

# Руководство по орбитальным операциям

## выравнивание и синхронизация орбит, стыковка с орбитальной станцией автор - Jared "Smitty" Smith

### Подготовка

Правами на данный документ обладает Jared Smith, © 2005. Вы можете свободно переводить эту статью, снабжая перевод ссылкой на оригинальный документ. Если вы [свяжитесь со мной](#), я опубликую ссылку на ваш перевод. Вы также можете делать самостоятельные выпуски этой статьи, но имейте в виду, что оригинальный документ (см. <http://smithplanet.com/stuff/orbiter/orbitaloperations.htm>) может быть изменен с целью актуализации.

Настоящее руководство предназначено для обучения следующим орбитальным операциям - выравнивание орбит, синхронизация орбит и стыковка с орбитальной станцией. Это не просто перечень необходимых процедур. Руководство включает в себя пояснения ваших действий, а также необходимый экскурс в механику орбитальных полетов. Вы будете ознакомлены с наиболее точными и эффективными приемами, позволяющими выполнить задачу сближения и стыковки с орбитальной станцией.

#### Требования:

- [Orbiter - Space Flight Simulator 2005](#) - последняя версия симулятора.
- Готовый сценарий с космическим кораблем на орбите. В настоящем руководстве имеется в виду стандартный Delta Glider, хотя вы можете использовать любой корабль, имеющий аналогичные характеристики по тяге и запасу топлива.
- В сценарии должна быть космическая станция, с которой и будут проводиться сближение и стыковка. Станция должна быть на стабильной орбите. В настоящем руководстве имеется в виду Международная Космическая Станция.

***В диалоге Orbiter Launchpad (диалог запуска симуляции), выберите вкладку Parameters (Параметры) и включите Orbit Stabilization (Стабилизация орбиты), выключите Non-spherical gravity sources (Несферические гравитационные источники), и, если ваш корабль имеет сильно ограниченный (реалистичный) предел топлива или тяги, выключите Limited fuel (Ограниченное количество топлива). После того, как вы освоите технику выполнения орбитальных операций с упрощенными установками, вы сможете сделать более реалистичные настройки параметров.***

Настоящее руководство написано в расчете на использование стандартного Delta Glider для стыковки со стандартной Международной Космической Станцией (далее - МКС). Если вы используете Space Shuttle, имейте в виду особенности его основных двигателей, которые могут добавить дополнительный вращательный момент. Кроме того, в настоящем руководстве имеется в виду, что у вас нет проблем с уверенным стартом и выходом на устойчивую орбиту.

Если вы не знаете, с какого сценария начать, **выберите сценарий Space Stations\mir.scn**, или, если у вас есть установленный [Delta Glider III](#), **выберите сценарий DeltaGliderIII\_2005\Earth Scenery\Docked to MIR.scn**.

Если вы стартуете с поверхности Земли, вы можете значительно снизить затраты топлива на последующие орбитальные маневры используя МФД-Карту (Map MFD) (МФД - многофункциональный дисплей). Вы можете выбрать время старта таким образом, чтобы орбита станции проходила прямо над местом старта. После старта вы также можете воспользоваться Map MFD для наилучшего выравнивания вашей орбиты с орбитой станции.

В этом сценарии ваш корабль находится на орбите пристыкованном к станции "Мир", которая в реальности находится в более неудобном для межорбитального перелета к МКС месте. Орбиты "Мира" и МКС сильно отличаются друг от друга. Это было сделано намеренно по требованию Русских, которые не хотели одновременно отслеживать две станции. Поэтому они настояли на том, чтобы орбита МКС была расположена таким образом, чтобы МКС не проходила верхние широты в то же самое время, что и станция "Мир". Такое положение вещей привело к тому, что реальные межорбитальные перелеты между этими станциями были бы сильно затруднены.

Однако, в Orbiter'e станция "Мир" помещена на удобную орбиту, лежащую в плоскости эклиптики, которая все же несколько отличается от орбиты МКС. Это обстоятельство поможет нам хорошо изучить основные операции межорбитальных перелетов. Следует также заметить, что для совершения перелета со станции "Мир" на МКС нам необходим не совсем реалистичный корабль, например, Delta Glider, т.к. современный реальный космический корабль (такой как Space Shuttle) не имеет на борту запаса топлива, достаточного для такого перелета.

Во-первых, определим некоторые термины:

- Выравнивание орбит (Aligning Orbits) - выравнивание плоскости орбиты вашего корабля таким образом, чтобы она совпала с плоскостью орбиты станции назначения.
- Синхронизация орбит (Syncing Orbits) - приведение скорости и высоты вашего корабля к таким значениям, чтобы в некоторый момент он прошел очень близко от станции назначения.
- Стыковка (Docking) - ручное управление кораблем таким образом, чтобы стыковочный узел корабля смог соединиться со стыковочным узлом, расположенным на станции назначения.

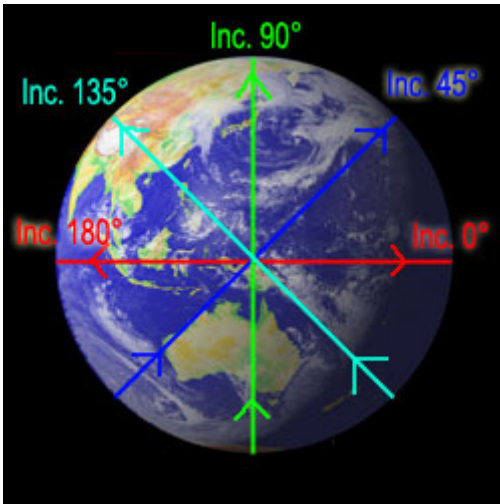
## Выравнивание орбит

### Краткий обзор

Введем еще несколько терминов:

- Плоскость орбиты (Orbital Plane) - плоскость, в которой находится ваша эллиптическая орбита. Плоскость околоземной орбиты всегда проходит через центр Земли, но может быть наклонена под некоторым углом относительно плоскости экватора. Представьте себе, что вы взяли большой лист бумаги и нарисовали на нем свою орбиту. Лист бумаги и будет плоскостью орбиты.
- Наклонение (Inclination) - величина угла поворота плоскости орбиты относительно плоскости экватора. Наклонение 0 градусов означает, что плоскость орбиты совпадает с плоскостью экватора. Наклонение 90 градусов означает, что плоскость орбиты содержит северный и южный полюса. Такая орбита пересекает плоскость экватора в двух местах.
- Долгота восходящего узла (Longitude of Ascending Node, LAN) - долгота точки, в которой орбита пересекает плоскость экватора при движении корабля от юга к северу.

Рассмотрим эти понятия более подробно. Наклонение и долгота восходящего узла вместе определяют ориентацию плоскости орбиты относительно Земли. Наклонение меняется от 0 до 180 градусов. В случае, когда наклонение равно 0 градусов, речь идет об экваториальной орбите, по которой корабль движется в том же направлении, в котором вращается Земля (с запада на восток, прямая орбита, Prograde). Если же наклонение равно 180 градусам, то говорят также об экваториальной орбите, только корабль по ней движется в направлении, обратном вращению Земли (с востока на запад, обратная орбита, Retrograde). Орбиты с наклонением 90 градусов проходят над полюсами и называются полярными.



Если величина наклонения орбиты лежит между 0 и 180 градусами, то такая орбита дважды пересекает плоскость экватора. Восходящий узел - это точка, в которой орбита пересекает плоскость экватора при "подъеме" корабля "над" экватором, то есть при движении корабля с юга на север. В Orbiter'e долгота восходящего узла - угловая величина, которая меняется от 0 до 360 градусов. Не следует считать, что долгота восходящего узла - это долгота в том же смысле, что и долгота, используемая при навигации на поверхности Земли. Такая долгота восходящего узла орбиты постоянно бы менялась из-за вращения Земли. Долгота восходящего узла орбиты - более абсолютная величина, которая базируется на положении Земли относительно Солнца. Ее измерение зависит от точки весеннего равноденствия и других, более сложных вещей. Для нас сейчас важен только тот факт, что долгота восходящего узла орбиты определяет точку, в которой орбита пересекает плоскость экватора в данный момент времени.

#### Технические тонкости

*Если вы заинтересованы только в разьяснениях о том, как долететь до МКС, эту часть можете пропустить.*

Две орбиты могут иметь одинаковое наклонение, на различные долготы восходящего узла. Это очень важный момент. На картинке выше показано, что орбита, имеющая наклонение 45 градусов (синяя линия, орбита видом "с ребра") пересекает плоскость экватора где-то в районе Австралии. В то же время другая орбита, имеющая такое же наклонение (45 градусов, представьте, что речь идет о голубой линии, только направление движения противоположное тому, что указано на рисунке) пересекает плоскость экватора где-то "на той стороне" - над Южной Америкой. Наклонение одинаковое, но долготы восходящих узлов - разные. Фактически, в данном примере, изображенном на рисунке, видно, что плоскости орбит перпендикулярны друг другу.

#### **На самом деле станции "Мир" и МКС имеют одинаковое наклонение - 51.6 градусов.**

Такое наклонение было выбрано русскими для того, чтобы иметь возможность использовать свой северный космодром (расположенный на 51.6 градусов северной широты) для запуска кораблей, обслуживающих обе станции. Хотя наклонения орбит одинаковы, долготы восходящих узлов существенно отличаются, сильно затрудняя межорбитальный перелет с одной станции на другую. Наклонения "Мира" и МКС также сильно отличаются от наклонения орбиты Луны и наклонения плоскости эклиптики, что делает эти станции неудобными в качестве площадок для старта межпланетных перелетов. В Orbiter'e, наоборот, орбита станции "Мир" лежит в плоскости эклиптики, что делает станцию удобной точкой для начала (или завершения) межпланетных перелетов.

Таким образом, для того, чтобы попасть с орбиты "Мира" на орбиту МКС мы должны не только **сделать наклонение нашей орбиты таким же, как наклонение орбиты МКС**, но и **повернуть плоскость орбиты** так, чтобы она пересекала экватор в тех же точках и в том же направлении, что и орбита МКС (т.е. выровнять **долготы восходящих узлов**). В реальности наклонения орбит "Мира" и МКС одинаковы, а долготы восходящих узлов сильно

отличаются. В Orbiter'e орбиты "Мира" и МКС отличаются и наклоном и долготами восходящих узлов. Вы можете убедиться в этом, открыв МФД-карту (<Shift+M>) и указав в качестве цели МКС (нажмите кнопку TGT и введите "ISS").



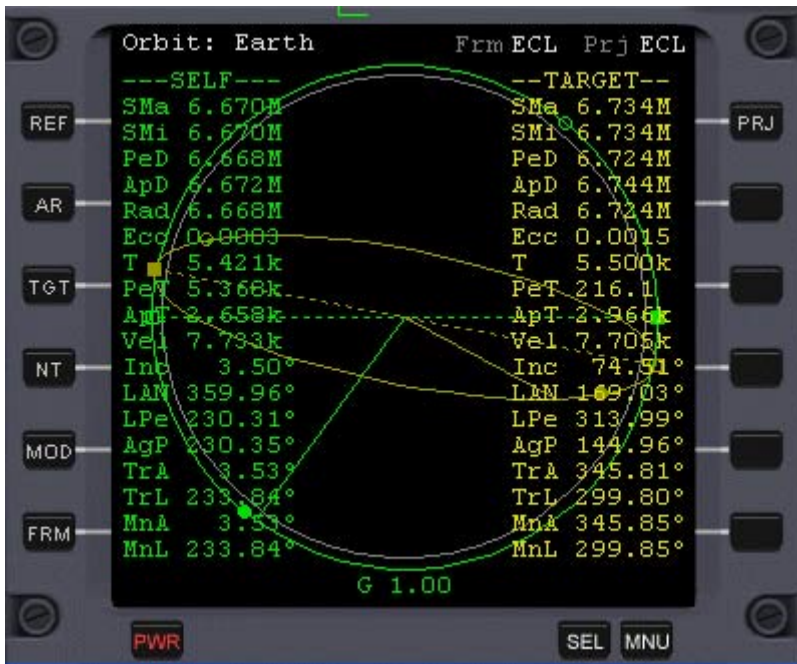
Нам нужно развернуть плоскость своей орбиты таким образом, чтобы она совпала с плоскостью орбиты МКС. Как только это будет сделано, мы окажемся впереди или позади МКС.

## Дисплей выравнивания орбит (Align Planes MFD)

Align Planes MFD орбит дает все инструменты, необходимые для того, чтобы ориентировать орбиту желаемым образом. Если вы находитесь на стабильной околоземной орбите, то волноваться не о чем. Эксцентриситет и высота орбиты не имеют решающего значения - наиболее энергоемким маневром является поворот плоскости орбиты.

*На заметку: Во многих инструкциях говорится о том, что сначала следует выровнять высоту и эксцентриситет вашей орбиты с орбитой цели, а потом заняться поворотом плоскости орбиты. Можно делать и так. Только после поворота плоскости орбиты все равно придется менять ее высоту для того, чтобы провести синхронизацию вашего положения с положением станции-цели (конечно, если только вы не ОЧЕНЬ везучий). Я нахожу более простым и правильным сначала провести поворот плоскости орбиты, а уж потом заняться выравниванием высоты одновременно с синхронизацией положения. К тому же разница в высотах может помочь провести синхронизацию, что позволит сэкономить топливо. Такой подход представляется более осмысленным, нежели монтировать идеальную орбиту, потом поворачивать ее и ПОРТИТЬ достигнутое совершенство во время синхронизации.*

**Откройте Орбитальный МФД (Orbit MFD) справа (<Right Shift + O>). Установите МКС в качестве цели (<Right Shift + T> и введите "ISS"). Orbit MFD показывает нашу орбиту в плане (если это не так, нажмите <Right Shift + P>, прим. переводчика). Серая линия показывает контур поверхности Земли (если все идет правильно, наша орбита не должна пересекать его), зеленая линия - наша орбита, желтая линия - орбита МКС.**



Вы можете видеть орбиту нашего корабля в плане. МКС имеет наклонение 74.51 градусов (относительно эклиптики, прим. переводчика), так что вы видите, что плоскость ее орбиты сильно наклонена относительно плоскости нашей орбиты. На данный момент, основное, что должно нас интересовать, это то, чтобы наш перигей (PeD, periapsis), т.е. расстояние от центра Земли до самой нижней точки нашей орбиты, не был меньше, чем 6550 км. Если он опустится ниже, мы начнем цеплять атмосферу и наша орбита будет разрушена.

Откройте МФД Выравнивания (Align Planes MFD) слева (<Left Shift + A>). Установите МКС в качестве цели (<Left Shift + T> и введите "ISS"). Теперь дисплей показывает наше текущее наклонение (Inclination, Inc) и долготу восходящего узла (LAN), а также наклонение и долготу восходящего узла для МКС (см. параметры под надписью Target:). МФД Выравнивания показывает также разницу в наклонениях (RInc). Это значение интересует нас больше всего. Необходимо добиться RInc=0. Остальные параметры помогут нам правильно выбрать время включения двигателей.



