

# ШТУРМАНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Инженер-подполковник Е. ИВАНОВ,  
кандидат технических наук;  
Б. СТОЛЬБЕРГ

**НУЖЕН** ли штурман на космическом корабле подобно штурману на морском корабле или самолете? На первый взгляд может показаться, что высокий уровень автоматизации современных космических кораблей, широкое внедрение на них методов телемеханики практически исключают участие членов экипажа в управлении полетом.

Действительно, при запуске космического корабля добиваются исключительно высокой надежности всех его систем и устройств. Практически она равна единице — один отказ на несколько тысяч семидневных полетов. Но достигается такая надежность дорогой ценой: двойным или даже тройным резервированием, дублированием наименее надежных блоков и узлов, особенно радиозлектронных и некоторых механических. В кратковременных полетах с таким положением еще можно мириться, но как быть в полетах к планетам, когда каждый грамм веса корабля будет на строжайшем учете?

Однако опыт инженерной психологии показывает, что выход может быть найден, если автоматическую систему управления продублировать ручной, то есть в случае отказа автоматической системы поручить функции управления человеку. Но главная причина, заставляющая включать экипаж в контур управления космического корабля, заключается в том, что в продолжительном полете могут возникнуть неожиданные ситуации: столкновение с метеоритом, незапланированный маневр, диктуемый изменившейся обстановкой.

Не следует также забывать, что активная деятельность человека в длительном полете — важный психологический фактор, способный наполнить

его жизнь в космосе большим содержанием, чувством удовлетворения и уверенностью в достижении цели. Это в равной мере относится как к штурману, так и ко всем остальным членам экипажа.

Космическая навигация ставит перед экипажем комплекс таких задач, как определение местоположения корабля, расчеты траектории полета и корректирующих импульсов, контроль запасов рабочего тела и другие, входящие по существу в обязанности штурмана. Эти задачи можно поручить штурману космического корабля — специальному члену экипажа — или же возложить по совместительству на одного из членов экипажа. Больше всего для этого подходит командир корабля.

Что же конкретно нужно знать штурману-космонавту, какие приборы и инструменты потребуются ему в полете, какие задачи он будет решать, наконец, какими личными качествами он должен обладать, чтобы успешно выполнять свои обязанности?

В принципе штурманская деятельность космонавта мало отличается от деятельности штурмана-авиатора. Выполняемую им работу, так же как и работу авиационного штурмана, можно разбить на два больших этапа: предполетное штурманское обеспечение и собственно полет. В процессе подготовки к полету летчик-космонавт всесторонне изучает трассу полета, определяет состав наземного и бортового комплекса навигационных инструментов и приборов, решает многие другие вопросы. Аналогичную работу проводит перед полетом и штурман-авиатор.

В полете, используя показания указателя скорости, компаса и часов, он рассчитывает текущие географические координаты летящего самолета, контролируя тем самым работу бортовых навигационных автоматов. Для более точного определения места, особенно в дальних полетах, авиационный штурман пользуется методами астрономической ориентировки. Для этого в какие-то моменты времени он измеряет секстантом угловые высоты двух-трех небесных светил над горизонтом земли и по специальным таблицам рассчитывает свое место.

Это внешняя сторона дела. В действительности же работа летчика-космонавта будет качественно отличаться от работы авиационного штурмана, с одной стороны, необычными условиями работы, связанными с воздействием специфических факторов космического полета, а с другой — значительно большей сложностью решаемых задач.

Космический корабль движется по очень сложной пространственной кривой. Неверно думать, что его межпланетная трасса — это безбрежной ширины дорога. Скорее наоборот. Ее можно сравнить с узкой тропинкой, отклонение от которой может привести к преимущественному влиянию на корабль притяжения Солнца либо одной из больших планет. Для исправления траектории придется расходовать топливо, запасы которого ограничены.

Чтобы с достаточной точностью оценить действия сил, влияющих на траекторию корабля, придется учитывать такие факторы, как неоднородность распределения масс по поверхности планет, аэродинамическое сопротивление атмосферы планет, некомпланарность их орбит, давление света и многие другие. На движение космического корабля будет заметно влиять даже такая, казалось бы, незначительная сила, как сопротивление межпланетной среды.

Не следует полагать, что при скрупулезном учете на земле всех факторов

можно гарантировать полет корабля по заранее вычисленной траектории. Ошибки, приводящие к отклонению от нее, можно условно разбить на две большие группы. Так называемые методические — появляющиеся в результате погрешностей методов расчетов, использования в них неточных исходных данных. Вторая группа — инструментальные ошибки. Они порождаются погрешностями механизмов, обрабатывающих импульсы реактивных сил, и приборами, измеряющими ускорения и скорости движения корабля, углы его поворота вокруг центра масс, а также географическое место корабля в момент вывода на межпланетную трассу.

