

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени К.И. САТПАЕВА

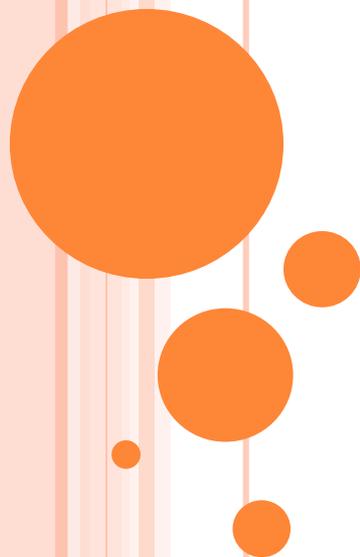
Маркшейдерское дело и геодезия
(кафедра)

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СЪЁМКИ

(ДИСЦИПЛИНА)

Лекция № 2
ТИПЫ ОРБИТ ИСЗ

к.т.н., доцент Рысбеков К.Б.



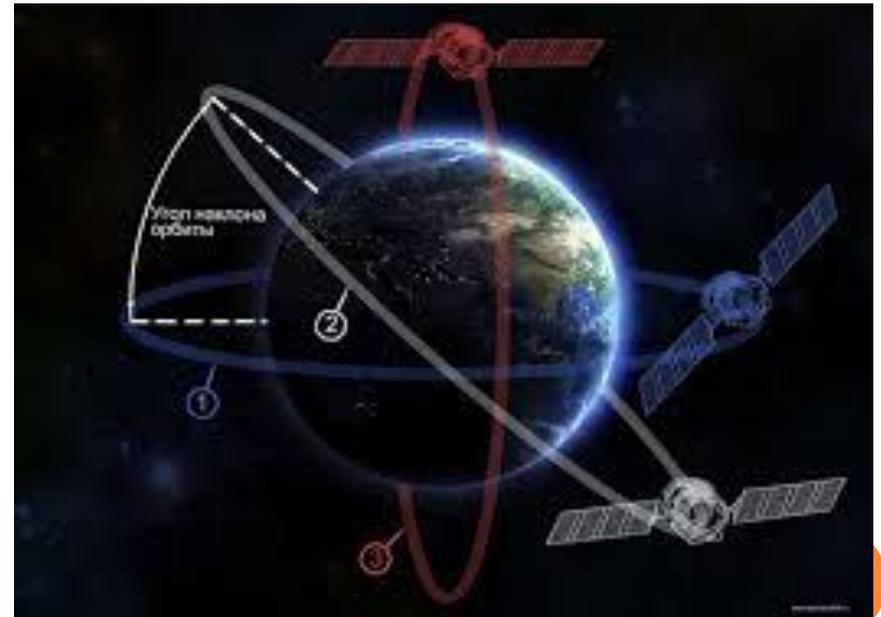
○ План лекции:

- Общие сведения.
- Типы орбит. Классификация орбит ИСЗ.
- Скорость движения КЛА по орбите.