Align Planes MFD показывает также графическое представление нашей орбиты - это зеленая окружность. Зеленый вектор P показывает текущее положение нашего корабля на орбите.

Маркеры AN (восходящий узел, Ascending Node) и DN (нисходящий узел, Descending Node) показывают, где именно плоскость нашей орбиты пересекает плоскость орбиты МКС.

Не следует связывать эти AN и DN с восходящим и нисходящим узлами нашей орбиты относительно экватора. В данном случае имеются в виду узлы пересечения двух орбит. Если есть две орбиты, то они пересечением своих плоскостей образуют прямую линию. Точки пересечения этой прямой с линией любой из орбит и будут восходящим и нисходящим узлами (AN и DN). Вы также можете видеть эти точки пересечения на дисплеях Orbit MFD и Map MFD. Восходящий узел - это точка пересечения, через которую мы проходим при движении с юга на север.

Подписи на рис.:

Descending Node - Нисходящий узел

Ascending Node - Восходящий узел



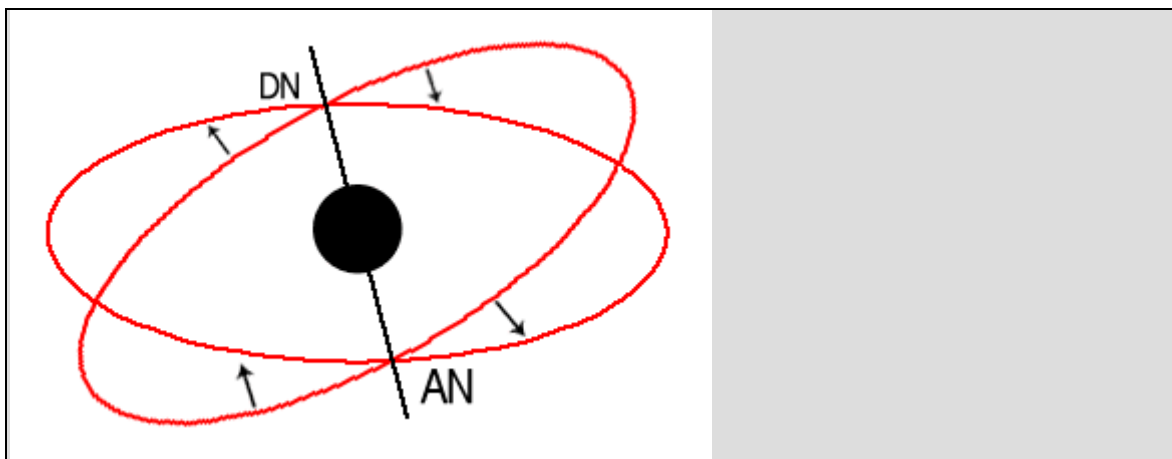
В нашем случае МКС и наш корабль оба движутся с запада на восток (прямая орбита, prograde). Если бы станция двигалась в другом направлении (обратная орбита, retrograde), относительное наклонение было бы намного больше (потребовалось бы намного больше усилий для выравнивания орбит).

Мы можем делать выравнивающие маневры непосредственно возле восходящего и нисходящего узлов. При этом мы будем одновременно менять наклонение нашей орбиты и поворачивать плоскость орбиты до совпадения с плоскостью орбиты МКС.

#### Технические тонкости

*Здесь мы рассмотрим более детально наши действия. Если вам не интересно, вы можете пропустить эту часть.*

Мы спланируем включения двигателя таким образом, чтобы это происходило в те моменты, когда наш корабль проходит через линию пересечения плоскостей орбит (т.е. через восходящий и нисходящий узлы относительно орбиты станции-цели). Мы будем направлять тягу двигателей перпендикулярно текущей плоскости нашей орбиты. Если у вас автопилот включен в режиме "prograde", это будет как раз направление вверх или вниз (конечно, если считать, что вы сидите в кресле, а не плаваете по кораблю туда-сюда!). Ускорение, перпендикулярное плоскости орбиты слабо влияет на высоту и скорость, но приводит к повороту плоскости орбиты. Фокус состоит в том, чтобы повернуть плоскость нашей орбиты так, чтобы наклонение стало правильным ОДНОВРЕМЕННО с тем, чтобы орбита пересекала экватор в тех же местах, что и орбита МКС.



Представьте, что орбиты вашего корабля и МКС - это стальные кольца, соединенные в двух диаметрально противоположных точках. Кольца могут свободно вращаться в точках крепления относительно друг друга. Правильное положение - это когда оба кольца лежат в одной плоскости и выглядят как одно кольцо. Если мы включаем двигатель в момент прохождения точки пересечения орбит и направляем его тягу перпендикулярно плоскости орбиты, то мы как раз поворачиваем нашу орбиты вокруг этой точки.

Положение точки пересечения изменится незначительно, но наклонение орбиты изменится намного сильнее. В сущности, мы будем изменять наклонение нашей орбиты, вращая ее вокруг точки пересечения орбит. После завершения маневра наклонение и долгота восходящего узла нашей орбиты будут совпадать с соответствующими параметрами орбиты станции-цели.

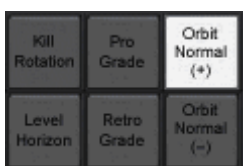
## Выравнивание орбит

Если вы этого еще не сделали, **расстыкуйтесь со станцией Мир (<Ctrl + D>)**. Убедитесь в том, что включен линейный режим RCS (RCS - reaction control system, т.е. двигатели ориентации и стабилизации), переключение с режима вращения на линейный и обратно - <NumPad />. Для того, чтобы удалиться от станции, подержите 1-2 секунды клавишу <NumPad 9>. **Закройте носовой обтекатель (клавиша <K>)**.

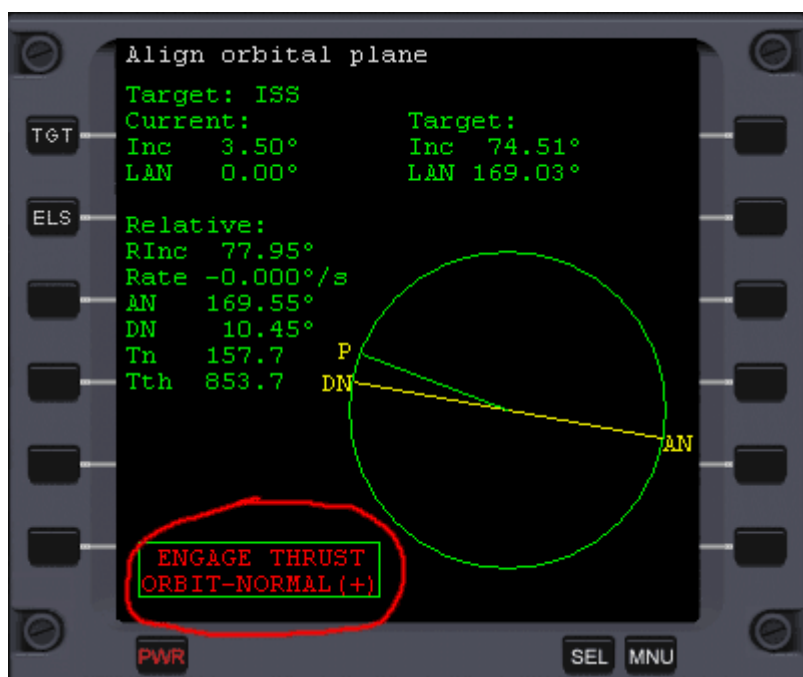
Align Planes MFD дает всю необходимую нам сейчас информацию. Определите текущее положение корабля (радиус-вектор P). **Если наш корабль приближается к восходящему узлу (Ascending Node, AN), для выравнивания орбит понадобится дать тягу в направлении анти-нормали орбиты (anti-normal), поэтому включите автопилот в режиме Orbit Normal (-)**. Проще всего запомнить это по одинаковым аббревиатурам - Ascending Node и Anti-Normal, то и другое начинается на AN.



Если наш корабль приближается к нисходящему узлу (Descending Node, DN), потребуется дать тягу в направлении нормали орбиты, поэтому включите автопилот в режиме Orbit Normal (+).



Следите за Align Planes MFD. Когда транспарант **KILL THRUST** сменится на **ENGAGE THRUST** включите **полную тягу главных двигателей** (клавиша <NumPad +>).



При работающем двигателе относительное наклонение (RInc) должно начать уменьшаться. Если оно увеличивается, значит вы перепутали направление тяги (включили не тот режим автопилота. **Двигатель должен работать до тех пор, пока RInc не сравняется с 0° ИЛИ до тех пор, пока не загорится транспарант KILL THRUST.** (Выключение двигателя производится при помощи клавиши <NumPad \*>, прим. переводчика). Если значение RInc близкое к нулю не будет достигнуто за одно включение двигателя, ничего страшного, разверните корабль в противоположном направлении и ждите повторного появления транспаранта ENGAGE THRUST. Параметр Tn на МФД - это время достижения следующего узла орбиты (восходящего или нисходящего) в секундах. Параметр Tth - приблизительное время работы двигателя. Поскольку мы включаем тягу только во время прохождения узлов, транспарант ENGAGE THRUST должен появляться тогда, когда Tn станет вдвое меньше, чем Tth. Из-за большого различия наклонений нашей орбиты и орбиты станции-цели потребное время работы двигателей будет большим. Для того, чтобы быстрее пролетать от одного узла орбиты к другому, вы можете использовать 10-кратное ускорение времени (переключение между режимами ускорения времени осуществляется при помощи клавиш <T> и <R>).

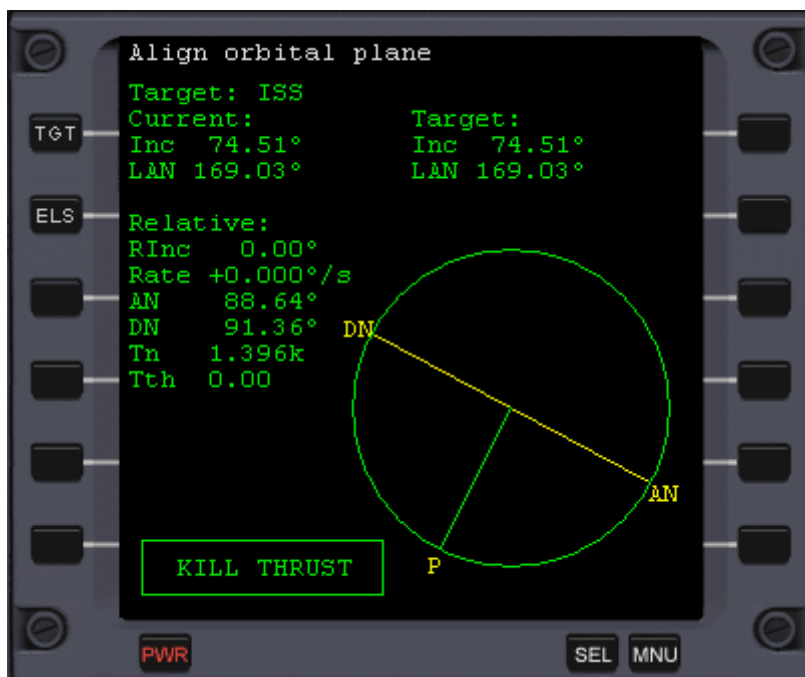
Из-за большого начального значения RInc может потребоваться 2 или 3 включения двигателей, прежде чем будет достигнуто значение RInc, близкое к 0. Просто включайте двигатель тогда, когда этого просит МФД и делайте это в правильном направлении (anti-normal для восходящего узла AN и orbit normal для нисходящего узла DN).

Вблизи нулевого значения RInc индикаторы AN и DN начнут "убегать" от вас и транспарант KILL THRUST будет появляться все быстрее. Независимо от режима автопилота (normal + или normal -), вы можете игнорировать инструкции Align Planes MFD относительно того, в каком именно направлении давать тягу. Просто, не меняя ориентации корабля, пользуйтесь главными двигателями (main thrusters, клавиша <NumPad +>) или реверсными двигателями (retro thrusters, клавиша <NumPad ->). Задача - **приблизить значение RInc к 0 насколько возможно.** Для более точного маневрирования можно использовать RCS в линейном режиме (клавиши <NumPad 9> и <NumPad 6>). Таким манером можно добиться разницы менее, чем 0.1 градуса. Если удастся достичь RInc=0, вы увидите, что корабль на дисплее как раз расположится между маркерами узлов AN и DN.

(На самом деле можно сколь угодно точно приводить RInc к нулю, используя режим малой тяги основных двигателей (<NumPad +> в сочетании с клавишей <Shift> даст ПОСТЕПЕННЫЙ набор тяги главного двигателя от нуля до максимальной, то же самое касается реверсных двигателей)



или же режим уменьшенной в 10 раз тяги двигателей RCS (<NumPad 9> и <NumPad 6> в сочетании с клавишей <Ctrl>), прим. переводчика).



Относительное наклонение 0 градусов. Наклонение и долгота восходящего узла нашего корабля и станции-цели теперь совпадают.

Поздравляю, теперь плоскость орбиты нашего корабля совпадает с плоскостью орбиты МКС.

## Синхронизация орбит

### Краткий обзор

Цель синхронизирования орбит состоит в том, чтобы получить примерное совпадение позиций нашего корабля и МКС в пространстве и времени при небольшой (поддающейся корректировке) относительной скорости в момент максимального сближения.

Во-первых, выключите автопилот и наслаждайтесь полетом, пока читаете этот раздел руководства. Самый простой путь НЕ СОСТЫКОВАТЬСЯ с МКС - это попытаться сделать это не раздумывая и как можно быстрее!

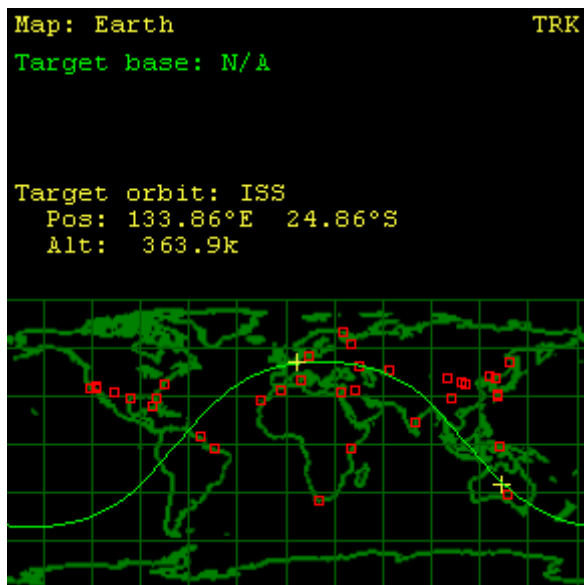
Перед тем, как продолжить, рассмотрим некоторые важные аспекты механики орбитальных полетов. Период обращения больше для той орбиты, которая сама больше. Чем меньше высота орбиты, тем быстрее движется по ней корабль. Новичкам это не совсем понятно. Если вы хотите замедлиться, следует дать тягу вперед (prograde). Это увеличит размеры орбиты и замедлит движение корабля (увеличится период обращения). Если же нужно ускориться, следует затормозить на орбите (реверсная тяга, retrograde), что приведет к уменьшению размера орбиты и увеличению скорости корабля на ней. Период обращения уменьшится.