Инструментальные ошибки в сравнительном плане наиболее значительны. Это объясняется в основном чрезвычайно высокими требованиями, предъявляемыми к работе измерительных приборов и механизмов. Достаточно сказать, например, что посланная к Марсу по некорректируемой орбите советская автоматическая станция «Марс-1» прошла от планеты на расстоянии 193 000 км, что для ряда практических задач не всегда достаточно, а ведь запуск осуществлен практически с идеальной точностью, рекордной для современного развития техники, — ошибка отклонения направления вектора скорости в начальный момент была менее 2 угловых секунд (!). Большого ожидать от техники пока невозможно. Поэтому при полетах на другие планеты необходимо периодически корректировать траекторию.

Различают два вида коррекции: дистанционную — с помощью команд, передаваемых по каналам связи с Земли, и автономную — на основе измерения местоположения корабля в определенный момент и математических расчетов. Практика показывает, однако, что коррекция с Земли может быть успешно применена лишь вблизи Земли, а на значительных расстояниях ее эффективность падает вследствие возрастания ошибок.

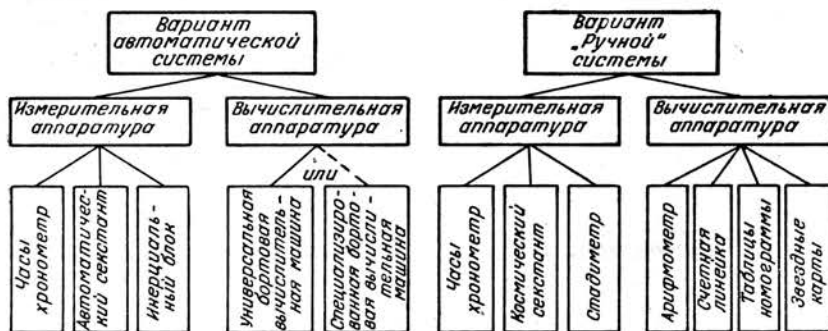


Рис. 1. Основные варианты бортовой аппаратуры для автономной навигации.

Поэтому на борту обязательно должна быть автономная навигационная аппаратура для полетов на Луну, не говоря уже о полетах на другие планеты.

В межпланетных полетах реально возлагать надежды можно только на автономную коррекцию. Для кораблей с экипажем, как уже говорилось, она может оказаться целесообразной только с активным участием в ней летчика-космонавта, имеющего фундаментальную штурманскую подготовку.

Аппаратура, с которой будет работать в полете штурман, подразделяется на измерительную и вычислительную. На рис. 1 показаны наиболее перспективные варианты для автоматической и ручной систем навигации. Объем штурманской работы определяется задачами полета. Рассмотрим несколько примеров.

**ОРБИТАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ ВОКРУГ ЗЕМЛИ.** Имеются в виду полеты на удалении от нескольких сот до нескольких тысяч километров. Решение навигационных задач в таких полетах имеет ряд характерных особенностей. Во-первых, в качестве ориентиров можно ограничиться использованием только звезд и горизонта Земли. Во-вторых, в случае неудовлетворительного выполнения измерений или вычислений для ряда навигационных задач имеется возможность повторить их на следующих витках.

В орбитальных полетах основными измерительными приборами штурмана будут часы-хронометр и секстант.

Космический секстант не отличается от морского или авиационного. С ним тоже можно работать при различной ориентации осей корабля относительно горизонта Земли и в процессе вращения корабля вокруг центра масс. На рис. 2 показан космический секстант, применявшийся на американском космическом корабле «Джемини-4». Глядя в окуляр, штурман отыскивает навигационную звезду и поворотом одной из призм секстанта пытается совместить ее изображение с изображением горизонта. В момент совмещения он останавливает секундомер и снимает показание с лимба. В каждом из двух оптических каналов изображения наблюдаются отдельно (рис. 3,а). Наблюдая одновременно оба канала при произвольном положении призм, космонавт видит картину, показанную на рис. 3,б, а после совмещения изображения звезды и горизонта — на рис. 3,в. Угол между звездой и горизонтом Земли  $\gamma$  определяется из равенства  $\gamma = 2\alpha + \Delta$ , где  $\alpha$  — угол поворота призмы,  $\Delta$  — угол положения нуля лимба, так называемое место нуля. Его штурман определяет периодически по наблюдениям звезд до навигационных измерений и после них.