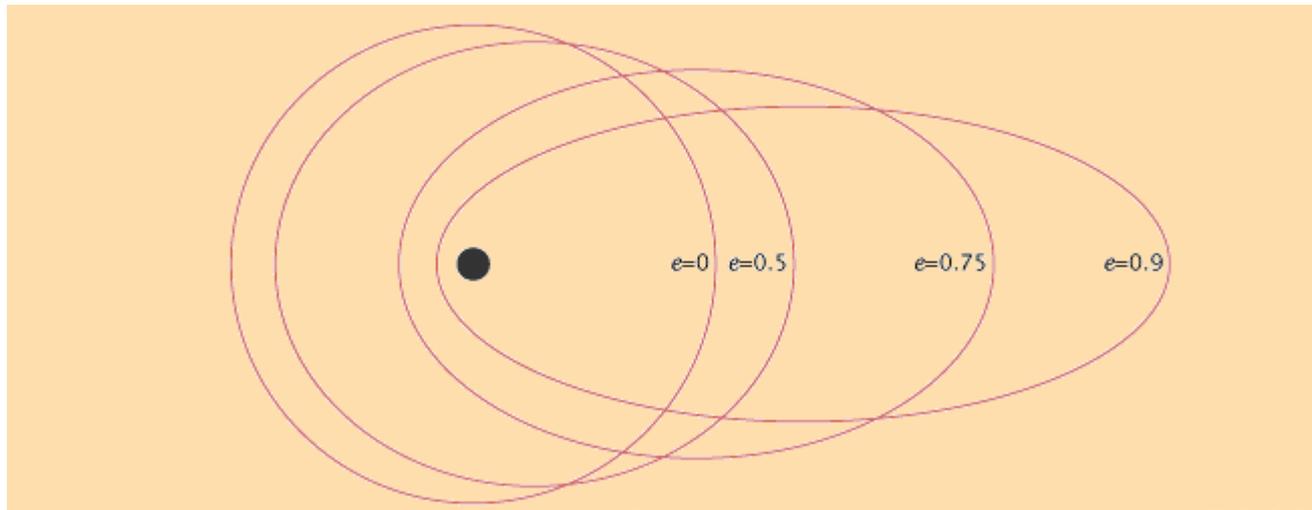
Общие сведения

Орбита — траектория движения материальной точки в наперёд заданной системе пространственных координат для заданной в этих координатах конфигурации поля сил, которые на неё действуют. Термин был введён Иоганном Кеплером в книге «Новая астрономия»(1609).



Классификации орбит ИСЗ

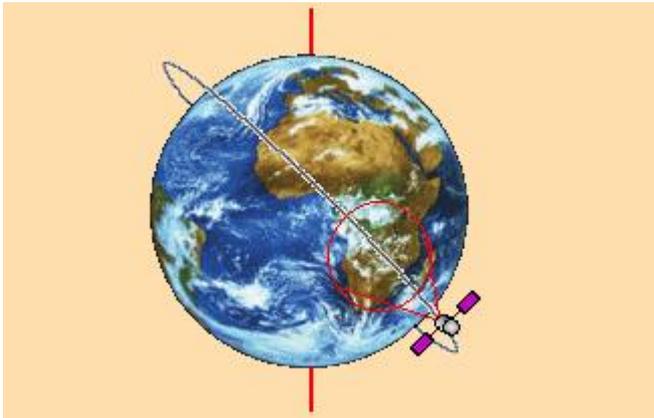
Все ИСЗ движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Земля. Следовательно, все типы орбит - эллиптические. Основное деление орбит производят по величине наклонения " i " орбиты и по значению большой полуоси " a ". Кроме того, можно выделить деление по величине эксцентриситета " e " - малоэллиптические и высокоэллиптические орбиты. Наглядное представление об изменении вида орбиты при различных значениях эксцентриситета дано на рисунке 1.



Изменение вида эллиптической орбиты при разных значениях эксцентриситета " e "



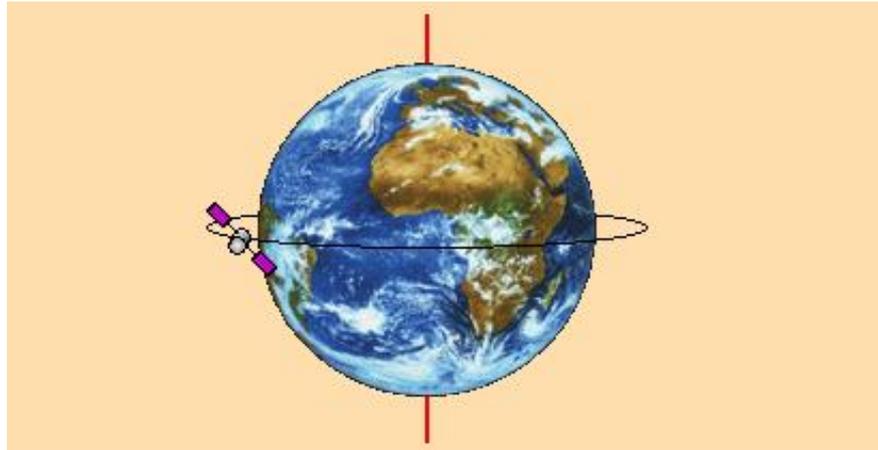
В общем случае наклонение орбита ИСЗ лежит в диапазоне $0^\circ < "i" < 90^\circ$. В зависимости от значение наклонения и высоты ИСЗ над поверхностью Земли, положение областей его видимости имеют различные границы широты, а в зависимости от высоты над поверхностью - и различный радиус этих областей. Чем больше наклонение, тем на более северных широтах может быть виден спутник, а чем он выше - тем шире область видимости. Таким образом, наклонение $"i"$ и большая полуось $"a"$ определяют перемещение по поверхности Земли полосы видимости ИСЗ и её ширину. В общем случае параметры орбиты будут эволюционировать в зависимости от наклонения $"i"$, большой полуоси $"a"$ и эксцентриситета $"e"$.