Мне бы хотелось резюмировать вышесказанное в таком выражении - "На орбите, для того, чтобы ускориться, нужно замедлиться и наоборот, для того, чтобы замедлиться, нужно ускориться!" Чистый бред, а?! Если вы находитесь на сильно вытянутой эллиптической орбите, то вы легко заметите, что чем ближе вы к Земле, тем выше ваша скорость (относительно Земли, конечно). Ладно, поехали дальше.

Даже при том, что орбиты лежат в одной плоскости, мы можем быть выше (и, соответственно, медленнее), чем МКС или ниже (и быстрее). Возможен также смешанный вариант, когда орбита нашего корабля сильно вытянута. Наша цель - найти такой момент, когда наши расположение,

высота и скорость будут достаточно близки к МКС, чтобы стало возможным провести сближение и стыковку.

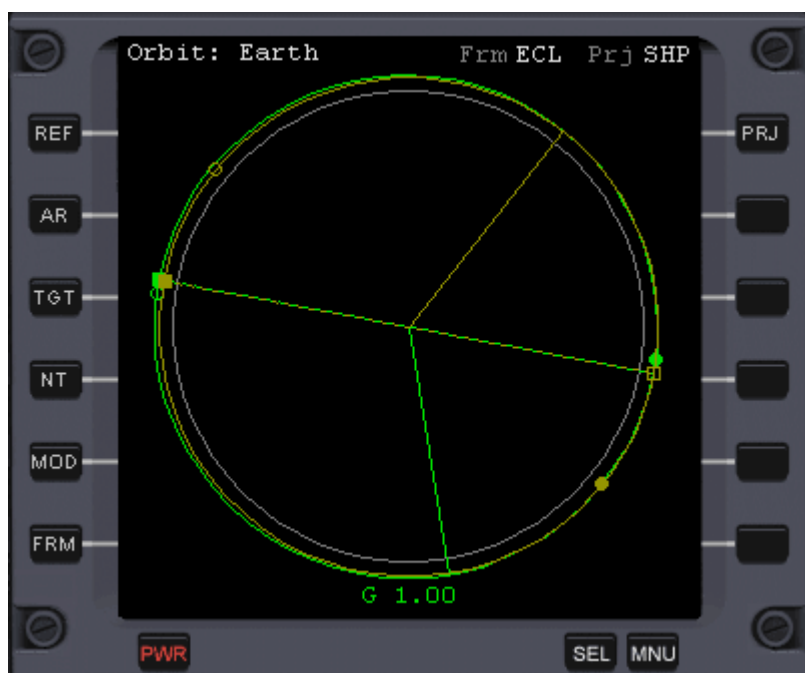
Если вы сейчас **откроете Map MFD (нажмите <Shift + M>)** и **выберете МКС в качестве цели**, то увидите, что орбиты выглядят совпадающими. (В терминах, принятых в отечественной космонавтике, следует сказать, что **треки обеих орбит совпадают**. Треком называют вертикальную проекцию орбиты космического корабля на поверхность Земли, прим. переводчика).



Белый крест показывает позицию нашего корабля, желтый - позицию орбитальной станции-цели.

Теперь нам следует ускориться, чтобы догнать МКС на орбите или замедлиться, чтобы позволить МКС нагнать нас.

Теперь **откройте Orbit MFD (нажмите <Shift + O>)**. Убедитесь, что **МКС выбрана в качестве цели (<Shift + T>)**. Orbit MFD имеет несколько вариантов представления информации, между которыми можно переключаться, нажимая на МФД-кнопку **MOD**.



Вы видите, что наша орбита (зеленый круг) и орбита МКС (желтый круг) очень похожи. Мы стартовали со станции "Мир", с орбиты, близкой по форме к точной окружности. Однако, если вы

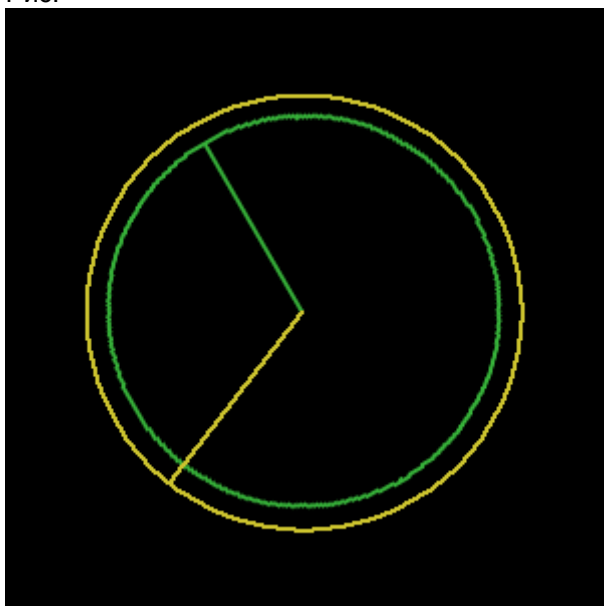
прибыли не с "Мира", то ваша орбита может иметь любую эллиптическую форму. Она может быть немного больше или немного меньше, чем орбита МКС или может пересекать ее. Независимо от формы нашей орбиты, напоминая, мы должны догнать МКС (или МКС должна догнать нас).

Если орбиты практически совпадают (как на рисунке вверху), то и скорости почти равны. Это означает, что пройдет довольно много времени, пока наша позиция совпадет с позицией МКС (т.е. совпадут радиус-вектора нашего корабля и МКС). Это также означает, что в момент наибольшего сближения относительные скорости будут малы, делая возможным эффективное (в смысле затрат топлива) сближение.

Если орбиты сильно отличаются, то разница в скоростях в моменты наибольшего сближения будет слишком велика. Так что первое, что нужно - это сделать так, чтобы наша орбита была подобна орбите МКС, но не слишком близка к ней (так, чтобы мы были быстрее или медленнее МКС).

Рис.

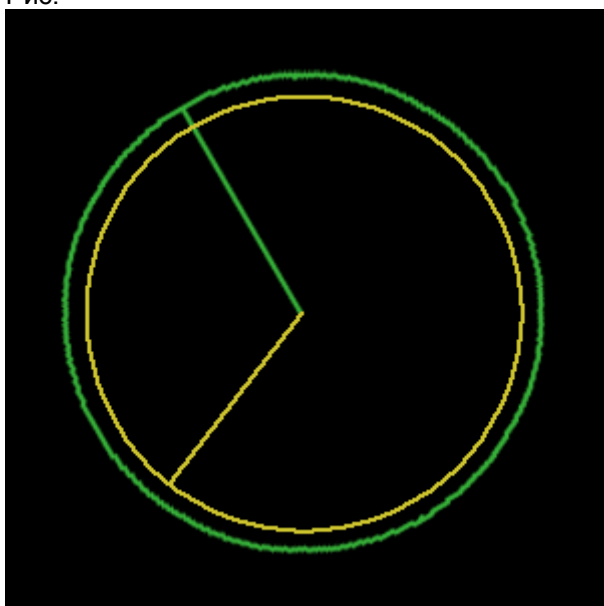
1:



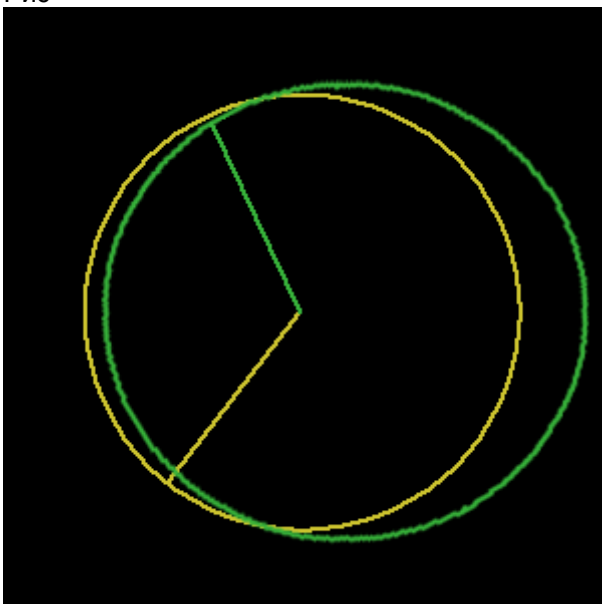
Если орбиты выглядят, как на рис. 1 (помните, зеленая линия - наша орбита, желтая - орбита МКС), значит наша орбита меньше орбиты МКС и мы идем быстрее МКС. При этом наша орбита нигде не пересекается с орбитой МКС (что делает сближение невозможным!).

Рис.

2:



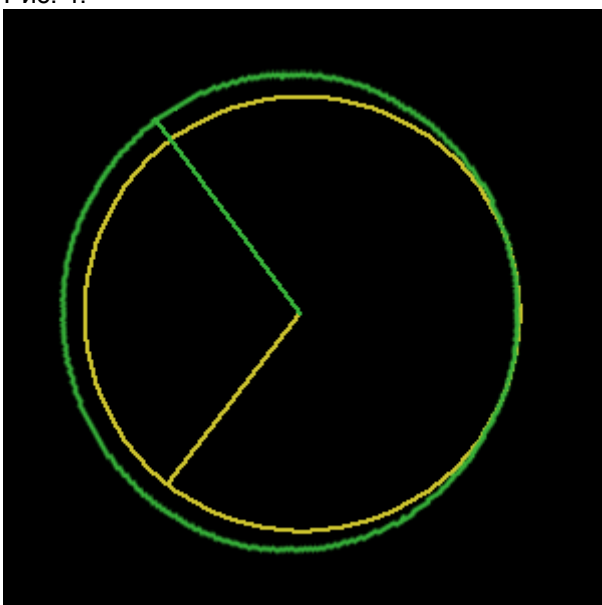
Если орбиты выглядят, как на рис. 2, значит наша орбита больше, чем орбита МКС. Значит, мы идем медленнее, чем МКС. И в этом случае наши орбиты нигде не пересекаются.



На рис. 3 наша орбита имеет большой эксцентриситет и орбиты пересекаются. Проблема состоит в том, что в момент наибольшего сближения (прохождения через одну из точек пересечения орбит) направления и величины скоростей будут несколько различны. Сближение в данном случае возможно, но есть более эффективный случай.

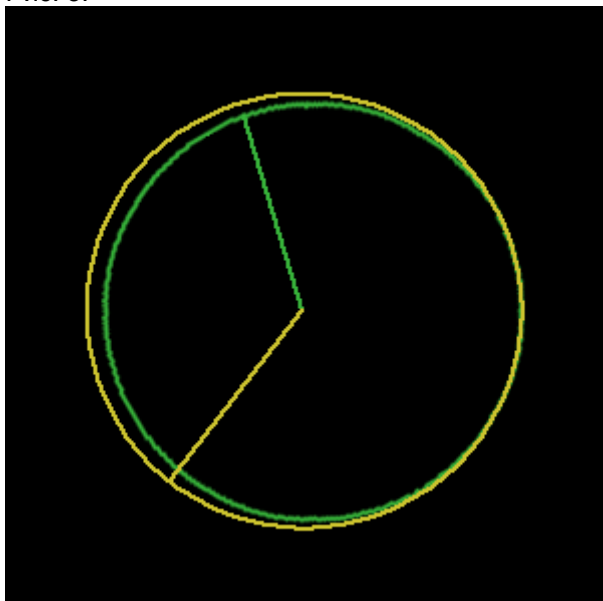
Что мы хотим, так это сделать так, чтобы орбиты выглядели, как на рис. 4:

Рис. 4:



или рис. 5:

Рис. 5:



На рис. 4 наша орбита немного больше, чем орбита МКС (МКС догоняет нас на орбите), но орбиты имеют только одну точку пересечения и в этой точке направления скоростей будут совпадать. На рис. 5 ситуация такая же, только наша орбита немного меньше орбиты МКС (таким образом, мы нагоняем МКС).

В этих двух случаях не имеет никакого значения ГДЕ ИМЕННО находится точка пересечения орбит. Важно лишь, что рядом с этой точкой траектории движения нашего корабля и МКС практически накладываются друг на друга. Сосредоточимся на создании такой точки пересечения.

### **Определение точки пересечения (intersection)**

**Если наша орбита меньше, чем орбита МКС (как на рис. 1), следует поднять апогей до пересечения с орбитой МКС.** Это означает, что мы будем двигаться быстрее МКС и в то же время наши орбиты будут иметь общую точку (точку встречи).

**Если наша орбита больше, чем орбита МКС (рис. 2), то лучше всего затормозить и опустить перигей до уровня высоты орбиты МКС.** Наш корабль будет двигаться медленнее МКС и в то же время перигей нашей орбиты будет точкой встречи.

**Если наша орбита - эллиптическая и уже пересекается с орбитой МКС, действовать можно по-разному.** Вы можете поднять перигей или опустить апогей так, чтобы была только одна точка пересечения орбит. Лучше, конечно, выбрать такой вариант, который дает большую эффективность в смысле уменьшения расхода топлива и времени до встречи.

Если ваша орбита близка к моей (как показано на одном из рисунков выше), я порекомендую немного поднять перигей.

**ВАЖНО: С этого места и до того, как мы начнем окончательное сближение и стыковку с МКС, все включения двигателей производятся в прямом или обратном направлении (prograde или retrograde) и только в апогее или перигее орбиты!**

Если вы определились с тем, что собираетесь менять - перигей или апогей, тогда следует определить, до какой именно высоты его следует менять. Проблема в том, что орбита МКС - не идеальная окружность (имеет форму эллипса) и в разных точках имеет разную высоту.

У нас три возможности:

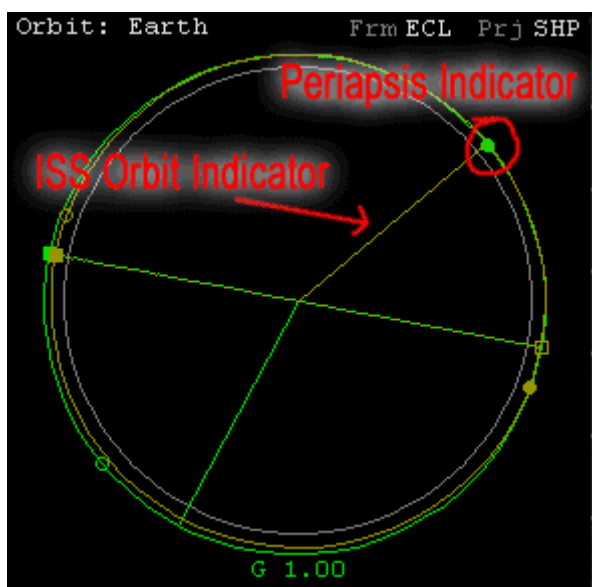
1. Прицелиться "на глазок" и надеяться на успех. Это, возможно, сработает хорошо для нас, но не думаю, что инженеры из NASA часто используют такой метод.
2. Выяснить высоту наивысшей точки орбиты МКС (апогей, apoapsis или ApD) и наинизшую точку (перигей, periapsis или PeD) и прицелиться куда-нибудь посередине. Это было бы намного точнее, но все же недостаточно точно.
3. Использовать Orbit MFD для определения точной высоты орбиты МКС в точке встречи. Мы используем именно этот метод.