Так как орбита космического корабля определяется 6 параметрами, то достаточно измерить шесть углов  $\gamma$  в различные моменты времени. Однако для уменьшения погрешностей, возникающих из-за размытого горизонта Земли, личных ошибок в работе космонавта, инструментальных ошибок секстанта и часов, число измерений целесообразно увеличить.

Большую сложность при измерении высоты звезд для космонавта создает размытость горизонта Земли. Особенно неприятно, что величина этой размытости не остается постоянной, но вследствие различного состояния атмосферы, облачного покрова и особенно углового положения Солнца может претерпевать существенные изменения. Известно, например, что высота облачности может меняться в пределах от 500 до 11 000 м. Если не обращать на это внимания, то ошибка в измерении высоты звезды над горизонтом с корабля, летящего на высоте 300 км, может достигнуть 17 угловых минут, а для кораблей, летящих ниже, еще больше.

Другое затруднение сопряжено с преломлением лучей света в атмосфере, с явлением так называемой атмосфер-

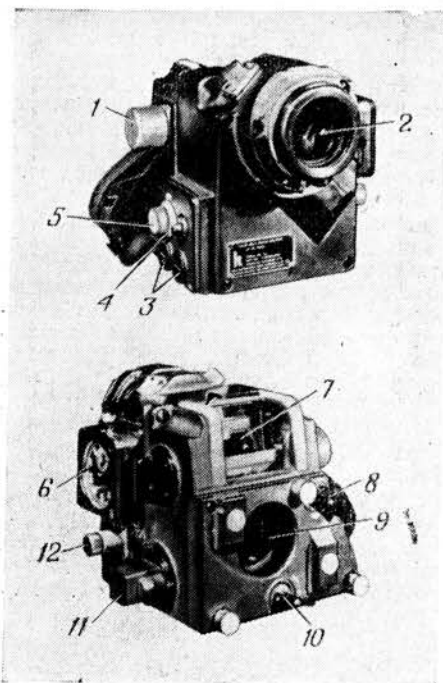


Рис. 2. Космический секстант:

1 — рукоятка управления сканирующей призмой; 2 — окуляр; 3 — контейнер для батареи; 4 — выключатель подсвета счетчика; 5 — реостат подсвета визирных нитей; 6 — часы; 7 — сканирующая призма; 8 — рукоятка голубого фильтра; 9 — неподвижная призма; 10 — рукоятка зеленого фильтра; 11 — счетчик; 12 — обойма осветителя счетчика.

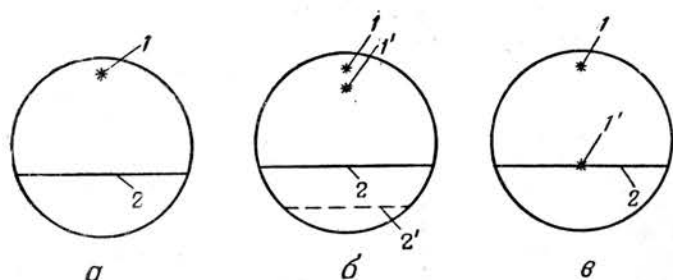


Рис. 3. Изображение звезды и горизонта планеты в поле зрения космического секстанта:

*a* — в каждом из оптических каналов раздельно: 1 — изображение звезды; 2 — изображение горизонта планеты. *b* — одновременное наблюдение двух каналов при произвольном положении призмы: 1 — изображение звезды через второй канал; 1' — изображение звезды через первый канал; 2' — изображение горизонта планеты через второй канал; 2 — изображение горизонта планеты через первый канал. *v* — одновременное наблюдение двух каналов при совмещении звезды и горизонта: 1 — изображение звезды через второй канал; 1' — изображение звезды через первый канал; «посаженное» на горизонт, полученный через второй канал; 2 — изображение горизонта планеты через второй канал.

ной рефракции. Как это видно из рис. 4, космонавт из точки *O* будет видеть горизонт Земли не в точке *A*, а в результате изгибания луча света, идущего от горизонта в глаз наблюдателя, образованного рефракцией, он увидит горизонт в точке *Б*. Угол между направлением *OA* и *OB'* (*OB'* есть касательная к кривой *OB* в точке *O*) создает ошибку в определении высоты светила в среднем около  $35'$ , однако в каждом конкретном случае ее значение может быть иным. Величина атмосферной рефракции зависит от плотности воздуха, температуры и от распространения этих параметров по высоте. Следует добавить еще, что в ночное время горизонт Земли виден плохо и острота зрения космонавта недостаточна. На дневной же стороне планеты сильно снижена возможность наблюдения звезд. Достаточно одного взгляда на ярко освещенную солнцем Землю, чтобы перестать видеть на несколько минут звезды 5—4 и даже 3—2 звездных величин.