Общий случай орбиты спутника с наклонением $0^\circ < "i" < 90^\circ$



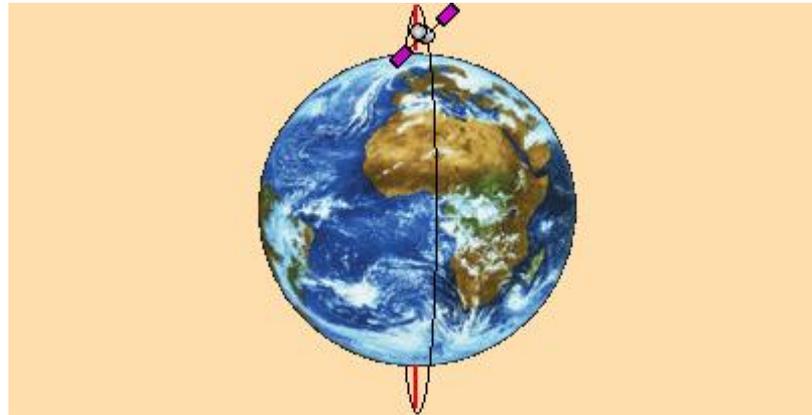
Экваториальная орбита - крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 0° . В этом случае прецессия и поворот орбиты будут максимальны - до 10° /сутки и до 20° /сутки соответственно. Ширина полосы видимости спутника, которая расположена вдоль экватора, определяется его высотой над поверхностью Земли. Орбиты с малым наклонением " i " часто называют "около экваториальными".



Экваториальная орбита



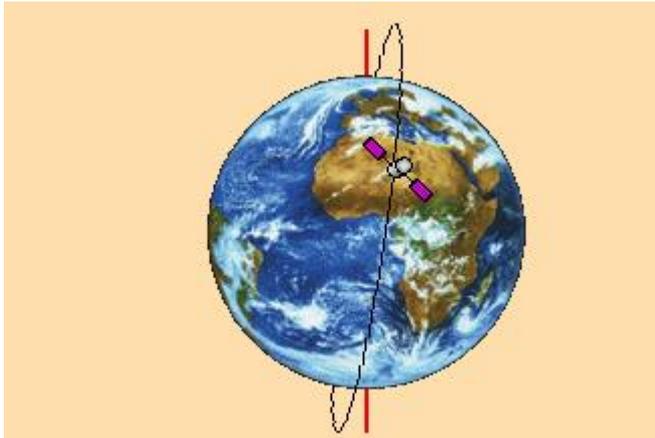
Полярная орбита - второй крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 90° . В этом случае прецессия орбиты отсутствует, а поворот орбиты происходит в сторону, обратную относительно вращения ИСЗ, и не превышает 5° /сутки. Подобный полярный ИСЗ последовательно проходит над всеми участками поверхности Земли. Ширина полосы видимости спутника определяется его высотой над поверхностью Земли, но спутник рано или поздно можно увидеть из любой точки. Орбиты с наклонением " i ", близким к 90° , называют "приполярными".



Полярная орбита



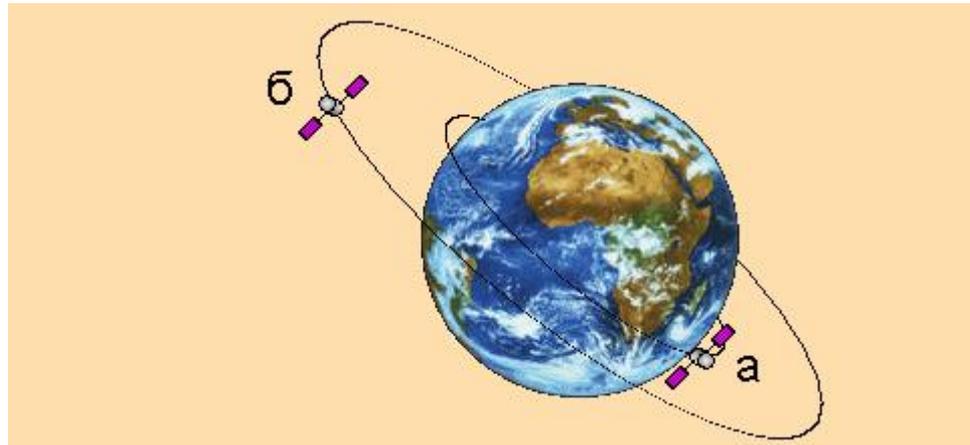
Солнечно-синхронная орбита (ССО) - особый вид орбиты, часто используемый спутникам, которые производят съёмку поверхности Земли. Представляет собой орбиту с такими параметрами, что спутник проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время. Движение такого спутника синхронизировано с движением линии терминатора по поверхности Земли - за счёт этого спутник может лететь всегда над границей освещённой и неосвещённой солнцем территории, или всегда в освещённой области, или наоборот - всегда в ночной, причём условия освещённости при пролёте над одной и той же точкой Земли всегда одинаковые.