В Orbit MFD нажимайте кнопку MOD пока не увидите графическое представление орбит. Найдите на нашей орбите маркер точки, которую вы хотите изменить (апогей или перигей). Перигей - это зеленая точка на орбите, а апогей - это зеленый кружок (см. рис.). Теперь следите за желтым радиус-вектором, показывающим положение МКС, пока он не пересечет выбранную вами точку (или не укажет прямо на нее). Для более точной фиксации этого момента можно воспользоваться замедлением времени (клавиши <R> и <T>).

Подписи на рис.:

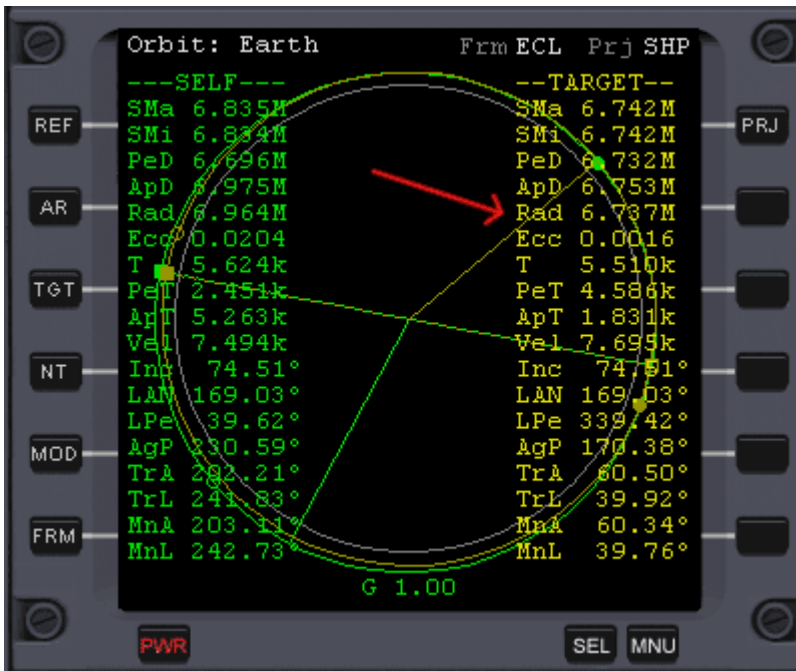
Periapsis Indicator - Маркер перигея

ISS Orbit Indicator - Радиус-вектор МКС



*Пример: радиус-вектор МКС пересекает перигей моей орбиты.*

Когда радиус-вектор МКС будет на соответствующем маркере, быстро нажмите кнопку MOD один или два раза и зафиксируйте значение параметра Rad (радиус) в колонке TARGET (цель) справа. Это - текущая высота МКС, считаемая от центра Земли. Если вы собираетесь менять свой апогей, соответственно следует запомнить радиус орбиты МКС в точке, которая лежит на одном радиусе с вашим апогеем.



Пример: моя орбита очень близка к орбите МКС, так что я собираюсь менять мой перигей. На рис. выше радиус орбиты МКС напротив моего перигея равен 6.737M (то есть 6,737,000 метров). Я хочу изменить свой перигей до этого значения.

Теперь нам известна цель, так что можно начинать маневр. Делать это надо так:

- Если нужно поднять перигей, следует в апогее дать прямой импульс (prograde).
- Если нужно опустить перигей, следует в апогее дать обратный импульс (retrograde).
- Если нужно поднять апогей, следует в перигее дать прямой импульс (prograde).
- Если нужно опустить апогей, следует в перигее дать обратный импульс (retrograde).

Помните, мы включаем двигатели ТОЛЬКО в апогее или перигее орбиты и только в режиме автопилота prograde или retrograde. Включение двигателя в других направлениях или в других точках орбиты нарушит достигнутую нами на этапе выравнивания орбиту.

Следите за индикатором ApD или PeD (соответственно тому, что вы меняете, апогей или перигей) в колонке слева (SELF) Orbit MFD. Сравните это значение с высотой, которую нужно достичь. Убедитесь в том, что вы спланировали все правильно. Если ваша орбита близка к орбите МКС, возможно нужно поменять орбиту незначительно, а может и вовсе не надо.

## Создание точки пересечения (intersection)

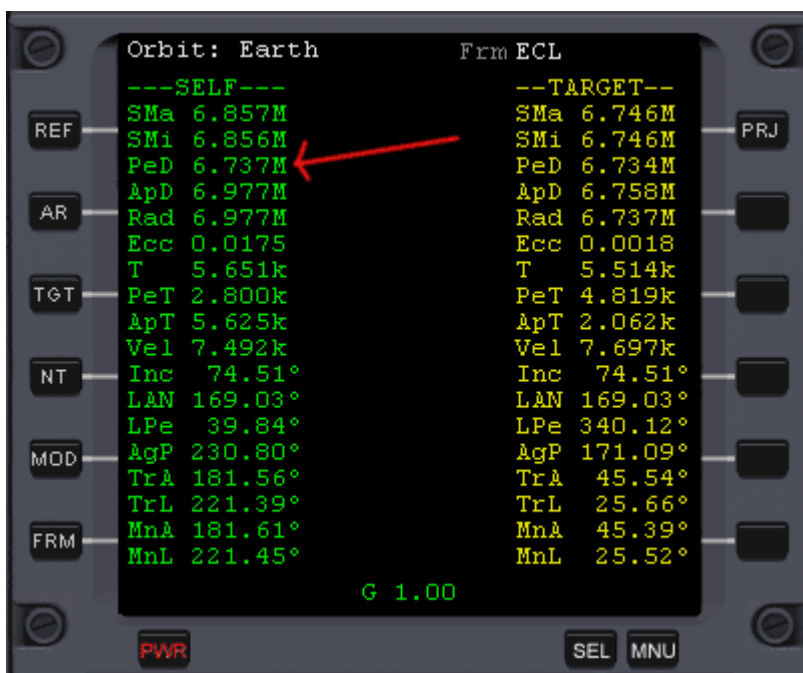
Теперь, опираясь на вышесказанное, **включите автопилот в режиме prograde или retrograde.**



Используйте вышеизложенные правила для того, чтобы определиться с тем, в какой точке орбиты вы будете включать двигатель (в перигее, если вы меняете апогей и в апогее, если вы меняете перигей). Вы можете определить момент включения двигателя, следя за тем, когда ваш индикатор (зеленый радиус-вектор) пересечет нужную точку (индикатор апогея или перигея) или, что даст большую точность, следя за параметром ApT (время достижения апогея в секундах) или PeT (время достижения перигея).

В тот момент, когда вы пересечете нужную точку на орбите (или когда нужный параметр достигнет значения 0), **включите главные двигатели (нажмите клавишу <NumPad +>)**. Цель - привести ваш параметр PeD или ApD в соответствие с высотой МКС в этом месте орбиты, т.е. к значению, которое вы запомнили ранее. Пока двигатель работает, PeD или ApD (в зависимости от того, что вы делаете) будет меняться. Меняться он будет быстро, так что будьте повнимательней. **Выключите двигатель (нажмите <NumPad \*>), когда параметр достигнет нужного значения.** Несмотря на то, что орбиты могут сильно отличаться, маневр займет всего несколько секунд. Если произошел "перелет", быстро включите двигатель обратной тяги (нажмите клавишу <NumPad ->) для того, чтобы вернуть параметр к нужному значению. Вы можете также использовать двигатели RCS в режиме линейной тяги (<NumPad 9> и <NumPad 6>) для более точного контроля. (На самом деле можно также использовать режим малой тяги основных двигателей (<NumPad +> в сочетании с клавишей <Shift> даст ПОСТЕПЕННЫЙ набор тяги главного двигателя от нуля до максимальной, то же самое касается реверсных двигателей) или же режим уменьшенной в 10 раз тяги двигателей RCS (<NumPad 9> и <NumPad 6> в сочетании с клавишей <Ctrl>), прим. переводчика). Если вдруг маневры отняли более 30 секунд, значит, вы уже значительно вышли из зоны перигея (или апогея). В этом случае следует выждать следующего раза (совершить один оборот по орбите) для более точного маневра.

В моем случае я поднимал перигей, поэтому я включал двигатель в прямом направлении в апогее пока перигей моей орбиты не достиг высоты МКС в этом месте, т.е. величины, которую я определил ранее - 6.737M, см. рис. ниже



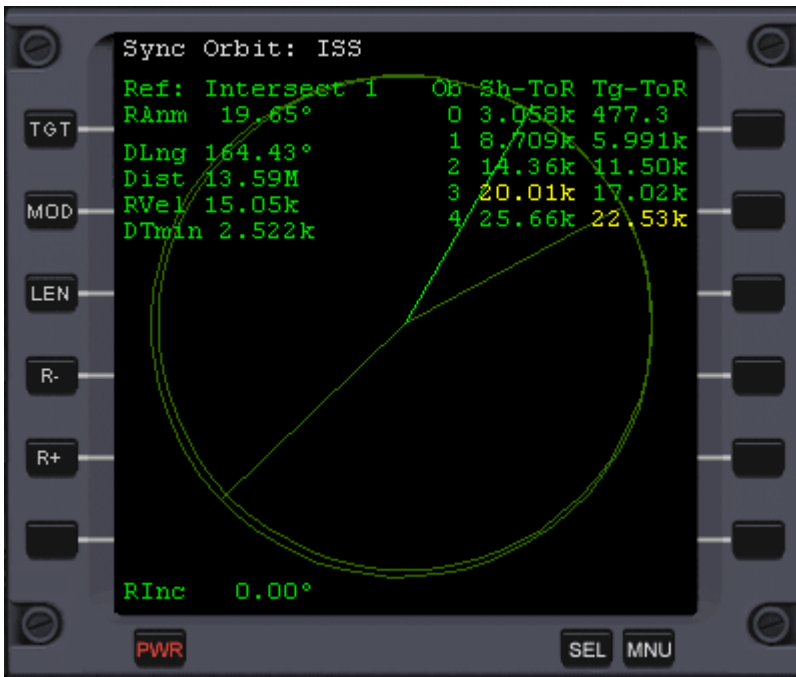
Теперь мы создали точку пересечения орбит (это перигей или апогей нашей орбиты), в которой наш корабль будет на той же высоте, что и МКС с почти такой же скоростью. **Теперь вы можете выключить автопилот.**

Теперь нам нужно устроить все таким образом, чтобы наш корабль подошел к точке пересечения в тот же момент, что и МКС. Мы можем сделать это при помощи МФД Синхронизации Орбит (Sync Orbit MFD).

## Синхронизация орбит

**Включите Sync Orbit MFD (нажмите <Shift + Y>). Выберите МКС в качестве цели (нажмите <Shift + T> и впишите "ISS"). На другой панели откройте Orbit MFD.**

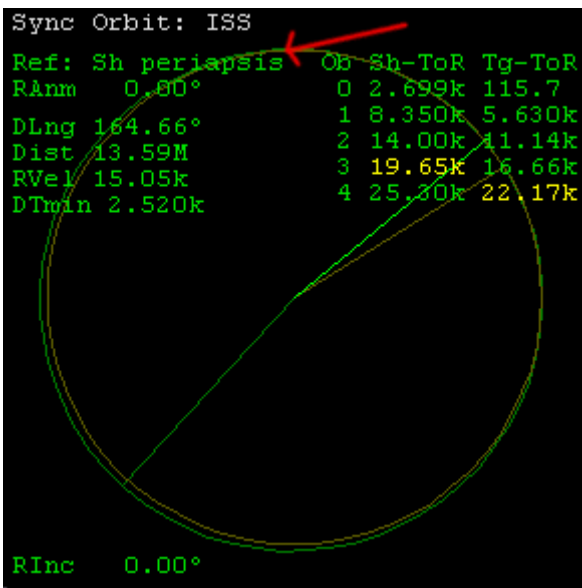




В нижней части Sync Orbit MFD показано относительное наклонение орбиты (RIncl). Если все было сделано правильно, оно должно быть очень близко к 0. Если оно больше, чем 0.5 градуса, вам следует вернуться к операции выравнивания орбит и повторить все сначала. Если же RIncl превышает 1 градус, Sync Orbit MFD просто не будет работать.

Sync Orbit MFD поможет нам определить момент во времени, когда наш корабль будет проходить через точку пересечения орбит одновременно с МКС. Во-первых, мы должны указать, какую именно точку пересечения следует проанализировать (таких точек может быть две).

Нажимайте кнопку MOD (клавиша <Shift + M>) до тех пор, пока в строке Ref: не покажется обозначение нужной точки пересечения "Sh periapsis" (если точкой пересечения орбит является перигей) или "Sh apoapsis" (если точкой пересечения орбит является апогей), см. рис.



Если ваш Sync MFD сообщает "No Intersection", это значит, что точек пересечения нет и вы недостаточно точно выверили свой перигей (апогей) по отношению к высоте МКС в той же точке. Вам придется продолжить подъем (опускание) планируемой точки пересечения (как было сказано выше) до тех пор, пока сообщение "No Intersection" не исчезнет.

Два столбца в правой части МФД показывают информацию о текущем и последующих 4-х витках нашего корабля и МКС (они пронумерованы от 0 до 4). Числовые значения указывают на время (в секундах) которое требуется для достижения точки пересечения в текущем и в следующих 4-х витках. Желтым цветом выделен случай наибольшего сближения с МКС. В примере на рис. выше видно, что момент наибольшего сближения с МКС наступит на 3-ем витке (в перигее моей орбиты). Параметр Sh-ToR показывает, сколько осталось времени моему кораблю до того, как он достигнет этой точки. Аналогичный параметр Tg-ToR показывает время, которое осталось до того, как той же точки достигнет МКС.

Параметр DTmin показывает, насколько эти времена отличаются друг от друга. На рис. вверху это означает, что мой корабль будет в точке рандеву на 2,520 секунд раньше, чем станция (а это 42 минуты). Необходимо подойти поближе, если мы хотим совершить стыковку! Мы можем сделать это двумя способами:

1. Просто ждать, пока не наступит такой виток, когда наш корабль и МКС придут в точку встречи в одно и то же время. Однако, если орбиты близки друг к другу, потребуется ждать **ОЧЕНЬ** долго, ведь скорости наша и станции отличаются мало. А если орбиты сильно отличаются, такая встреча может никогда не случиться, особенно, если наша орбита, например, ровно вдвое больше орбиты МКС.
2. Изменить наш орбитальный период (длительность одного витка), так чтобы свести параметр DTmin к нулю или к малой величине.