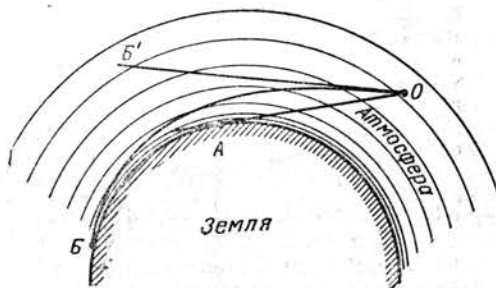


Рис. 4. Схема, поясняющая образование ошибки измерения высоты светила над горизонтом Земли вследствие атмосферной рефракции (для наглядности величина рефракции сильно завышена).

Если уменьшить угол обзора неба и исключить тем самым взгляды на Землю, то, как показывают исследования, способность космонавта находить и узнавать нужные звезды и созвездия в ограниченном угле поля зрения резко падает.

Чтобы свободно ориентироваться среди звезд, штурману нужны широкие знания, выработка устойчивых навыков работы с инструментами. Существенную помощь в этом космонавтам может оказать тренировка на самолетах.

Как основное вычислительное устройство на космическом корабле используется бортовая вычислительная машина (БВМ). По измеренным штурманом углам она в соответствии с заложенной программой рассчитывает параметры орбиты, а если требуется, — величины и направления корректирующих импульсов.

Другое измерительное устройство, которое использует штурман в орбитальных полетах, — стадиометр (от греческого слова *stadion* — известное расстояние). Он измеряет параллактический угол  $\beta$ , под которым виден с космического корабля радиус Земли. Работа со стадиометром заключается в совмещении изображений трех кардинальных точек горизонта путем поворота специальных призм.

Вычисление параметров орбиты по измерениям, выполненным с помощью стадиометра, секстанта и часов, несколько проще, однако эффективное использование стадиометра возможно лишь на сравнительно больших удалениях от Земли.

**ПОЛЕТ К ПЛАНЕТАМ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.** Большой универсальностью должна обладать навигационная аппаратура, предназначенная для обеспечения полетов на Марс, Венеру и другие планеты солнечной системы. В таких полетах помимо указанных ориентиров штурману придется использовать точечные источники света или весьма близкие к точечным — звезды и планеты.

Угловые измерения будут проводиться между звездами и центрами планет (так называемая звездная триангуляция). Возможно, окажется целесообразным иметь на борту комплекс навигационной аппаратуры, включающей как

угломерные, так и дальномерные спидометрические и акселерометрические приборы для счисления пути и определения пространственных координат летящего корабля.

Естественно, что полету человека будут предшествовать полеты автоматических исследовательских станций, с помощью которых в дальнейшем создадут подробные карты планет и исследуют их атмосферу. Это позволит осуществлять навигацию пилотируемых кораблей вблизи планет с высокой точностью.

**ПОЛЕТ К ЗВЕЗДАМ.** О полетах за пределы солнечной системы пока пишут главным образом фантасты. Техническая литература, если и упоминает о них, то вскользь, как о далекой перспективе. Будем придерживаться наиболее оптимистичных взглядов на эту проблему и попробуем представить, в чем может состоять специфичность работы штурмана космического корабля, летящего к звездам.

Вследствие исключительно высоких требований к точности измерений датчики навигационной информации, по всей вероятности, будут автоматические, однако отдельные элементы могут иметь ручное дублирование. Можно ожидать, что наиболее эффективными окажутся спидометрические методы, например астродоплеровский метод, основанный на измерении доплеровского сдвига спектральных линий излучения звезд.

Следует иметь в виду, что помимо параллаксического смещения звезд на небесной сфере в процессе полета звездная картина может быть сильно искажена из-за абберраций. Подобно тому как отвесный дождь вычерчивает косые линии на окнах движущегося поезда, направление излучения звезд, расположенных вблизи плоскости, перпендикулярной вектору скорости космического корабля, также не будет соответствовать действительному. Эти кажущиеся смещения звезд тем сильнее, чем ближе истинные положения звезд к указанной плоскости и чем ближе скорость движения космического корабля к скорости света. Когда эти скорости станут одного порядка, космонавт будет наблюдать любопытную картину: небо, как говорится, покажется ему «с овчинку». Все звезды с передней полусферы сконцентрируются вблизи апекса — точки пересечения направления вектора скорости с небесной сферой, а излучение звезд с задней полусферы из-за эффекта Доплера станет невидимым.

