

Модуль "Прикладная космонавтика"

Т2.1. Виды орбит

Габзетдинов Р.И.
Университетская гимназия

Если в этой, или других методичках и материалах вы найдете ошибку или опечатку, просьба написать об этом t.me/Samnfuter vk.com/gabzetdinoff crispuscrew71@gmail.com crispuscrew@outlook.com.

Орбиты могут классифицироваться по ряду параметров, таких как: *различные кеплеровские элементы орбит, синхронизация или несинхронизация с вращением центрального тела или родительского для центрального, по своим функциям.*

Примечание: в дальнейшем орбиты будут называться как *околоземные* или *гео...*, для других тел это заменяется на *около(название тела)*, а приставки заменяются для:

Центральное тело	Приставка	Апоцентр	Перицентр
Земля	Гео	апогей	перигей
Луна	Селено	апоселений	переселений
Солнце	Гелио	афелий	перигелий
Марс	Арео	апоарий	периарий
Венера	Геспер	апогесперий	перигесперий
Юпитер	Ови (Jove)	апоиовий	периовий
Сатурн	Кроно	апокроний	перикроний

1 Классификации по кеплеровским элементам орбит.

1.1 Классификация по большой полуоси / высоте орбиты

Примечание: в данном случае под *высотой* будет подразумеваться *типичное значение минимального расстояния до поверхности Земли или иного центрального тела для орбиты такого типа, близкой к круговой.*

Низкая (околоземная) орбита / Low (Earth) orbit - НОО/LEO

Высота для землеподобных планет $\approx 0 - 2000$ км

Самая распространенная и самая низкоэнергетическая из всех. Часто используется для дальнейшего перехода на более высокоэнергетические орбиты, в этом случае называется **опорной**. Характерна **малым периодом** (для планет земной группы в пределах нескольких часов) (для Земли от ≈ 87 до ≈ 128 минут) и **непродолжительным временем свободного пребывания аппарата на ней** из-за большого сопротивления воздуха на малых высотах.

Для Земли характерна появлением **внутренних поясов Ван-Аллена (радиационные пояса)** на различных высотах порядка **500 км** в зависимости от местоположения. Эти пояса представляют собой магнитную ловушку для частиц космического излучения, в т.ч. высокоэнергетических. Их влияние может вызывать лучевые болезни у экипажа, ускорять деградацию солнечных и иных панелей, а так же выбивать транзисторы в микросхемах, тем самым нарушая их работу.

Средняя (околоземная) / Средневысокая орбита / Medium (Earth) orbit - СОС/МЕО

Высота для земледобных планет $\approx 2000 - \text{GEO} (36000) \text{ км}$

Такие орбиты чаще всего используются **системами навигации** (например ГЛОНАСС, NAVSTAR и т.д.). Промежуточная между низкой околоземной и геосинхронной (см. ниже). Здесь и дальше простираются вышеописанные **пояса Ван-Аллена (радиационные)**, но меньшей интенсивности, чем на LEO.

Геосинхронная орбита / Geosynchronous orbit - ГСО/GSO

Орбита, на которой период обращения спутника **равен периоду обращения Земли, или иного центрального тела вокруг своей оси**. Высота для Земли - **35 786 км** (или *42 164 км от центра Земли*). Используется для систем **связи, навигации, теле и радио вещания**.

Частным случаем является **геостационарная орбита / geostationary equatorial orbit - ГСС/GEO**. Отличительной особенностью является **нулевое наклонение и эксцентриситет**, что обеспечивает почти бесконечное существование над одной и той же территорией, что позволяет для связи не использовать поворотные механизмы. Идеальная ГСС почти недостижима, поэтому в реальности спутники на геостационаре описывают "восьмерки" вокруг поверхности которую обслуживают. Так же, множество факторов, таких как неоднородность и неидеальность формы Земли, различные воздействия Луны и Солнца и т.д., пытаются "сместить" спутник с орбиты, что вызывает потребность в регулярных маневрах для поддержания искомой орбиты.

Еще одним частным случаем является **орбита "Тундра"**, которая обладает *эксцентриситетом от 0.25 до 0.4, наклонением $\approx 63^\circ$* , и как следствие, является высокоэллиптической орбитой, о которых будет подробнее описано далее. При характеристиках она способна длительное время находиться над одной территорией, являясь менее затратной чем *геостационарная орбита*.

Высокая (околоземная) орбита / High (Earth) orbit - ВОС/НЕО

Высота для земледобных планет $\approx \text{GEO} (36000) - \infty \text{ км}$

Редкоиспользуемые орбиты, обычно используются как *переходные*, и как следствие, обычно **высокоэллиптические**, т.е. имеющие большой *эксцентриситет*.

1.2 Классификация по *эксцентриситету*

$e < 0.005$ - круговые/circular орбиты

Такие орбиты используются как финальные почти для всего - орбитальных станций, спутников ДЗЗ (дистанционное зондирование Земли), спутников связи и навигации и т.д.

За исключением НОО более затратны, чем *эллиптические орбиты* с такой же большой полуосью.