Итак, мы хотим изменить наш орбитальный период, но **НЕ ХОТИМ** изменить положение точки встречи. Это можно сделать, поднимая или опуская **ПРОТИВОПОЛОЖНУЮ** точку. В моем случае точка встречи является перигеем, так что я буду поднимать или опускать мой апогей (ApD) для достижения необходимого значения орбитального периода. То, что я собираюсь делать не будет влиять на перигей моей орбиты (PeD).

Так что же нужно сделать с выбранной точкой - поднять ее или опустить? На самом деле и то и другое сработает.

- **Если ваша орбита больше, чем орбита станции-цели (точка встречи находится в перигее), поднимите апогей (что еще больше увеличит вашу орбиту).**
- **Если ваша орбита меньше, чем орбита станции-цели (точка встречи находится в апогее), опустите свой перигей (что еще больше уменьшит вашу орбиту).**

Из этого правила есть исключения:

- Если ваша орбита **НАМНОГО** больше орбиты станции-цели, вам следует опустить ваш апогей. Это позволит уменьшить ваш орбитальный период, в то же время оставляя его большим, чем орбитальный период станции-цели. В целом это позволит уменьшить время достижения точки встречи.
- Если ваша орбита меньше орбиты станции-цели (точка встречи - в апогее), следует опасаться сильно уменьшать свою орбиту, так как можно легко задеть атмосферу. Таким образом, нужно следить за тем, чтобы ваш перигей не оказался в атмосфере (PeD около 6,550 км). Если вы решили наоборот, поднять свой перигей выше апогея, то перигей и апогей поменяются местами. В этом случае потребуется перенастроить Sync Orbit MFD на "Sh. periaapsis", так как теперь точкой встречи будет перигей вашей орбиты.

Воспользуемся правилами, приведенными ранее:

- **Если вы поднимаете перигей, включайте двигатель в прямом направлении (prograde) в точке встречи (апогей).**
- **Если вы опускаете ваш перигей, включайте двигатель в обратном направлении (retrograde) в точке встречи (апогей).**
- **Если вы поднимаете апогей, включайте двигатель в прямом направлении (prograde) в точке встречи (перигей).**
- **Если вы опускаете ваш апогей, включайте двигатель в обратном направлении (retrograde) в точке встречи (перигей).**

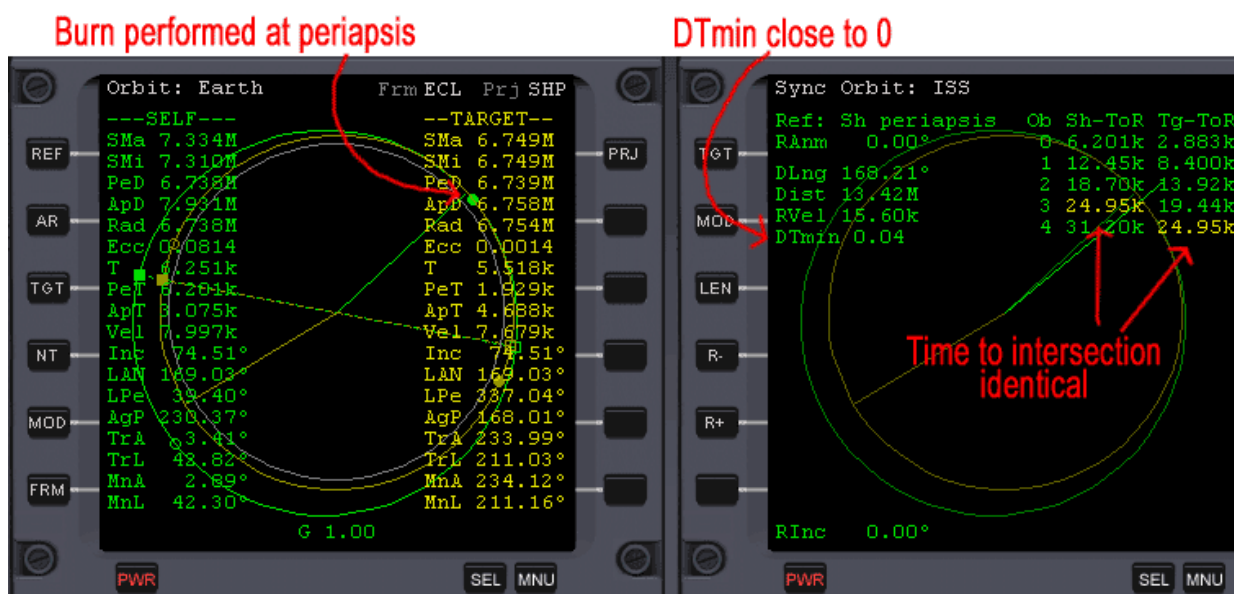
На следующем витке соответствующим образом повторите маневр. Используйте Orbit MFD, параметры PeT (или ApT) для точного определения времени включения двигателей. **Помните, вы включаете двигатель в точке встречи** для того, чтобы изменить высоту противоположной точки орбиты. Убедитесь, что используете правильный режим автопилота. Во время работы двигателя следите за изменением параметра DTmin. Он должен уменьшаться. **Выключите двигатель, когда DTmin будет близок к 0.** Такой маневр должен отнять меньше 10-20 секунд. Используйте двигатели обратной тяги, если получился "перелет" или воспользуйтесь двигателями RCS в линейном режиме (<NumPad 9> и <NumPad 6>) для более точного маневра. Вы должны получить значение параметра DTmin очень близким к 0.

Подписи на рис.:

Burn performed at periapsis - Включение двигателя выполнено в перигее

DTmin close to 0 - Параметр DTmin близок к 0

Time to intersection identical - Время достижения точки встречи одинаково



В момент, когда мой корабль проходил перигей, было выполнено прямое включение двигателей для поднятия апогея орбиты. Теперь величина DTmin очень мала и времена достижения точки встречи для моего корабля и МКС одинаковы.

Убедитесь в том, что вы включаете двигатель в непосредственной близости от точки встречи (перигей или апогей). Если время работы двигателя будет велико и вы окажетесь далеко от точки встречи, то сама точка начнет сдвигаться по орбите. Если вам не удалось снизить DTmin до нуля в течение 20-30 секунд, выключите двигатель и дождитесь следующего витка на орбите и повторите маневр. Если вы опускаете перигей вашей орбиты, следите за показаниями Orbit MFD, чтобы держать перигей не ниже 6,550 км. Если появится сообщение **No Intersection**, вам придется СЛЕГКА опустить или поднять точку встречи до тех пор, пока сообщение не исчезнет.

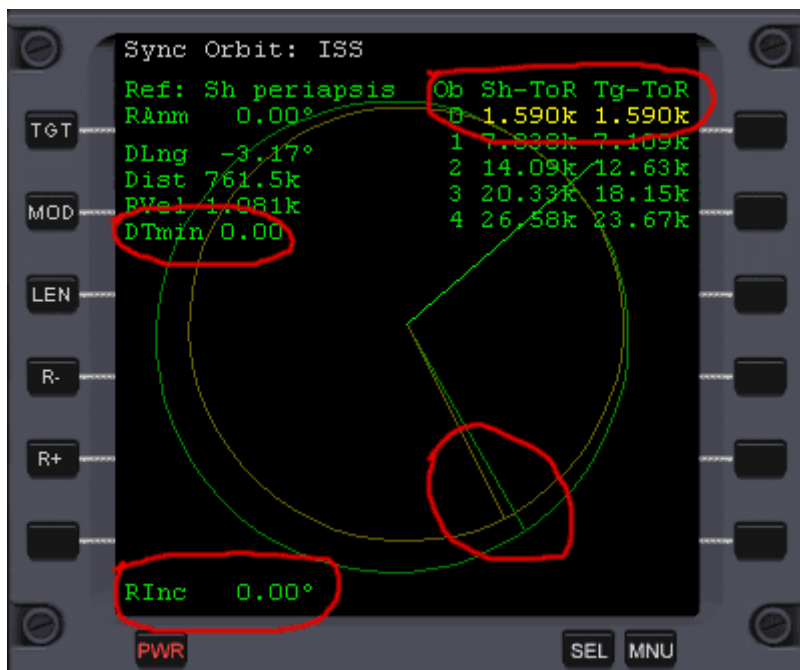
Суть в том, что вы должны сделать вашу орбиту достаточно отличной от орбиты МКС с тем, чтобы вы догнали МКС (или она догнала вас) в точно определенный момент времени на одном из следующих витков. Неудивительно, что NASA нанимает столь умных людей!

**Найдите желтое число в столбце Sh-ToR и определите, на каком витке вы перехватите МКС в точке встречи.** Это может случиться через несколько витков. В моем случае (как показано выше) это произойдет на 3-м витке (для МКС это - 4-й виток, потому что МКС движется быстрее). Если встреча должна произойти на текущем витке, можете полюбоваться на пейзаж в иллюминаторе несколько минут и начинайте готовиться непосредственно к стыковке.

Если до встречи осталось несколько витков, вы можете последовательно улучшать параметр DTmin (приближая его к 0) на каждом витке, используя двигатели RCS в линейном режиме (простое мгновенное включение их дает хороший эффект). Вы можете видеть, как с приближением момента встречи ваш радиус-вектор (зеленая линия) становится все ближе к радиус-вектору МКС (желтая линия). То же самое можно наблюдать на Orbit MFD и Map MFD.

Следите за тем, чтобы любые включения двигателей были только в момент прохождения точки встречи и только в режимах автопилота prograde или retrograde. Если относительное наклонение RInc слегка меняется, вы можете подправить его при помощи верхних и нижних двигателей RCS, работающих в линейном режиме (клавиши <NumPad 8> и <NumPad 2>). После этого придется еще раз корректировать DTmin. Чем ближе DTmin и RInc к нулю, тем ближе вы окажетесь к МКС в момент прохождения точки встречи.

Когда начнется последний виток (желтые цифры в колонке Sh-ToR будут в верхней строке), прекращайте маневры и готовьтесь к стыковке.



За несколько витков я добился того, чтобы DTmin и RInc стали равны 0. Я приближаюсь к точке встречи на текущем витке и МКС уже близко. Сейчас МКС ниже и слегка позади меня. Когда я достигну точки встречи на моем перигее, МКС будет всего в нескольких километрах от меня. Настало время стыковки!

## Стыковка

### Подготовка

Сейчас вы на заключительном витке и быстро приближаетесь к точке раандеву с МКС. Нужно многое сделать, прежде чем вы будет готовы к стыковке, так что вы можете воспользоваться паузой (нажмите <Shift + P>). Если вы пропустили встречу с МКС - не беда, просто повторите синхронизацию орбит.

**Включите автопилот в режиме Prograde.**



Откройте Orbit MFD справа (<Right Shift + O>) и следите за зеленым и желтым радиус-векторами для того, чтобы **определить местонахождение МКС - впереди и выше вас или сзади и ниже вас**. Это поможет вам сориентироваться как именно подойти к станции для совершения стыковки.

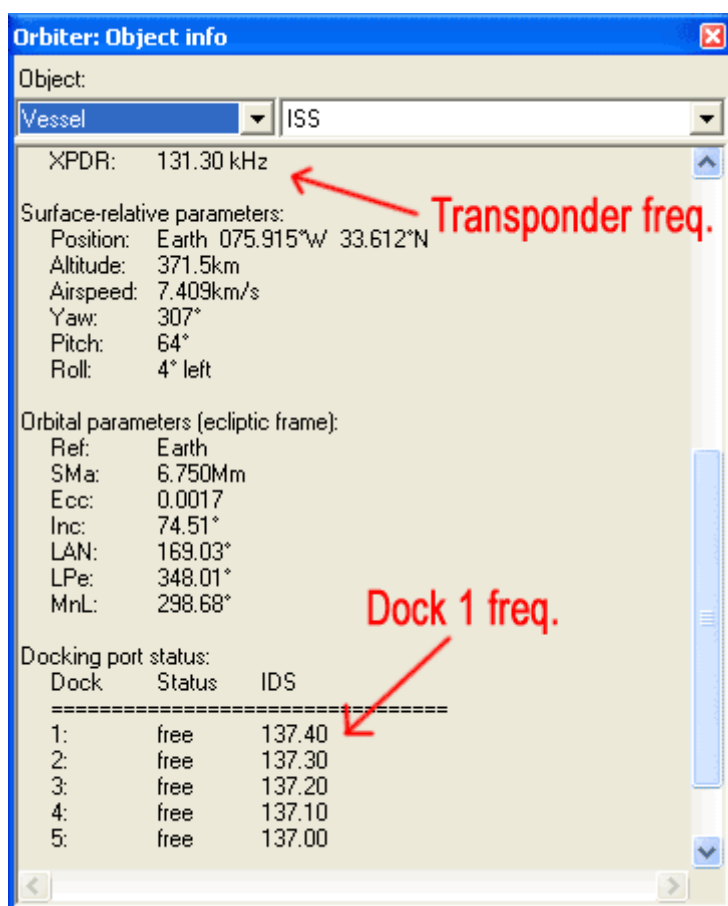
Космические станции в Orbiter'e передают информацию о себе в различных радио-диапазонах. МКС имеет так называемый транспондер. Транспондер - это такой передатчик, который просто транслирует некоторый сигнал, позволяющий определить местоположение передатчика. Таким образом, при помощи транспондера МКС непрерывно сообщает о своем местоположении. Мы настроимся на транспондер МКС и это поможет подойти к станции ближе. МКС также транслирует информацию о каждом своем стыковочном узле. Когда мы окажемся достаточно близко, мы настроимся на частоту одного из стыковочных узлов и это поможет совершить стыковку.