Солнечно-синхронная орбита



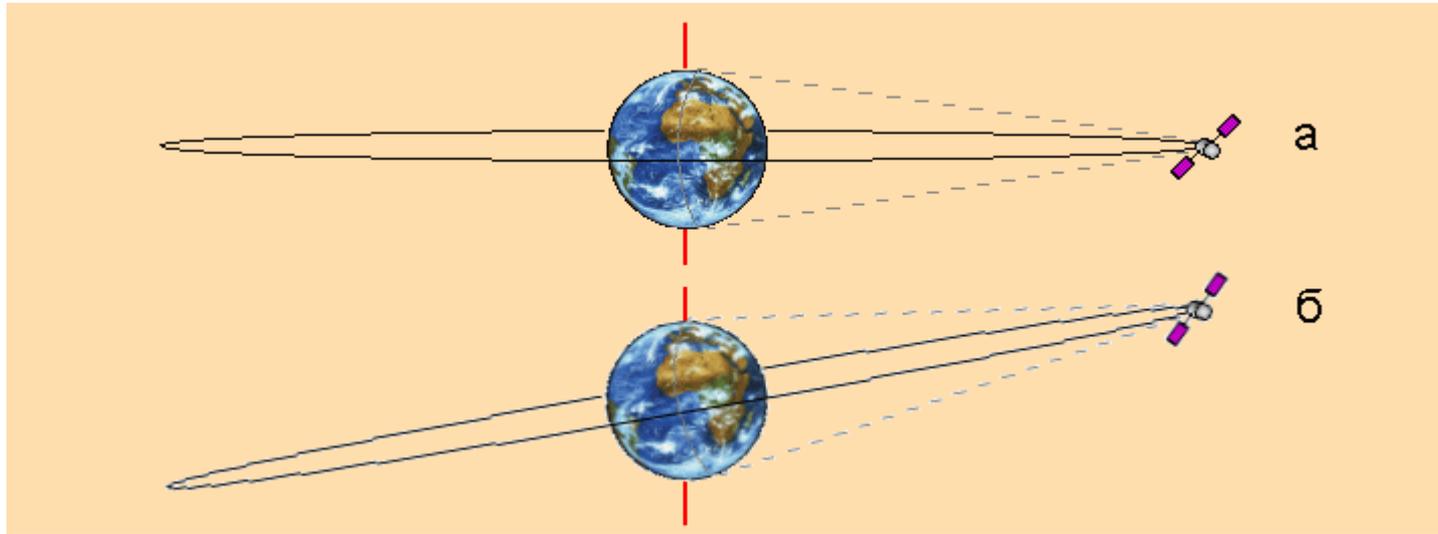
Низкоорбитальными ИСЗ обычно считаются спутники с высотами от 160 км до 2000 км над поверхностью Земли. Такие орбиты (и спутники) в англоязычной литературе называют LEO (от англ. "Low Earth Orbit"). Орбиты LEO подвержены максимальным возмущениям со стороны гравитационного поля Земли и её верхней атмосферы. Угловая скорость спутников LEO максимальна - от $0,2^\circ/\text{с}$ до $2,8^\circ/\text{с}$, периоды обращения от 87,6 минут до 127 минут.



Низкоорбитальные ИСЗ (а) и среднеорбитальные ИСЗ (б)



Геостационарные ИСЗ - от англ. "Geosynchronous Orbit") считаются спутники, имеющие период обращения вокруг Земли, равный звёздным (сидерическим) суткам - $23^{\text{ч}} 56^{\text{м}} 4,09^{\text{с}}$. Если наклонение "i" орбиты нулевое, то такие орбиты называют геостационарными (см. *рис. 9, а*). Геостационарные ИСЗ летают на высоте 35786 км над поверхностью Земли [9]. Т.к. их период обращения совпадает с периодом обращения Земли вокруг своей оси, то такие ИСЗ "висят" в небе на одном месте (см. *рис. 10*). Если наклонение "i" не равно нулю, то такие ИСЗ называются геосинхронными.



Геостационарный (а) и геосинхронный (б) ИСЗ

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ КЛА ПО ОРБИТЕ

Движение КЛА по орбите подчиняется законам небесной механики. Для описания этого движения необходимо знать шесть параметров, координаты и составляющие скорости по осям системы координат. Их получают путем интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих движение КЛА, или с помощью уравнений содержащих элементы орбиты $(i, \alpha, a, e, \omega, \nu)$. Для определения скорости движения КЛА в первом приближении пользуются теорией невозмущенного движения, которая гласит: *“Невозмущенным, или кеплеровским движением называют такое движение материальной точки, которое происходит под действием только одной центральной силы гравитационного притяжения”*.

