

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.
А.И. ГЕРЦЕНА»

Институт компьютерных наук и технологического образования

Кафедра компьютерных наук и электронного обучения

КУРСОВАЯ РАБОТА

Вычислительный эксперимент по изучению «солнечно-синхронной орбиты»

Направление подготовки: «Информатика и вычислительная техника»

Руководитель:

Доктор педагогических наук,
профессор

_____ Власова Е. З.

«___» _____ 2018 г.

Автор работы:

Студент 1 группы 1 подгруппы

_____ Лабырин М.С.

«___» _____ 2018 г.

Санкт-Петербург

2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава 1 О солнечно-синхронных орбитах	4
1.1 Основные понятия и термины	4
1.2 Преимущества и виды солнечно-синхронных орбит	5
Глава 2 Цифровые значения орбит	9
2.1 основные формулы	9
2.2 Расчёт угловой скорости процессии различных солнечно-синхронных орбит	10
Заключение	14
Литература	15

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что солнечно-синхронная орбита обеспечивает то, что спутник проходит широтные отметки примерно в одно и то же местное солнечное время, что очень хорошо подходит как для метеоспутников, которые собирают метеорологические данные для прогноза погоды, так и для спутниковой фотосъемки, которая используется в сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, образовательных, разведывательных и военных целях.

Объектом исследования являются солнечно-синхронные орбиты.

Предмет исследования – особенности солнечно-синхронных орбит и их практическое применение.

Цель исследования состоит в изучении солнечно-синхронных орбит и их анализа.

1 О солнечно-синхронных орбитах

1.1 Основные понятия и термины

Солнечно-синхронная орбита (рисунок 1) (называемая иногда гелиосинхронной) – это геоцентрическая орбита (т.е. орбита, центром которой является Земля), которая имеет такие параметры, что объект, находящийся на ней, проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время (т.е. во время прохождения объекта над этой точкой Солнце имеет такое же положение на небе, какое имело при прошлом прохождении объектом этой точки).

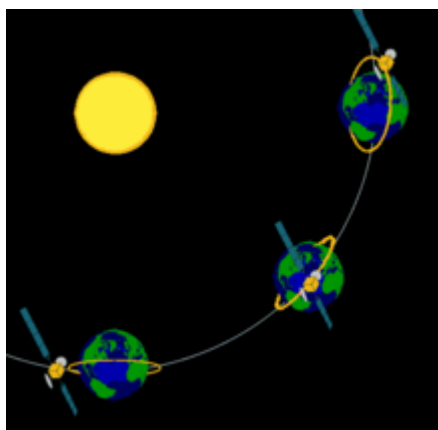


Рисунок 1 [5]

Однако всё же солнечно-синхронные орбиты имеют свои неточности и погрешности в том числе и из-за колебания продолжительности солнечных суток. Из-за того, что земная орбита имеет форму эллипса, линейная скорость движения и угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца различная и меняется в течение года. Чем ближе Земля находится к афелию (рисунок 2) (наиболее удалённой от Солнца точке орбиты небесного тела Солнечной системы), тем медленней она движется. И наоборот, чем ближе Земля находится к перигелию (рисунок 3) (ближайшей к Солнцу точке орбиты небесного тела Солнечной системы), тем быстрее она движется.

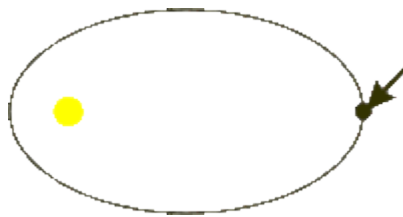


Рисунок 2 [6]

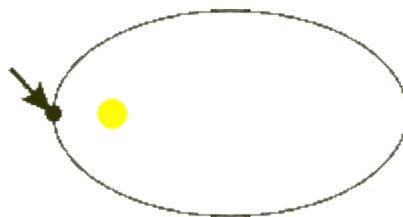


Рисунок 3 [7]

Так же наклон земной оси приводит к тому, что Солнце движется по небесной сфере вверх и вниз от экватора в течение года.

Колебание продолжительности солнечных суток приводит к тому, что истинное солнечное время колеблется относительно среднего солнечного времени.

Помимо всего этого Земля поворачивается на некоторый угол в тот промежуток времени, когда спутник полностью пролетает свою орбиту. Из-за этого спутник пересекает экватор в одно и то же местное время, но в разных точках.