**Чтобы найти необходимые частоты, воспользуйтесь информационной системой Orbiter'a. Нажмите клавишу <F4>, нажмите кнопку "Object Info". Теперь выберите тип объекта "Vessel" и сам объект - "ISS". XPDR - это и есть частота транспондера. Должно быть 131.30 кГц. Ниже можно найти частоту стыковочного узла 1. Это - 137.4. Немного практики - и вы сможете выбрать стыковочный узел, подход к которому наиболее прост. Мы будем иметь в виду стыковочный узел номер 1.**

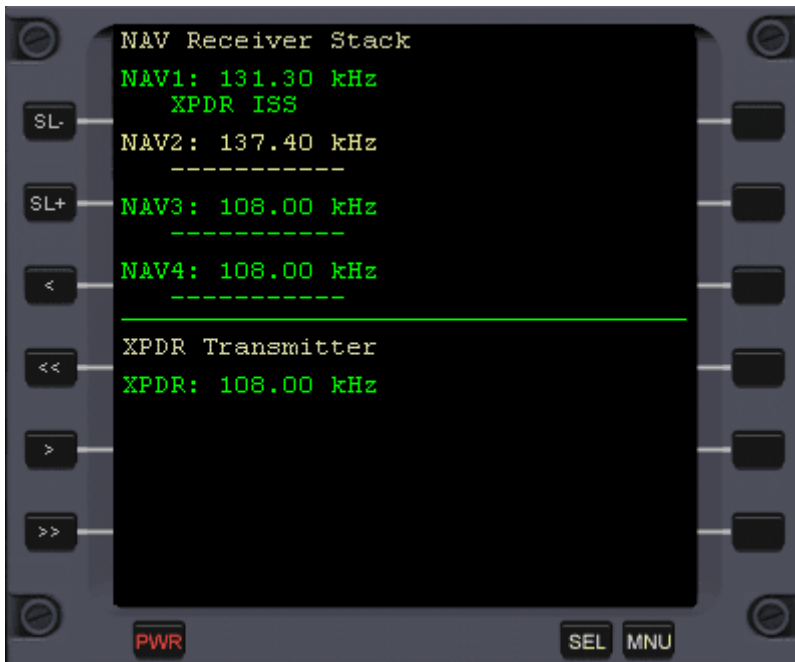
Подписи на рис.:

Transponder freq. - Частота транспондера

Dock 1 freq. - Частота стыковочного узла номер 1



**Настройте приемник на эти частоты, используя COM/NAV MFD (откройте его слева, нажав <Left Shift + C>). Используйте кнопки SL- и SL+ для того, чтобы выбрать приемник (их несколько). Для того, чтобы менять старшие разряды частоты, нажимайте кнопки << и >>, для того, чтобы менять младшие разряды, нажимайте кнопки < и >. Настройте приемник NAV1 на частоту 131.3 (транспондер МКС), а приемник NAV2 - на частоту 137.4 (стыковочный узел номер 1).**

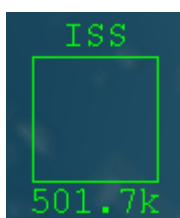


Включите HUD (Head Up Display, такая стекляшка перед лицом пилота, на которую проецируется различная важная информация) в режим Docking (стыковка) нажимая клавишу <H> пока в левом верхнем углу экрана не появится надпись "Dock". Docking HUD будет показывать информацию, полученную на основе получаемых от МКС радиосигналов. Сейчас он должен быть настроен на приемник NAV1. Изменить радио-настройку HUD можно, нажимая клавиши <Ctrl + R>. Это даст последовательный перебор всех приемников корабля. Итак, настройте HUD на приемник NAV1.

Продолжим наш последний виток, наблюдая за показаниями Docking HUD и Sync Orbit MFD. По мере сближения с МКС вы начнете получать от нее радиосигналы. Docking HUD активизируется и начнет давать два вида жизненно важной информации. Первое - это направление и дистанция до МКС. Это - индикатор "ISS" и цифры рядом с ним. Цифры - это дистанция до станции. Если МКС не попадает в поле зрения, направление на нее указывается стрелкой-треугольником.



Если МКС попала в поле зрения, направление на нее будет показано квадратной рамкой. Станцию нужно искать в центре этой рамки.



На этом снимке видно, что МКС еще в 501.7 км, поэтому ее пока невозможно разглядеть внутри рамки.

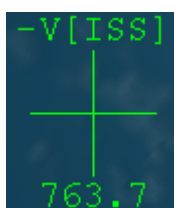
Вторая часть информации - направление и величина нашей скорости относительно МКС. Эта информация дается индикатором "V[ISS]", цифры рядом с индикатором - относительная скорость в м/с. Положительное число означает сближение, отрицательное - удаление.



Стрелка-треугольник показывает направление на индикатор вектора относительной скорости, если этот индикатор не попадает в поле зрения. Если индикатор относительной скорости попадает в поле зрения, его вид зависит от знака скорости.



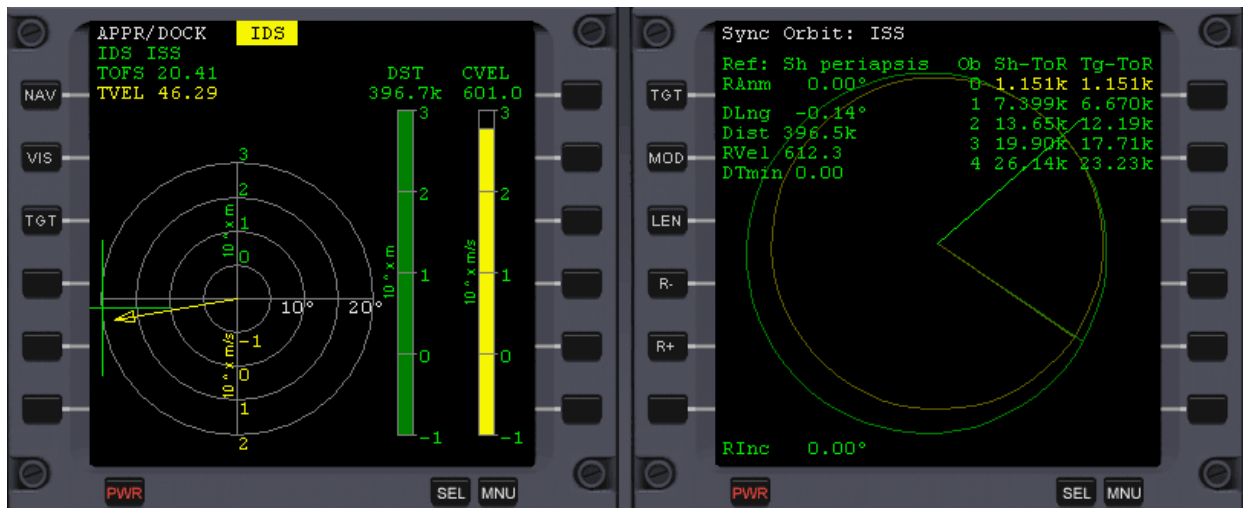
Такой вид индикатора (крест в кружке) означает, что что мы видим направление, ОТКУДА мы движемся (со скоростью 699.3 м/с относительно станции). Другими словами, если развернуться так, чтобы индикатор совпал с направлением "вперед" и дать тягу главными двигателями, то скорость станет уменьшаться. Когда она станет равной 0, это будет означать, что наш корабль "встал" относительно станции.



Если развернуться на 180 градусов, увидим "противоположный конец" вектора относительной скорости - индикатор в виде креста, направление, КУДА мы движемся (в примере на рис. - со скоростью 763.7 м/с относительно станции). Если развернуться так, чтобы этот индикатор совпал с направлением "вперед" и включить главные двигатели, скорость будет расти. Для сближения с МКС нам понадобятся оба индикатора.

**Откройте Docking MFD на левой панели (нажмите <Left Shift + D>). Теперь нажмите <Left Shift + T> и введите "ISS 1", для того, чтобы настроить МФД на первый стыковочный узел МКС.**

Параметры DST и CVEL показывают расстояние до выбранного стыковочного узла и скорость относительно станции. Сейчас эти числа должны быть очень близки к тем, что показывает HUD.



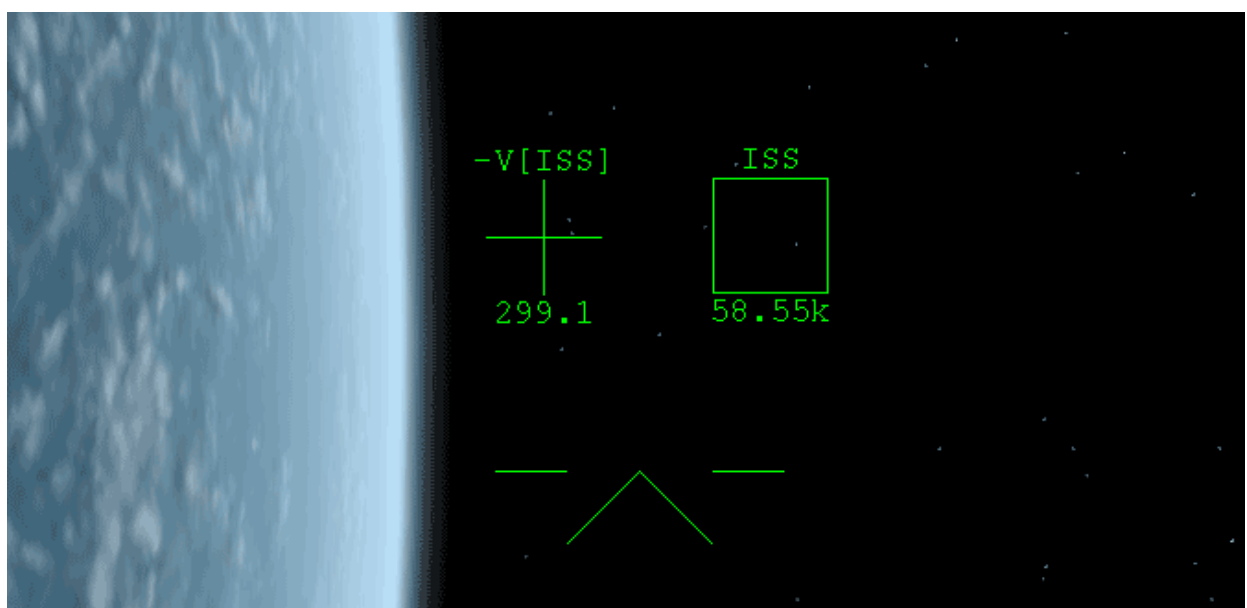
На рис. выше вы можете видеть, что мой корабль находится в 396.7 км от МКС и моя скорость относительно МКС 601 м/с. На панель справа Sync Orbit MFD показывает, что я быстро приближаюсь к точке встречи (перигей моей орбиты). Радиус-векторы моего корабля и станции почти совпадают.

Продолжим следить за этими двумя приборами. Если все идет правильно, то в момент достижения точки встречи расстояние до МКС и относительная скорость будут минимальны.

**Выключите автопилот и переключите двигатели RCS в режим вращения (rotational mode, нажмите <NumPad />) и разверните корабль в сторону МКС.** Поворачивайте в сторону стрелки, показывающей направление на МКС, пока она не превратится в квадратную рамку. Нажмите кнопку "Kill Rotation" на панели автопилота (или нажмите клавишу <NumPad 5>) для того, чтобы остановить вращение корабля. Добейтесь того, чтобы нос корабля "смотрел" в сторону МКС. Для этого проще всего использовать попеременно вращение с операцией "Kill Rotation". По мере приближения к точке встречи МКС появится в рамке и будет увеличиваться в размерах. Наслаждайтесь видом!

## Сближение с МКС

С приближением точки встречи внимательно следите за дистанцией и относительной скоростью по HUD или Docking MFD.



На этом рис. МКС находится в 58.55 км. Мой корабль движется в сторону станции с относительной скоростью 299.1 м/с. Кажется, встреча будет очень тесной.



На данном этапе нужно сблизиться со станцией насколько это возможно и уравнивать скорости, то есть добиться нулевой относительной скорости. **На расстоянии около 100 км быстро развернитесь в сторону, противоположную относительному движению. Иначе говоря, развернитесь так, чтобы носовой индикатор HUD (-^-) показывал точно на обратный индикатор скорости (крест в кружке).**

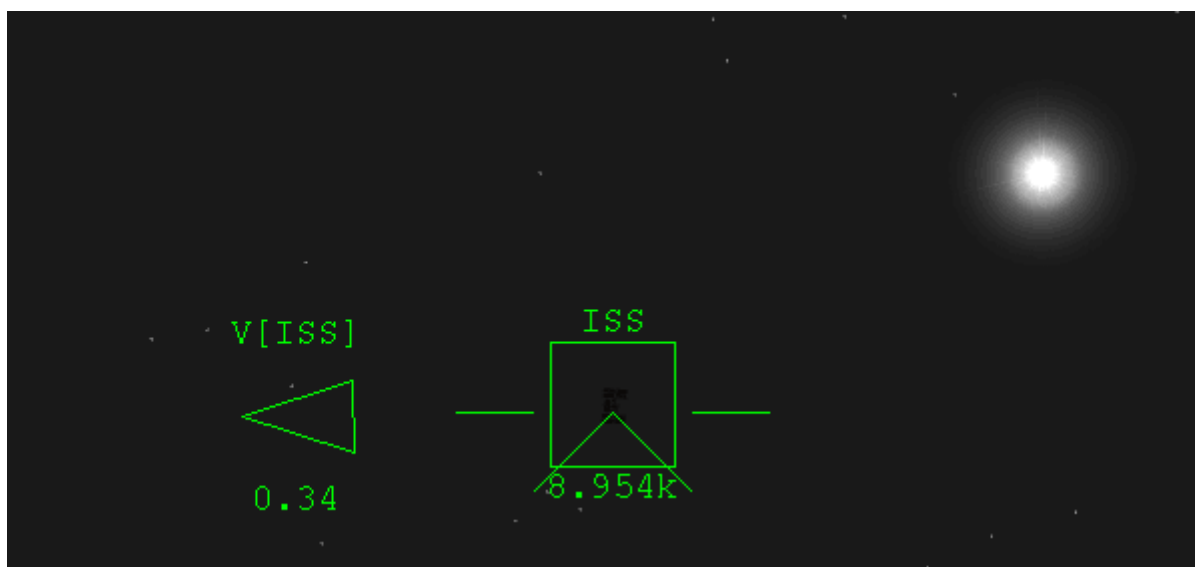


На снимке выше я развернул нос корабля точно на обратный индикатор скорости. Относительная скорость 306 м/с. МКС всего в 7.1 км! Моя точность во время выравнивания и синхронизации орбит себя оправдала.

Следите за индикатором дистанции. Когда дистанция начнет расти, это значит, что мы только что прошли точку встречи (момент наибольшего сближения) и улетаем от МКС. **Включите главные двигатели и погасите относительную скорость до 0.** В зависимости от величины скорости понадобится до 60 секунд работы двигателя. По мере приближения нулевого значения скорости индикатор скорости будет становиться все более чувствительным (начнет "убегать" за край экрана). Старайтесь все время держать нос направленным на индикатор скорости. Не обязательно добиваться четкого нуля, приведите скорость к 1-2 м/с и выключите двигатели. Теперь вы движетесь по орбите вместе с МКС в непосредственной близости от нее. Впоследствии вы сможете добиться и более близкого подхода к МКС, правильно выбирая момент включения двигателя.

Вы теперь находитесь чуть в стороне от МКС. Это может быть близко или далеко, но в любом случае намного ближе, чем когда мы начали наше путешествие!

**Направьте нос корабля прямо на МКС.** Вам следует нацелиться так, чтобы носовой индикатор HUD пришелся точно по центру рамки МКС. Пользуйтесь двигателями RCS в сочетании с операцией "Kill rotation".



На снимке выше я развернул мой корабль в сторону МКС. Я проскочил мимо точки наибольшего сближения и теперь станция в 8.9 км от меня - тоже довольно близко. Относительная скорость 0.34 м/с. Счастье, что в Orbiter'e Солнце не настолько яркое, как в реальном мире!