Таким образом, направление вектора скорости корабля будет экипажу приблизительно известно, но для точного его определения потребуются сложные расчеты. Особая забота штурмана на

звездном корабле будет заключаться в несении службы времени.

Наиболее трудоемкий этап работ для всякого полета — это вычисления. В длительных полетах штурману могут быть поручены расчеты в полном объеме с использованием бортовых вычислительных средств. Возможно, окажется целесообразным распределение между человеком и машиной функций, связанных с обработкой информации. Алгоритмы, предназначенные для «ручных» вычислений, должны разрабатываться так, чтобы по возможности все расчеты сводились к элементарным четырем (или даже двум) арифметическим действиям. При этом допускается некоторое усложнение логических операций, использование номограмм и графиков.

Из сказанного видно, что для наилучшего выполнения космонавтом штурманских обязанностей в каждом из конкретных полетов необходим специальный комплекс аппаратуры, методов и приемов работы с нею, а также тщательная подготовка ко всем особенностям профессиональной штурманской деятельности на корабле. Это означает, что математические методы решения астронавигационных задач, принципы действия и конструкции астрономических инструментов и вычислительной техники непременно надо выбирать с учетом психофизиологических возможностей человека-оператора, находящегося в тех условиях, в которых предстоит ему работать.

Оптимальное решение здесь должно быть найдено методом последовательных приближений. Сначала изучаются самые общие возможности человека проводить работу в космосе и, исходя из них, создается первый рабочий вариант аппаратуры. Затем, используя его, изучается конкретная деятельность космонавта-оператора. Это позволяет, с одной стороны, вносить усовершенствования в аппаратуру, а с другой — разрабатывать целесообразные методы тренировок.

Начиная с первых полетов наших космонавтов, проводится систематическое изучение их работоспособности. Изучению подвергаются общие аспекты двигательной, умственной, психической деятельности человека в космическом полете, проверяется работоспособность его зрительного, слухового и других анализаторов, а также отдельные примеры конкретной профессиональной деятельности. Например, деятельность летчиков-космонавтов по управлению космическим кораблем и его системами; космонавта-исследователя по выполнению экспериментов и работе с научной аппаратурой; врача-космонавта по взятию физиологических проб и выполнению медицинских процедур и т. д.

Ряд исследований проводится для оценки возможностей космонавта по решению задач, входящих в круг профессиональных обязанностей штурмана. Например, во время полетов советских космонавтов изучалась возможность ручной ориентации корабля по астроизмерениям и выполнение связанных с этим расчетов. П. И. Беляев и А. А. Леонов определяли в полете с помощью астрономических измерений параметры орбиты своего корабля. В этом же плане изучаются возможности космонавтов при работе с секстантом и другими штурманскими инструментами.

Результаты этих исследований помогут распределить обязанности между человеком и навигационными автоматами, выбрать целесообразные методы математических расчетов и конструкцию ручной измерительной и вычислительной аппаратуры, обеспечивающей при малых весах и габаритах необходимую быстроту, точность и надежность работы.

Учитывая наши достижения в освоении космоса, можно не сомневаться, что вся эта большая работа увенчается успехом.

## ЦИФРЫ ЗАМЕЧАТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Время старта станции «Зонд-5»	15 сентября 1968 г. 0 час. 42 мин. по моск. вр.
Параметры промежуточной орбиты	Апогей 219 км Перигей 187 км Наклонение 51,5°
Включение последней ступени	Через 67 минут после старта
Первая коррекция траектории	17 сентября в 6 час. 11 мин.
Удаление от Земли в момент первой коррекции	325 000 км
Минимальное расстояние сближения с Луной	1950 км
Изменение скорости при второй коррекции траектории	На 0,005% Суммарный импульс 0,35 м/сек
Ширина «коридора входа»	10—13 км
Оптимальный условный перигей вхождения в верхние слои атмосферы	35 км
Перегрузки	10—16 ед
Температура слоя у поверхности станции	13 000°
Величина скорости спускаемого аппарата в конце участка торможения	200 м/сек
Высота срабатывания парашютной системы	7 км
Координаты точки приводнения в акватории Индийского океана	32°38' южной широты 65°33' восточной долготы
Общее время нахождения «Зонда-5» в полете	Около 7 суток
Общее число сеансов связи	36