и экспериментальные исследования, в космическом полете определена эффективность УПК «ранцевого» типа, которые могут быть введены в комплекс штатного оборудования при планировании различных по длительности и по программам космических пилотируемых полетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1869 год. Во Франции на прилавках книжных магазинов появился необычный для того времени труд «Средства связи с планетами» изобретателя Шарля Кро. Предыстория этой книги весьма любопытна. Автор, наблюдая на некоторых планетах вспышки, принял их за попытки внеземных цивилизаций связаться с землянами. После этой книги вопрос о связи с внеземными существами напоминает тлеющий огонь. Он то разгорается с большой силой, питая различные фантастические идеи, то затухает под струей пессимистической критики.

Какими бы смелыми и порой оригинальными не выглядели проекты этих ученых и фантастов, никто из них не предлагал использовать непосредственный выход человека в открытый космос или использовать земные машины, космические «такси» для сообщения между искусственными телами в космическом пространстве, между человеком и «иксом» внеземной цивилизации.

Трудно говорить об этом и сейчас. Если сложить весь путь, пройденный землянином в открытом космосе, — это десятки метров, учитывая лунные прогулки членов экипажей «Аполлонов», — это километры. Космические расстояния, которые мыслятся для практического использования, — тысячи километров, а это далеко не равноценные величины.

Кончается второе десятилетие космической эры человечества. С точки зрения истории срок весьма невелик. Но космонавтика, другие науки, питающие ее, успели сделать огромный вклад не только в развитие самой космонавтики, но и смежных областей. Космонавтика стала полноценной сферой человеческой деятельности.

Космос превращается в арену труда, космос уже «работает». Космос уже приносит пользу человечеству. Космонавт — это уже профессия. Операция выхода в открытый космос и работа в безопорном пространстве, вне корабля — одна из особенностей этой профессии.

Создавая космические корабли, люди знали, что после непродолжительного изумления, восхищения подвигом первооткрывателя наступят будни, трудовые будни космоса. И эти будни невозможны без выхода человека в открытое космическое пространство. Без этого нельзя ис-

следовать планеты, эксплуатировать беспилотные спутники, без этой операции нельзя даже представить себе монтаж огромных космических баз и планетарных поселений. Без этого нельзя поставить на службу человечеству вакуум и другие уникальные особенности космической среды, без этого нельзя оказать помощь кораблю, терпящему бедствие в океане космоса.

Поэтому с самого начала освоения космического пространства шла тщательная подготовка к выходу человека в открытое космическое пространство из корабля в полете. Готовилась техника выхода, готовился человек.

Что было у А. Леонова для передвижения в открытом космосе? Фал — крепкая веревка, работая с которой, он, используя свою силу, мог отходить от корабля и подходить к нему. Что было у экипажа «Союз-5»? Для этой же цели — леера, скобы, мускульная сила. Орудия пионеров-первопроходцев. Как и обычный, орбитальный полет не бывает повторением предыдущего, а развивает его, являясь в то же время базой для последующего полета, так и каждый выход, переход из корабля в корабль в полете, передвижение в открытом космосе служат основой для будущих экспериментов.

Полет «Джемини-4». Первым из американских космонавтов вышел в космос. Э. Уайт. Он трижды делал выход, в то время как корабль пролетал над освещенной стороной Земли. В его руках уже было ручное реактивное устройство, имеющее три сопла, которое работало на сжатом кислороде. Два сопла с тягой по 0,45 кг обеспечивали астронавту передвижение вперед, а одно с тягой 0,9 кг — назад. Управление устройством осуществлялось нажатием курка.

В открытом космосе эта несложная машина работала всего 3 мин (в дальнейшем астронавт передвигался при помощи фала и мускульной силы). Несмотря на кратковременность использования реактивного устройства, создание его явилось определенным шагом в освоении открытого космоса, в передвижении в безопорном пространстве.