Вы можете заметить, что относительная скорость со временем увеличивается. Это - следствие того, что мы и станция движемся по несколько разным орбитам. Чем ближе мы к МКС, тем меньше будет замечен этот эффект.

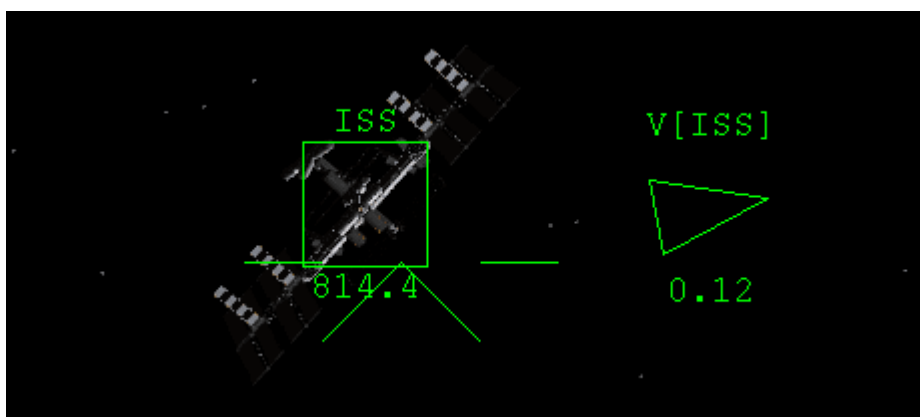
Теперь нам надо сократить дистанцию до МКС. **Держа нос направленным на станцию, включите главные двигатели.** Длительность включения зависит от дистанции. Если вы в 10 км, хватит одной секунды, если - в нескольких десятках километров, потребуется несколько секунд. Помните, что вам нужно приблизиться к МКС без промахов и столкновений.

**После того, как двигатель выключен, быстро выровняйте нос корабля по индикатору скорости.** Скоро потребуются вновь включить двигатели для того, чтобы погасить скорость. Как и раньше, внимательно следите за индикатором расстояния. Как только расстояние начнет расти или окажется около 1 км, **дайте тягу, обратную вектору скорости и погасите относительную скорость.** Если вы будете следить за скоростью изменения дистанции, то сможете включить двигатель заранее, добиваясь наибольшей эффективности торможения, без "перелетов".

**Повторите процедуру столько раз, сколько нужно для того, чтобы достичь расстояния в 1 км.** Может потребоваться несколько попыток. Будьте терпеливы. NASA обычно дает 2-3 дня на сближение "Шаттла" с МКС, а мы все сделали за несколько минут. Чем ближе вы к станции, тем более коротки включения двигателей. Старайтесь каждый раз полностью гасить относительную скорость. Пробуйте использовать двигатели RCS, реверсные двигатели (retro thrusters). Использование реверсных двигателей более удобно вблизи станции, т.к. позволяет не делать разворотов на 180 градусов. Только имейте в виду, что реверсные двигатели намного слабее главных.

Такое пошаговое сближение не самое эффективное в смысле расхода топлива, но хорошо работает с теми инструментами, которые мы имеем. Вообще-то существует Approach MFD, разработанный отдельно и по умолчанию не входящий в комплект Orbiter'a. Этот прибор позволяет произвести сближение за одно включение двигателя, но такое сближение отнимает **ОЧЕНЬ МНОГО** времени. Используемая нами процедура более быстра, хотя и менее реалистична. Суть в том, что корабль, направляясь к станции со временем отклоняется в сторону. Это происходит из-за накапливающихся различий в орбитах корабля и станции. Вообще говоря, на орбите невозможно лететь в точности туда, куда "смотрит" нос корабля (если только на вашем корабле не стоит какая-то **ОЧЕНЬ** мощная двигательная установка). По мере сближения со станцией ваши маневры будут все более эффективны, потому, что орбиты корабля и станции будут отличаться все меньше.

**Добившись дистанции около 1 км погасите относительную скорость.** Ближе километра начнется "пиканье" системы предупреждения о сближении. Звуки повторяются тем чаще, чем ближе вы к станции.



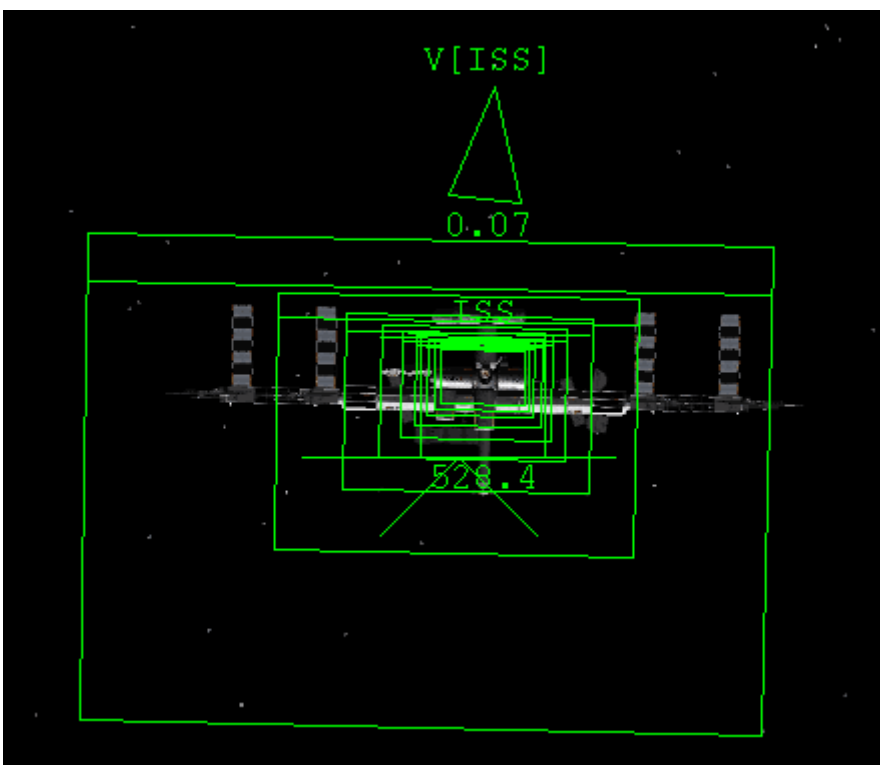
*До МКС меньше километра. Относительная скорость очень мала (0.12 м/с).*

**Перенастройте HUD на приемник NAV2 (он у нас настроен на стыковочный узел номер 1), используя <Ctrl + R>.** Если МКС в пределах поля зрения, вы увидите череду прямоугольных рамок - маркеров подхода (approach markers). Эти маркеры образуют визуальный коридор, ведущий к выбранному стыковочному узлу. Они помогают сделать грубое выравнивание корабля по отношению к стыковочному узлу.



Мне повезло, что выбранный стыковочный узел оказался развернут прямо в мою сторону. Могло быть и по другому.

**Разверните нос корабля в сторону самого дальнего от станции маркера.** Мы собираемся поместить корабль в пределы коридора подхода и уже там разворачивать его так, как нужно для стыковки. **Продолжайте процесс набора/сброса относительной скорости до тех пор, пока не окажетесь внутри коридора.** Тяга на эти маневры требуется совсем небольшая. Возможно, более удобным покажется вид на корабль снаружи. Индикатор скорости  $-V[ISS]$  покажет направление, в котором движется корабль. Постарайтесь не врезаться в станцию (хотя в Orbiter'e ничего страшного и не произойдет). **Оказавшись в пределах (или близко) коридора подхода, снова погасите относительную скорость.** Постарайтесь привести скорость как можно ближе к нулю.



Теперь я нахожусь внутри коридора подхода. До МКС 528 метров. Относительная скорость очень мала (0.07 м/с).

**Разверните нос корабля строго в сторону станции.** Наша цель - стыковочный узел станции. **Погасите вращение корабля, используя процедуру "Kill rotation" (нажмите <NumPad 5>).**

**Снова настройте HUD на приемник NAV1 (нажимайте <Ctrl + R> пока слева сверху не появится "NAV1").** Это выключит изображение коридора подхода, которое на данном этапе напрасно загромождает экран.

**Включите RCS в линейный режим (<Numpad />).** Сейчас, когда мы очень близки к станции, опасно включать главные двигатели, так что мы будем использовать двигатели RCS для совершения оставшихся малых маневров.

**Теперь газуйте вперед (<Numpad 6>) прямо в сторону станции.** Если вы двигаетесь правильно, вы должны видеть индикатор скорости -V (крест) около станции. Используйте двигатели направления - <Numpad 8> (вверх), <Numpad 2> (вниз), <Numpad 1> (влево) и <Numpad 3> (вправо) - для того, чтобы спозиционировать индикатор скорости -V непосредственно над стыковочным узлом. Держите скорость сближения 2-3 м/с. Если потребуется затормозить или остановиться, воспользуйтесь реверсом RCS (<Numpad 9>). Медленно приближайтесь к станции, держа индикатор -V над стыковочным узлом. Я называю это "следуй за крестом". Если начнется дрейф в каком-нибудь направлении, используйте двигатели направления таким образом, чтобы поместить индикатор скорости -V со стороны станции, противоположной дрейфу. Например, если вы дрейфуете вверх, маневрируйте так, чтобы крест -V оказался ниже станции, это будет означать, что вы смещаетесь вниз. Старайтесь держать индикатор скорости -V в центре стыковочного узла.

**В 100 метрах от станции воспользуйтесь RCS-реверсом для того, чтобы привести скорость к 0 как можно точнее.** Не пугайтесь, если индикатор скорости убежит за пределы поля зрения - это означает, что скорость очень мала. Можете использовать двигатели направления RCS, если нужно. Мы собираемся начать завершающие маневры стыковки, так что нужно обязательно находиться в пределах коридора подхода.

## **Процедура стыковки**

Мы, должно быть, пролетели миллионы километров и вот оказались рядом с целью на расстоянии броска камня (интересно думать об этом, находясь в космосе). Итак, последняя задача - успешная стыковка.

**Остановите вращение корабля, используя процедуру "Kill rotation".**

**Откройте носовой конус корабля (нажмите клавишу <K>).**

**Настройте Docking MFD на приемник NAV2 нажатием на кнопку NAV в левой части прибора.** Docking MFD теперь показывает информацию о нашей позиции и ориентации относительно стыковочного узла.



Как и раньше, дистанция и относительная скорость показаны в правой части прибора. Для ориентации используется фигура в виде этакой большой мишени. На мишени есть три элемента, которые нужно определенным образом сориентировать для того, чтобы стыковка была успешной.

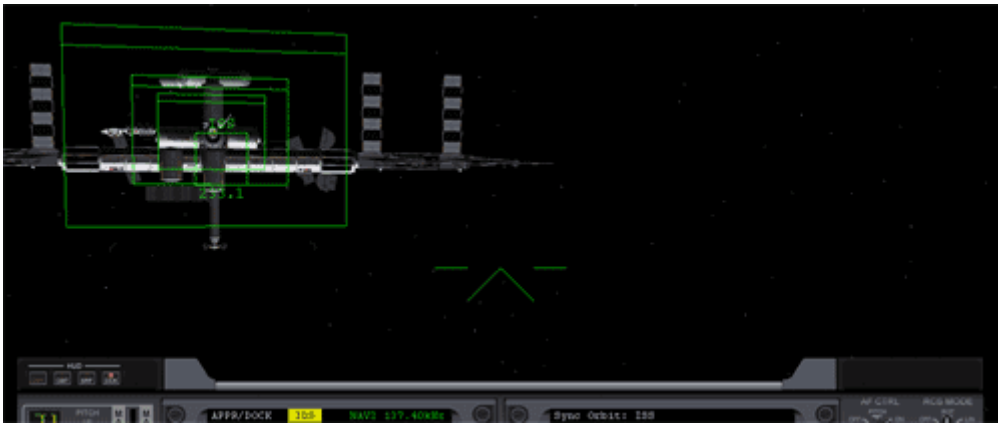
Во-первых, нужно так развернуть корабль, чтобы плоскости стыковочных узлов корабля и станции стали параллельны. Продольная ось корабля должна быть перпендикулярна плоскости стыковочного узла. Если корабль будет повернут так, что оси стыковочных узлов не будут параллельны, стыковки не будет.

Во-вторых, наш стыковочный узел должен быть повернут определенным образом по отношению к стыковочному узлу станции. Речь идет о том, что стыковочный узел имеет "верх" и "низ" и эти направления должны совпадать. *Строго говоря, в Orbiter'e это необязательно, но для реалистичности мы будем придерживаться этого правила.*

В-третьих, наш корабль должен двигаться в точности так, чтобы оси стыковочных узлов совпали. Если мы влетим в окно МКС, держа правильную ориентацию, это никого не осчастливит. Мы должны двигаться по правильному пути.

**Короче говоря, для правильной стыковки нужно, чтобы мы были:**

- **Правильно выровнены продольно (плоскости стыковочных узлов должны быть параллельны).**
- **Правильно выровнены по крену (стыковочные узлы должны быть одинаково ориентированы в направлении "верх-низ").**
- **Правильно выровнены на пути подхода (наш корабль должен войти центром своего стыковочного узла точно в то же место, где находится центр стыковочного узла станции).**



Здесь показано, как выглядит подход корабля, который не выровнен продольно. Хотя корабль идет по правильному пути, его нос не направлен непосредственно на стыковочный узел. МКС приближается под углом. Для успешной стыковки продольная ось корабля должна быть направлена на стыковочный узел станции (другими словами, плоскости стыковочных узлов должны быть параллельны).