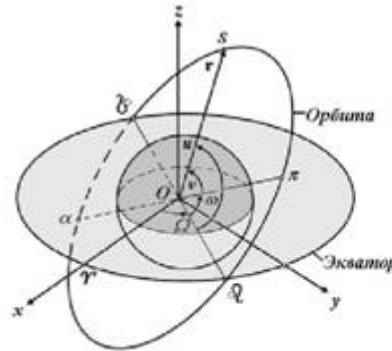


Рис. 2. Орбита в пространстве.

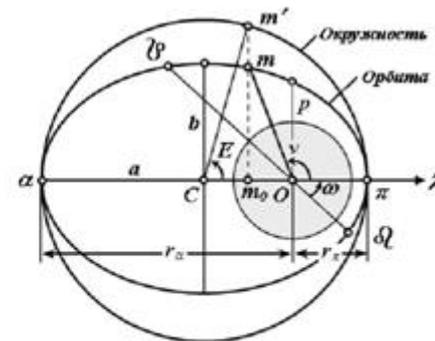


Рис.3. Орбита в плоскости орбиты.

Первый закон: "Орбита ИСЗ есть эллипс, в одном из фокусов которого находится центр масс притягивающего тела". Уравнение орбитального эллипса имеет вид:

$$r = \frac{P}{1 + e \cos \nu} .$$

Второй закон: "Радиус вектор ИСЗ за равные промежутки времени описывает равные площади, т.е. секторная скорость спутника есть величина постоянная". Формула второго закона имеет вид

$$G = \frac{ds}{dt} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \frac{d\nu}{dt} .$$

Третий закон: "Квадраты периодов обращения двух спутников относительно центра масс притягивающего тела относятся как кубы больших полуосей их орбит". Формула третьего закона имеет вид

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} .$$

Период обращения ИСЗ вокруг Земли равен

$$T = 2\pi \sqrt{a^3 / \mu} .$$

Согласно закона Ньютона, сила притяжения пропорциональна произведению масс Земли и КЛА, и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.



Фундаментальные постоянные Земли

Гравитационная постоянная: γ	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Масса: M	$5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Геоцентрическая гравитационная постоянная (гравитационный параметр): $\mu = \gamma \cdot M$	$3,987 \cdot 10^{14} \text{ м}^3 / \text{с}^2$
Радиус средний: R	6371 км
Ускорение свободного падения: g	9,807 м/с ²



Фактически на движение КЛА действуют такие возмущающие факторы, как неоднородность гравитационного поля Земли, сопротивление атмосферы, притяжение других небесных тел и т. п.

Применительно к задачам ДЗЗ ограничиваются рассмотрением метода оскулирующих элементов: считается, что в каждый момент времени КЛА находится на некоторой кеплеровской орбите, на которой он оказался, если бы в этот момент прекратилось действие возмущающих сил. *То есть фактическая орбита, на которой оказался КЛА под действием возмущающих сил называется оскулирующей, а её элементы оскулирующими.*

В небесной механике возмущения подразделяются на вековые, долго- и короткопериодические. При решении задач ДЗЗ, как правило, учитываются вековые возмущения и как исключение, некоторые периодические возмущения.



ЛИТЕРАТУРА И ССЫЛКИ НА ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

1. Агапов С.В. Фотограмметрия сканерных снимков. М.: “Картгеоцентр”- “Геодезиздат”, 1996 год.
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М: Издательство А и В, 1997 год.
3. Гонин Г.Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. М.: Недра, 1980 год.
4. Елизаренко А.С., Соломатин В.А., Якушенков Ю.Г. Оптико-электронные системы в исследовании природных ресурсов. М.; Недра, 1984 год.
5. Киенко Ю.П. Введение в космическое природоведение и картографирование. М; “Картгеоцентр-Геодезиздат”, 1994 год.
6. Кравцова В.И. Космические методы картографирования. МГУ, 1995 год.
7. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. М.; Мир, 1988 год.
8. Лаврова Н.П. Космическая фотосъемка. М.; Недра, 1983 год.
9. Новаковский Б.А. Фотограмметрия и дистанционные методы изучения Земли. М.; МГУ, 1997.
10. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. М.; “Картгеоцентр-Геодезиздат”, 1997 год.
11. Фёдоров Б.Ф. Аппаратура космического фотографирования. М.; Недра, 1985 год.
12. Фёдоров Б.Ф., Пермьяков В.Д. Космическое фотографирование. М.; Недра, 1978 год.