1.2 Преимущества и виды солнечно синхронных орбит

В чём же преимущество солнечно-синхронных орбит? Анализ движения искусственных спутников земли (ИСЗ) обычно рассматривается как движение под действием центрального гравитационного поля Земли при возмущениях, обусловленных всеми другими внешними силами. Параметры орбиты будут оставаться неизменными только в идеальных условиях, но на деле же из-за влияния внешних сил все параметры орбиты начинают немного изменяться, что и показано на рисунке 4 на примере эллиптической орбиты одного из искусственных спутников Земли в разные моменты времени.

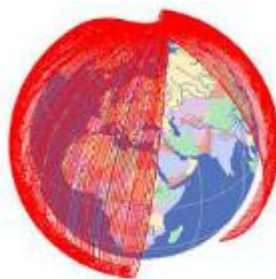


Рисунок 4 [8]

Дрейф долготы восходящего узла (одной из двух диаметрально противоположных точек небесной сферы, в которых орбита небесного тела пересекается с некоторой условной плоскостью, выступающей как система отсчёта; для отслеживания искусственных спутников Земли обычно используют экваториальную систему координат (рисунок 5)) приводит к тому, что плоскость орбиты разворачивается вокруг оси Земли.



Рисунок 5 [9]

Одной из идей использования этого дрейфа состоит в том, что если скорость такого разворота совпадёт с угловой скоростью движения Земли вокруг Солнца, то относительно Солнца положение плоскости орбиты практически не будет меняться. Такая орбита (а именно такую орбиту и называют солнечно-синхронной) даёт несколько преимуществ:

- Можно разместить солнечно-синхронную орбиту таким образом, чтобы искусственный спутник Земли, который на ней находится, вообще не попадал в тень Земли и имел постоянный доступ к Солнечному свету, что позволяет его солнечным батареям работать без отрыва от источника питания.

- Учитывая, что спутника солнечно-синхронной орбите будет проходить любой широтой в одно и то же солнечное время, можно разместить плоскость орбиты таким образом, чтобы обеспечить наблюдение нужных территорий в те интервалы времени, которые создадут благоприятную световую обстановку.

Солнечно-синхронные орбиты делятся на два вида: круговые (рисунок 6) и эллиптические (рисунок 7).



Рисунок 6 [8]



Рисунок 7 [8]

Для снижения влияния атмосферы на орбиту принято брать такие орбиты, перигелий (рисунок 3) которых не меньше 300 км. Поскольку с 2000 км. 6500 км. расположен первый радиационный пояс Земли, в который нежелательно попадание космических аппаратов, целесообразней использовать именно круговые солнечно-синхронные орбиты с эксцентриситетом (числовой характеристикой конического сечения, показывающую степень его отклонения от окружности (рисунок 8)) менее 0,08, высотой от 500 до 1500 км. и наклонением от 97.4 до 101.9 соответственно.

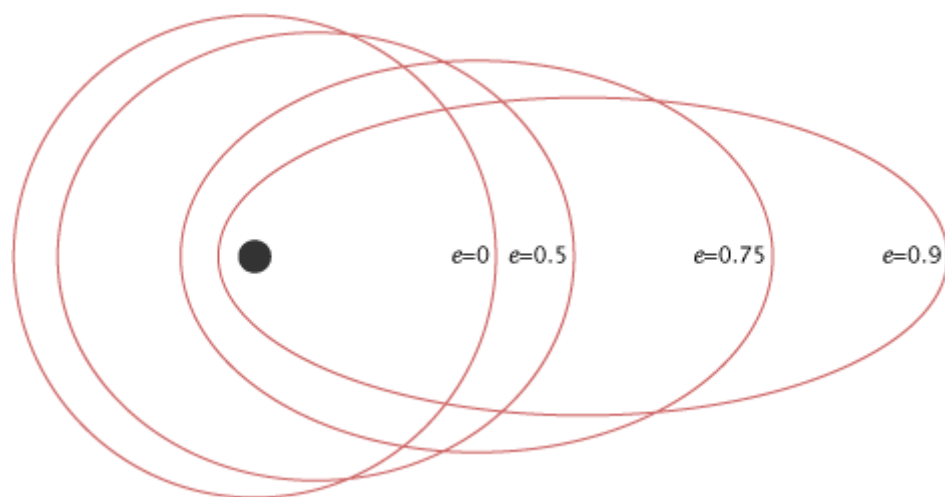


Рисунок 8 [10]

Если нужно, чтобы спутник пролетал над каким-то конкретным местом на Земле каждый день в один и тот же час, то он может совершать от 7 до 16 орбит в день, как показано в таблице 1.