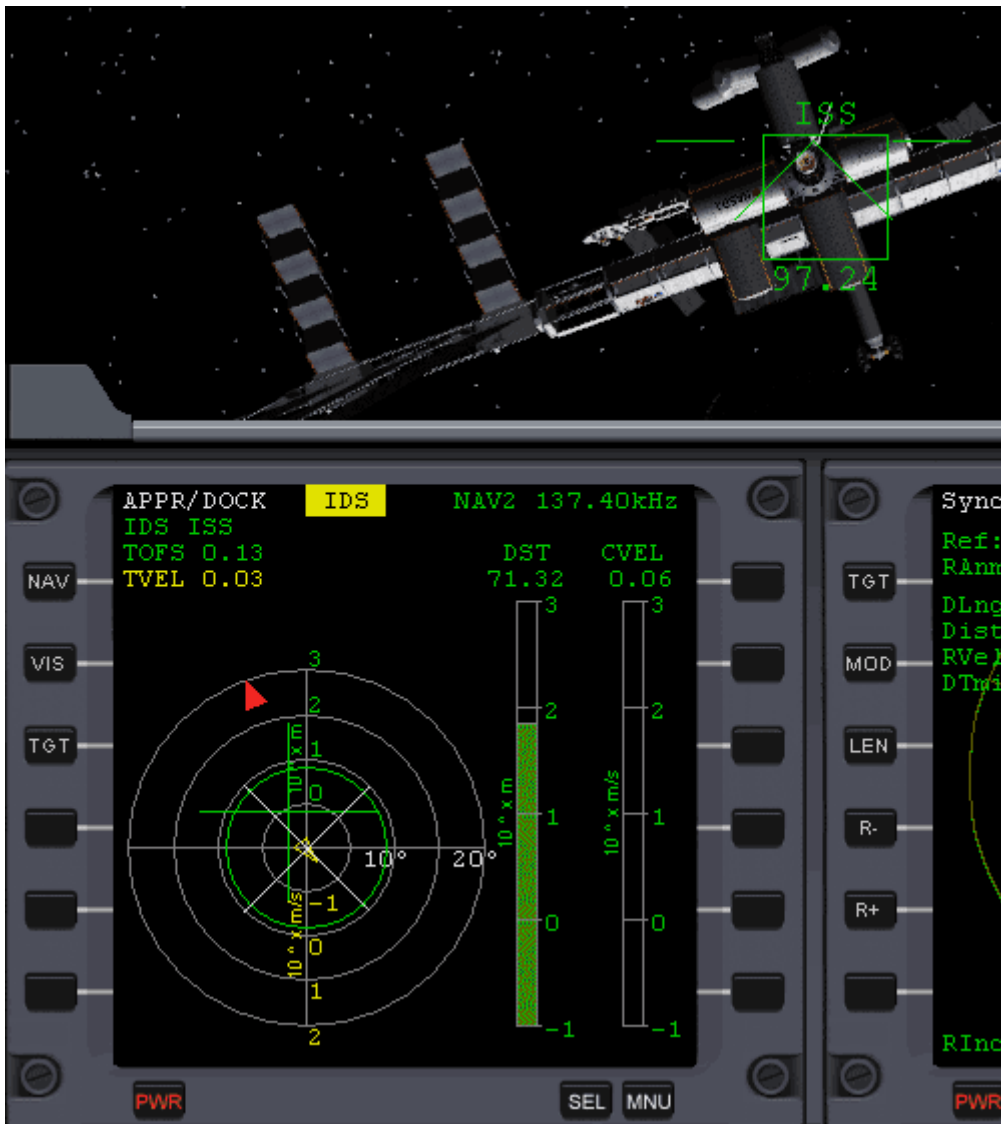
Так выглядит сближение в случае, когда корабль не выровнен продольно и не находится на правильном пути сближения. Единственное, что правильно здесь - нос корабля нацелен на стыковочный узел станции. Для успешной стыковки также необходимо выполнить продольное выравнивание.

## Продольное выравнивание

Красный (или, возможно, белый) "икс" показывает продольное выравнивание. Когда "икс" отцентрирован прямо по мишени, значит выравнивание выполнено (его цвет меняется на белый). Продольное выравнивание - первое, что мы сделаем.

**Переключите RCS в режим вращения (нажмите <Numpad />).**

**Разверните корабль так, чтобы "икс" пришелся точно в центр мишени на Docking MFD.** Если "икса" нет на мишени, значит корабль развернут далеко в сторону от стыковочного узла станции. Разверните корабль носом в сторону МКС - "икс" должен появиться. Если "икс" находится правее центра мишени, разверните нос корабля правее, если "икс" выше центра мишени - разверните нос корабля вверх. Вы должны ТОЧНО выровнять "икс" по центру мишени. Когда "икс" находится вблизи центра мишени, он становится более чувствительным к маневрам, а его цвет меняется с красного на белый. Воспользуйтесь функцией "Kill rotation" (клавиша <Numpad 5>), чтобы погасить вращение корабля и, соответственно, остановить дрейф "икса".



"Икс" выровнен точно в центр мишени. Теперь мой корабль выровнен продольно, но повернут примерно на 20 градусов от правильного положения по крену, это видно по положению красной стрелки в верхней части мишени.

После завершения продольного выравнивания не включайте те двигатели, которые могут его нарушить.

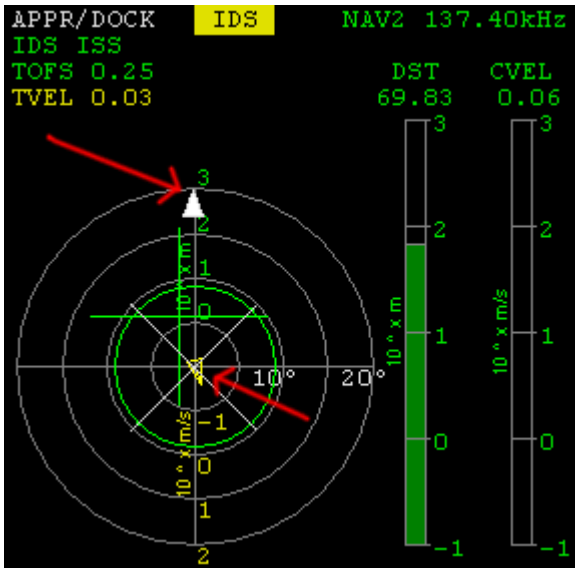
## Выравнивание по крену

Теперь давайте сориентируем наш корабль по крену (так, чтобы "верх" нашего стыковочного узла совпал с "верхом" узла станции). Docking MFD показывает специальный маркер выравнивания по крену - красный треугольник, "бегающий" по внешнему кольцу мишени. Правильная позиция маркера - вверху мишени. Кстати, рамки HUD, показывающие коридор подхода, тоже могут служить для ориентации по крену - "верх" на них обозначен двойной линией.

**Используйте двигатели вращения RCS (клавиши <Numpad 6> и <Numpad 4>) для того, чтобы привести маркер-треугольник в верхнюю часть мишени Docking MFD (в позицию 12-ти часов). В этой позиции треугольник поменяет цвет с красного на белый. Воспользуйтесь функцией "Kill rotation", чтобы погасить вращение корабля (клавиша <Numpad 5>). Будьте очень осторожны - не нарушите продольное выравнивание корабля.**

### Стыковка с вращающимися станциями

Если корабль, с которым нужно состыковаться, вращается вокруг стыковочного узла (например, станция "Lunar Wheel"), вам придется использовать двигатели RCS в режиме вращения для того, чтобы добиться синхронного вращения по углу крена. Это потребует некоторого терпения и опыта, поскольку вы не сможете пользоваться функцией "Kill rotation". Убедитесь, что маркер выравнивания по крену не сдвигается значительно по меньшей мере в течение минуты. Для того, чтобы стыковаться с вращающейся станцией, необходимо, чтобы стыковочный узел вашего корабля находился точно на продольной оси вращения. Для Delta Glider'a или Space Shuttle это не так, но подойдут такие корабли, как Shuttle A и Dragonfly. На самом деле выравнивание по крену игнорируется в Orbiter'e, так что вы можете просто не выполнять его.



Индикатор продольного выравнивания отцентрирован, индикатор выравнивания по крену - тоже.

### Выравнивание траектории сближения

Теперь наш корабль ориентирован для правильной стыковки. Начиная с этого момента все маневры будут выполняться только в линейном режиме (никаких вращений). Если все было сделано правильно, корабль полностью выровнен.

Зеленый индикатор в виде "плюса" показывает положение нашего корабля относительно пути подхода (относительно оси стыковочного узла станции). **Переключите двигатели RCS в линейный режим (нажмите клавишу <Numpad />).**

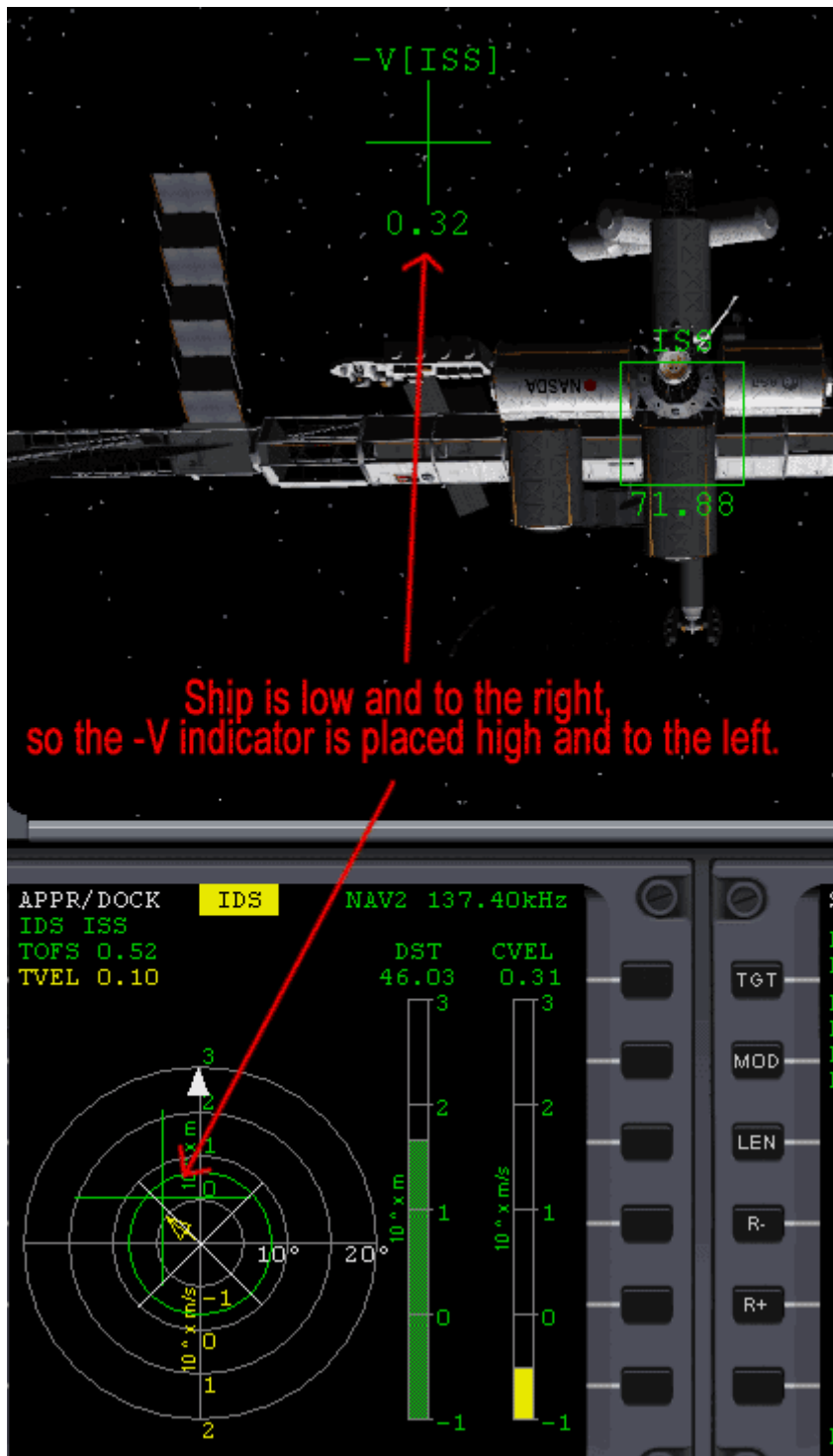
Подработайте вперед/назад (клавиши <Numpad 6> и <Numpad 9>) так, чтобы скорость сближения была между 0.3 и 0.5 м/с.

Используйте боковые двигатели RCS - <Numpad 8> (вверх), <Numpad 2> (вниз), <Numpad 1> (влево) и <Numpad 3> (вправо) - для того, чтобы выровнять маркер-"плюс" по центру мишени Docking MFD. Как и раньше, индикатор скорости -V должен быть вблизи от стыковочного узла МКС. Маркер-"плюс" показывает отклонение нашего корабля от пути подхода (фактически, это отклонение оси нашего стыковочного узла от оси стыковочного узла станции). Если "плюс" выше и левее центра мишени (как на картинке выше), это значит, что ваш корабль находится ниже и правее пути подхода. Если вы, работая боковыми двигателями RCS "подведете" индикатор скорости -V в такую же позицию относительно стыковочного узла станции, в какой находится маркер-"плюс" относительно центра мишени, это позволит выправить траекторию сближения. Маркер-"плюс" начнет сдвигаться к центру мишени.



Подпись на рис.:

Ship is low and to the right, so the -V indicator is placed high and to the left. - Корабль ниже и правее, так что индикатор скорости -V находится выше и левее.



Как только "плюс" окажется в центре, подработайте двигателями RCS так, чтобы индикатор скорости -V оказался поближе к стыковочному узлу станции. Когда вы уберете все дрейфы, а "плюс" будет в центре мишени, индикатор скорости -V должен быть в центре экрана и немного выше стыковочного узла (выше, потому что стыковочный узел на Delta Glider'e находится не на оси корабля, а чуть ниже ее). Теперь вы готовы к стыковке. Возможно потребуются слегка поработать двигателями RCS, чтобы держать индикатор "плюс" в центре мишени Docking MFD. Теперь следите за скоростью, подходить нужно очень медленно. Если вы движетесь быстрее 0.5 м/с, стыковки не произойдет (вы пролетите станцию насквозь).

Следите за указателем расстояния до стыковочного узла. Если ваш корабль не выровнен правильно на расстоянии нескольких метров, следует дать задний ход или сильно снизить скорость сближения (клавиша <Numrad 9>) с тем, чтобы заново выровнять корабль и повторить попытку. Ключ к успеху - терпение. Потребуется некоторая тренировка для того, чтобы научиться удерживать крест в нужном положении. Используйте цифровой индикатор скорости -V (рядом с крестом).

(Возможно, для более точного маневрирования удобнее будет использовать сочетания клавиш <Ctrl + кнопка двигателя RCS>, что дает в 10 раз меньший импульс, прим. переводчика).



Мой корабль находится на траектории сближения и выровнен продольно и по крену относительно стыковочного узла. Относительная скорость меньше 0.5 м/с, а индикатор скорости -V проецируется прямо над стыковочным узлом. Я полностью готов к идеальной стыковке.

Есть простой способ проверить, что все идет правильно. Во-первых, на мишени Docking MFD не должно быть элементов красного цвета. Красный цвет - сигнал, что что-то идет не так! Во-вторых, оба креста ("икс" и "плюс") должны быть все время внутри постепенно сужающегося зеленого круга, который, кстати, наглядно показывает расстояние до стыковочного узла станции (по логарифмической шкале). В непосредственной близости от станции круг сменит цвет на белый. Прим. переводчика).

Сохраняйте ориентацию и продолжайте медленное сближение до тех пор, пока не произойдет стыковка. Поздравляю, вы завершили свое великое путешествие и прошли обучение до конца!



Если у вас есть рекомендации, замечания или пожелания о данном руководстве, пожалуйста [присылайте их мне](#).

Спасибо, Jared "Smitty" Smith

P.S. - В настоящее время я работаю над руководством по межпланетным перелетам. Это руководство включает в себя детальное описание операций по отлету от Земли, межпланетным полетам, включая выход на стабильные орбиты, а также пертурбационные маневры с выходом на траекторию полета к другим планетам с использованием MFD TransX. Вы можете также прочитать о моем [туре по Солнечной Системе](#).