Полет «Джемини-9». Задачей космонавта Сернана было маневрирование в открытом космосе при помощи ранцевой установки. И если реактивное устройство Уайта весило всего 3,4 кг, то установка Сернана — 75,3 кг. Она могла поддерживать заданное положение тела в пространстве автоматически или же управляться вручную. Но, к

сожалению, этот эксперимент в открытом космосе произвести не удалось.

Полеты космических кораблей, эксперимент за экспериментом, новые идеи, новые конструкции должны привести и приведут к созданию таких устройств для передвижения в открытом космосе, надежность функционирования которых будет превышать надежность всех земных современных средств передвижения. Какими они будут? Как будет чувствовать себя человек, управляющий ими? Какие у них будут функции?

В недалеком будущем просторы Вселенной будут породить большие долговременные орбитальные станции. Экипаж станции 20—25 человек. По тем или иным причинам возникает необходимость посетить соседнюю станцию. Например, для оказания помощи, пополнения запасов, а может быть, просто нанести визит вежливости. Переводить всю станцию на другую орбиту нельзя — орбита рассчитана для выполнения определенного задания, и это неэкономично. Поэтому на будущих долговременных станциях будут вспомогательные реактивные аппараты, по всей видимости, одноместные, для межкосмической связи и связи с Землей.

Штурм космоса продолжается, давая мысли человеческой широкие просторы. Пройдет время, регулярные рейсы в космос, к далеким планетам станут обычными, и, может быть, пророчество французского изобретателя станет былью — будет связь с другими планетами. И в этом великая заслуга первопроходцев, тех, кто покинул корабль и смело шагнул в открытый космос.

Авторы этой книги участвовали в подготовке выхода первого человека в открытый космос, один из них сам побывал в открытом космосе. Это и заставило авторов взяться за перо.

Если авторам удалось показать в книге сложность работы человека вне космического корабля и одновременно возможность выполнения на орбите всех видов «земных» работ, они будут считать свою задачу выполненной.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Л и т е р а т у р а

Алексеев К. Б., Бебенин Г. Г. Управление космическими летательными аппаратами. М., «Машиностроение», 1974.

Балахонцев В. Г., Иванов В. А., Шабанов В. И. Сближение в космосе. М., Воениздат, 1973.

Витт Н. В. Информация об эмоциональных состояниях в речевой интонации.— «Вопросы психологии», 1965, № 3.

Денисов В. Г., Онищенко В. Ф. Инженерная психология в авиации и космонавтике. М., «Машиностроение», 1972.

Еремин А. В., Степанцов В. И. и др. Физическая тренировка человека в условиях длительной гиподинамии.— В кн.: Проблемы космической биологии. Т. 13. М., «Наука», 1969.

Киричев В. Л. Беседы о механике. С.-Петербург, 1907.

Кликс Ф. Проблемы психофизики восприятия пространства. Перевод с немецкого. М., «Прогресс», 1965.

Космонавтика. М., «Советская энциклопедия», 1970.

Крошкин М. Г. Физико-технические основы космических исследований. М., «Машиностроение», 1969.

Леонов А. А., Лебедев В. И. Восприятие пространства и времени в космосе. М., «Наука», 1968.

Леонов А. А., Лебедев В. И. Психологические особенности деятельности космонавтов. М., «Наука», 1971.

Поль Р. Введение в механику и акустику. М., 1932.

Пономарев А. Н. Годы космической эры. М., Воениздат, 1974.

Симонов П. В. Что такое эмоция? М., «Наука», 1966.

Успехи СССР в исследовании космического пространства. М., «Наука», 1968.

Хачатурьянц Л. С., Хрунов Е. В. В открытом космосе. М., «Знание», 1973.

Хрунов Е. В., Хачатурьянц Л. С. и др. Человек-оператор в космическом полете. М., «Машиностроение», 1974.

СОКРАЩЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В КНИГЕ

ПКК	—	пилотируемый космический корабль
ПОС	—	пилотируемая орбитальная станция
МТКК	—	многоразовый транспортный космический корабль
ШК	—	шлюзовая камера
СЖО	—	система жизнеобеспечения
КА	—	космический аппарат
ИСЗ	—	искусственный спутник Земли
АС	—	автоматическая станция
ТО	—	техническое обслуживание
СБ	—	солнечная батарея
Ц.М.	—	центр масс
УПК	—	установка перемещения космонавта
СОиС	—	система ориентации и стабилизации
КПО	—	контрольно-проверочное оборудование
ТБК	—	термобарокамера

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Основные задачи выхода человека из космического корабля	5
Краткая характеристика пилотируемых космических объектов, обеспечивающих выход человека в открытый космос	9
Техническое обслуживание и ремонт ПКК и ПОС	16
Техническое обслуживание и ремонт автоматических космических объектов	26
Монтажно-демонтажные и сборочные работы на орбите	30
Техническое обслуживание научно-исследовательской аппаратуры	33
Оказание помощи экипажам ПКК в космическом полете; смена экипажей	37
Транспортировка грузов	40
Экспериментальные исследования в космическом пространстве	43
Средства обеспечения работ космонавта в открытом космосе	45
Космический скафандр и система жизнеобеспечения	46
Система шлюзования	55
Устройства перемещения космонавта (УПК) в открытом космосе	57
Средства фиксации и инструмент для работ в открытом космосе, оборудование рабочих мест	73
Особенности условий работы человека в открытом космическом пространстве	79
Впервые на орбите вне корабля	87
Психофизиологический анализ состояния экипажа ПКК «Восход-2» в процессе выхода	92
Биомеханический анализ деятельности А. А. Леонова в открытом космосе	96
Анализ эмоционального напряжения экипажа при подготовке и реализации выхода А. А. Леонова в открытый космос	99
Смена экипажа космического корабля в полете («Союз-4» — «Союз-5»)	109
Анализ деятельности астронавтов в открытом космосе по американским программам	119
Деятельность астронавтов в открытом космосе по программе «Джемини»	119
Деятельность астронавтов в открытом космосе по программе «Аполлон»	129
Деятельность астронавтов в открытом космосе по программе «Скайлаб»	134
Экспериментальные исследования перспективных средств обеспечения деятельности человека в открытом космосе	149
Исследования УПК «пистолетного» типа	150
Исследования УПК «ранцевого» типа	151
Некоторые вопросы динамики вращательного движения космонавта вокруг центра масс	160
К вопросу самоориентации космонавта в беспорядочном пространстве	164

Экспериментальные исследования УПК «ранцевого» типа в наземных условиях	166
Экспериментальные исследования УПК «ранцевого» типа в космическом полете	167
Заключение	170
Приложение	173
Литература	173
Сокращения, принятые в книге	174

Юрий Николаевич Глазков
Левон Суренович Хачатурьянц
Евгений Васильевич Хрунов

НА ОРБИТЕ ВНЕ КОРАБЛЯ

Зав. редакцией научно-художественной литературы *М. Б. Новиков*.
 Редактор *В. М. Климачева*. Мл. редактор *В. Е. Саморига*. Худож-
 ник *В. И. Кузьмин*. Худож. редактор *М. А. Гусева*. Техн. редактор
Т. Ф. Айдарханова. Корректор *В. Е. Калинина*.

А 08675. Индекс заказа 77724. Сдано в набор 19/1-77 г. Подписано к печа-
 ти 12/IX-77 г. Формат бумаги 84×108 1/4. Бумага типографская № 1.
 Бум. л. 2,25. Печ. л. 5,5. Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 9,01. Тираж 100 000 экз.
 Издательство «Знание». 101 835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4.
 Заказ 28. Цена 30 коп.

Киевская книжная фабрика республиканского производственного объединения
 «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, ул. Воровского, 24.

30 коп.