ТАБЛИЦА С ПАРАМЕТРАМИ ОРБИТ, НА КОТОРЫХ СПУТНИК БУДЕТ ПРОЛЕТАТЬ НАД ОДНИМ И ТЕМ ЖЕ МЕСТОМ НА ЗЕМЛЕ КАЖДЫЙ ДЕНЬ В ОДНО И ТО ЖЕ ВРЕМЯ

Таблица 1 [1]

Орбит в день	Период обращения вокруг Земли	Высота над земной поверхностью	Максимальная широта	Наклон
16	1 час 30 минут	282 км.	83,4 °	96,6 °
15	1 час 36 минут	574 км.	82,3 °	97,7 °
14	1 час 43 минуты	901 км.	81 °	99 °
13	1 час 51 минута	1269 км.	79,3 °	100,7 °
12	2 часа	1688 км.	77 °	103 °
11	2 часа 11 минут	2169 км.	74 °	106 °
10	2 часа 24 минуты	2730 км.	69,9 °	110,1 °
9	2 часа 40 минут	3392 км.	64 °	116 °
8	3 часа	4189 км.	54,7 °	125,3 °
7	3 часа 26 минут	5172 км.	37,9 °	142,1 °

2 Цифровые значения орбит

2.1 Основные формулы

Итак, чтобы орбита стала солнечно-синхронной, нужно чтобы прецессия (явление, при котором ось вращения тела меняет своё направление в пространстве под действием момента внешней силы (рисунок 9)) орбиты компенсировала вращение Земли вокруг Солнца, т.е. она должна происходить в противоположно направлении. Хорошее приближение даёт формула (1)

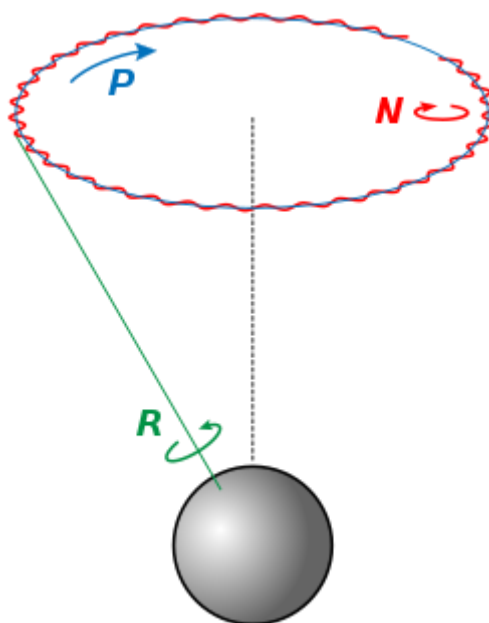


Рисунок 9 [11]

$$w_p = -\frac{3a^2}{2r^2} J_2 \cdot w \cdot \cos(i) \quad (1)$$

где w_p - угловая скорость прецессии;

a - экваториальный радиус Земли (6 378 км.);

r – радиус орбиты спутника (км.);

w - угловая частота (2π радиан, делённое на период);

i - наклонение орбиты (град.);

J_2 - второй динамический фактор формы Земли ($1,08 \cdot 10^{-3}$);

Последняя величина выражается через полярное сжатие формулой (2).

$$J_2 = \frac{2\varepsilon_E}{3} - \frac{a^3 \omega_E^2}{3GM_E} \quad (2)$$

где ε_E - полярное сжатие Земли;

ω_E - угловая скорость вращения Земли ($7,292115 \cdot 10^{-5}$ рад/с);

GM_E - произведение универсальной гравитационной постоянной и массы Земли ($3,986004418 \cdot 10^{14}$ м³/с²).