$0 < e < 1$ - эллиптические/elliptical орбиты

Т.к. идеальной круговой орбиты в природе существовать не может, то все тела движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится центральное тело или барицентр системы центральных тел.

$0.005 < e < 0.2$ - слабоэллиптические орбиты

Крайне схожи с круговыми орбитами, используются, когда точная круговая орбита не принципиальна.

$0.2 < e < 1$ - сильноэллиптические орбиты / высокоэллиптические орбиты - ВЭО/ВЭС

При таких орбитах высота в перигее намного меньше, чем высота в апогее, и как следствие, около апогея спутник движется с очень малой угловой скоростью относительно поверхности Земли, при этом ВЭО намного экономичнее в плане вывода спутников, чем ГСО. Как следствие такие орбиты используются как **более экономичные версии орбит для спутников связи и навигации**.

Частным примером такой орбиты является **орбита "Молния"**. Она была названа в честь советских спутников, впервые на нее вышедших. Такая орбита имеет *аргумент перигея* - 280° , *наклонение* $\approx 63^\circ$, *высоту перигея* ≈ 500 км, а *высоту апогея* $\approx 40\,000$ км..

$e = 1$ - параболическая/parabolic орбита

В перигентре такой орбиты аппарат имеет *2 космическую скорость на данной высоте*. Как следствие такие орбиты чаще всего используются для дальнейшего перехода на орбиту тела *родительского к центральному*, например с НОО (низкой околоземной орбиты) на солнечную.

$1 < e$ - гиперболические/hyperbolic орбиты

В перигентрах таких орбит скорость аппарата *превышает 2 космическую скорость на*

данной высоте. Она, как и *параболическая*, используется для дальнейшего путешествия за пределы гравитационного колодца текущего центрального тела.

1.3 Классификация по наклонению

- **Экваториальная / Equatorial**, $\varphi = 0^\circ$. Наиболее экономная из возможных.
- **Наклонная / Inclined**, $\varphi < 60^\circ$. Произвольная орбита в этом диапазоне наклонений.
- **Околополярная / Nearpolar / High inclination**, $60^\circ < \varphi < 90^\circ$. Орбита, близкая к полярной. Используется для ДЗЗ и связи в северных широтах.
- **Полярная / Polar**, $\varphi = 90^\circ$. Используется для картографирования *всей* поверхности планеты.

1.4 Классификация по синхронизации

В зависимости от направления вращения центрального тела к направлению обращения спутника различают 2 вида орбит: **прямые / prograde / direct** - если движение сонаправленное, и **ретроградные / retrograde** - если движение противонаправленное. Последние редко используются, т.к. более затратные для вывода с поверхности центрального тела.

Как уже упоминалось, если период обращения спутника совпадает с периодом обращения планеты, то она называется **синхронной / synchronous**.

Также отдельно выделяются орбиты синхронные с вращением центрального тела.

Частным случаем является **Солнечно-синхронная орбита / Гелиосинхронная** (не совсем корректно) / **Sun-synchronous orbit - CCO / SSO**. Обращаясь по такой орбите, спутник пролетает над поверхностью в *одно и то же местное солнечное время*. Таких орбит множество, и их наклонение для Земли можно приблизительно вычислить по формуле:

$$\cos(i) \approx -\left(\frac{a}{12352km}\right)^{\frac{7}{2}} \quad \begin{array}{l} a - \text{большая полуось} \\ i - \text{наклонение} \end{array}$$

1.5 Орбиты особого назначения

Во время выхода на последующие, более высокоэнергетические орбиты, для уменьшения *гравитационных потерь* (см. методичку 7.2.), КА сначала выводят на так называемую **Низкую опорную орбиту / Parking orbit - НОО** (не путать с *низкой околоземной*

орбитой, имеющей такую же аббревиатуру). Орбиту можно считать опорной, если срок баллистического существования КА на ней превышает время одного витка, т.е. если аппарат может совершить один виток не войдя в плотные слои атмосферы. Типичный вид такой орбиты - круговая высотой порядка 150-250 км.

Для перехода к другим телам и траекториям аппарат движется по так называемым **переходным орбитам / transfer orbits**, частным примером которых являются **низкозатратные переходные траектории / Low-energy transfer - НПТ**. Такие орбиты позволяют тратить меньше *характеристической скорости* для трансфера к другому телу или для перехода на другую орбиту, чем простые орбитальные маневры, такие как например *гомановская траектория*. Недостатком НПТ чаще всего является сильно возрастающее время самого трансфера и повышенные требования к точности исполнения маневров.

Заканчивая свое активное существование, спутник становится опасным для других космических аппаратов. Поэтому необходимо перед этим уводить его с активной орбиты на так называемые **орбиты захоронения / graveyard orbit / junk orbit / disposal orbit**. Типичными примерами являются *орбиты захоронения ГСС* - обычно круговые орбиты, высота которых превышает ГСС минимум на 235 км, и *орбиты захоронения спутников с ядерной энергетической установкой*, т.к. последние используются на *НОО* то их орбиты захоронения находятся на высоте порядка 650 - 1000 км, срок существования на них порядка тысяч лет, что достаточно для распада самых активных изотопов на спутнике.