Так же с помощью формулы (3) можно рассчитать оценку углового смещения (Ω)

$$\Omega = -3\pi \cot I_2 \left(\frac{R_e}{a}\right)^2 \cdot (1 - e^2)^{-2} \cdot \cos(i) \quad (3)$$

Где I_2 - 0.00108228 – коэффициент потенциала ГПЗ

R_e - 6371 радиус Земли, км;

a – большая полуось орбиты, км;

e – эксцентриситет орбиты;

i - наклонение орбиты, град

2.2 Расчёт угловой скорости процессии различных солнечно-синхронных орбит

На основании этих двух формул попробуем рассчитать скорость дрейфа на примере спутника DMC 3-FM1, запущенного в 2015 году и который находится на солнечно-синхронной орбите с помощью формулы (3):

$$\Omega = -3 \cdot \pi \cdot 0,00108228 \cdot \left(\frac{6371}{7027,338}\right)^2 \cdot (1 - 0,001637^2)^{-2} \cdot \cos(98,0348)$$

Результат показан на рисунке 10

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	I_2	R_e	a	e	i (в градусах)			Ω
2	0,00108228	6371	7027,338	0,001637	98,0348			0,001166815
3					i (в радианах)			
4					1,710423			

Рисунок 10

Получается, что за секунду он поворачивается на 0,001166815 радиан.

Если говорить в общем виде, то период обращения спутника выбирают в соответствии с необходимым периодом повторных проходов над одной и той же точкой поверхности. Предположим, период обращения спутника 96 минут – это получается ровно 15 оборотов в сутки. Таким образом этот спутник пройдёт над пятнадцатью разными точками экватора на дневной стороне (и, соответственно, столько же с другой стороны).

Двумя особенными случаями можно выделить солнечно-синхронную орбиту, на которой спутник пересекает экватор в полдень или же в полночь и солнечно-синхронная орбита, которая лежит в плоскости терминатора, т.е. спутник всё время находится над линией светораздела, отделяющую тёмную часть Земли от освещённой (рисунок 11).



Рисунок 11 [5]

Всего на солнечно-синхронных орбитах находятся 1321 объект (рисунок 12), но только 236 из них – космические аппараты (рисунок 13) (на ноябрь 2015 года).

Получается, что в основном на солнечно-синхронных орбитах летает космический мусор, что делает его проблему ещё актуальней.



Рисунок 12 [8]

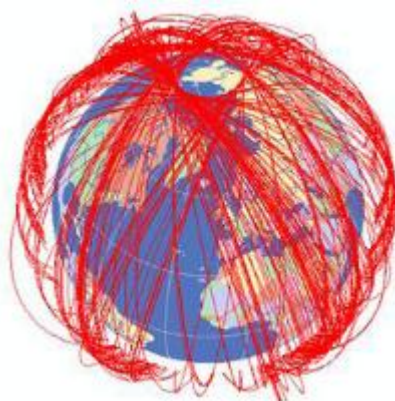


Рисунок 13 [8]

Список некоторых спутников, находящихся на солнечно-синхронных орбитах:

- GOCE
- Landsat
- БКА
- Клаудсэт
- Метеор
- Монитор

- NOAA - 16
- SOLAR-B
- Персона
- Ресурс-П



Рисунок 14 [9]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог можно сказать, что может быть несколько практических применений для солнечно-синхронных орбит:

- Панели солнечных батарей не нужно всё время переориентировать в сторону Солнца, т.к оно находится всегда в одном положении относительно спутника.
- Если аппарату нужно фотографировать какую-то одну местность, то солнечно-синхронная орбита может обеспечить постоянную хорошую освещённость при пересечении спутником этой точки поверхности.
- Солнечно-синхронная орбита, лежащая в плоскости терминатора отлично подойдёт для радарных спутников, так как обеспечивает отсутствие участков орбиты, на которых спутник попадает в тень Земли и бесперебойно получает энергию Солнца для своих солнечных батарей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерный справочник по космической технике. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. А.В. Солодова, М., Воениздат, 1977, 430 с.
2. Sung Wook Paek. A DELTA-V MAP OF USEFUL ORBITS FOR EARTH OBSERVATION MISSIONS, 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada.
3. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. Лекции и упражнения. - М.: Радио и связь, 2004. - 200 с.
4. Brian Weeden. Development of an Architecture of Sun-Synchronous Orbital Slots to Minimize Conjunctions. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, held in Wailea, Maui, Hawaii, September 17-19, 2008
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Sun-synchronous_orbit
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%84%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D0%B8%D0%B9%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D0%9F%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D0%9F%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F>
8. Электронный журнал «ИНФОСФЕРА».
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%8B
10. <http://spacegid.com/ekstsentrizitet-orbityi.html>
11. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F>