Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №48**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Межорбитальные переходы»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

На примере двух- и трехимпульсной схем выведения спутника на геостационарную орбиту рассматриваются некомпланарные межорбитальные переходы. Учащиеся знакомятся с особенностями геостационарной орбиты и задачи вывода на нее.

Несмотря на то, что последний импульс в трехимпульсной схеме выведения – тормозящий, эта схема энергетически более выгодна, чем двухимпульсная. Но у этой схемы есть дополнительная проблема: траектория выведения пересекает орбиту захоронения.

Во время урока предусмотрено использование различных приемов обучения, современных ТСО, наглядности, презентации Microsoft Power Point.

***ТЕМА УРОКА***: Межорбитальные переходы.

***ЦЕЛИ УРОКА:***

* Рассмотреть особенности некомпланарного межорбитального перехода.
* Рассмотреть двух- и трехимпульсную схему вывода на геостационарную орбиту.
* Рассмотреть особенности геостационарной орбиты.

***НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ***: презентация.

***ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА***: компьютер, проектор, экран.

***ВИД УРОКА***: урок «открытия» нового знания.

***ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ УРОКА:*** 45 минут.

***ХОД УРОКА***:

1. *ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МОМЕНТ* (5 минут)

Учитель приветствует учащихся.

Учитель побуждает к предположениям о предстоящей теме урока, задавая наводящие вопросы о некомпланарных межорбитальных переходах. Ожидаемые ответы:

* изменение плоскости орбиты требует значительных энергетических затрат;
* изменение плоскости выгоднее совершать в апогее орбиты.

Учащиеся определяют тему и цели урока, а также личностное отношение к предлагаемой теме.

1. *ПОВТОРЕНИЕ ПРОЙДЕННОГО МАТЕРИАЛА* (5 минут)

Учитель проводит устный опрос учащихся по домашнему заданию:

1. В чем преимущества и недостатки Гомановской траектории?
2. Почему не используется активный вывод на высокие орбиты?
3. Какие орбиты называют компланарными?
4. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

Сегодня завершаем изучение межорбитальных переходов. Нам осталось рассмотреть переходы, связанные с изменением плоскости орбиты. Мы уже говорили, что минимально возможное наклонение орбиты (угол между ее плоскостью и плоскостью экватора) равно широте места старта. При этом непосредственно в плоскости экватора расположена так называемая «геостационарная орбита».

Спутник, находящийся на ней, с Земли кажется неподвижно висящим над некоторой точкой экватора. Это значительно упрощает работу с ним. Например, нам не требуется сложная система слежения, разворачивающая наземную антенну за спутником.

У этой орбиты есть и некоторые недостатки. Среди них можно отметить не полное покрытие земной поверхности. Несмотря на то, что трех взаимосвязанных спутников на ГСО хватит, чтобы обеспечить связью большую часть земной поверхности, не охваченными остаются полярные регионы.

Второй недостаток ГСО – проблема утилизации отработавших свой ресурс спутников. Чтобы вернуть спутник на Землю, надо выдать тормозные импульсы равные тем импульсам разгонных блоков, при помощи которых спутник вывели на данную орбиту. Поэтому выработавшие свой ресурс спутники остаются в космосе. Вместо возвращения к Земле, их переводят на более высокую «орбиту захоронения».

Теперь посмотрим, как доставляются спутники на ГСО. Мы проанализируем две простейшие схемы выведения. По потребному количеству включений двигателя разгонного блока их называют «двухимпульсная» и «трехимпульсная».

Обе начинаются с того, что ракета-носитель выводит спутник с разгонным блоком на низкую опорную орбиту. На прошлом уроке мы рассматривали вывод с пассивным участком. Напомню. Он состоит в том, что носитель выводит аппарат на высокоэллиптическую орбиту с апогеем на требуемой круговой орбите. Большую часть этого полуэллипса спутник летит с выключенной двигательной установкой. Двигатель включается только в апогее, чтобы перевести спутник на требуемую круговую орбиту. Почему так же нельзя поступить при выводе на ГСО? Зачем нужна эта опорная орбита? (мини опрос)

Как мы уже говорили, спутник на ГСО с Земли виден как висящий над определенной точкой экватора. Поэтому «вывести спутник на геостационарную орбиту» означает не только «поднять его на 36 000 км над экватором», но и установить над заданной точкой. Таких точек стояния на данной орбите сотни, а возможных мест старта ракет-носителей – единицы. Конечно, можно рассчитывать свою траекторию выведения для каждой «точки стояния». Но космические агентства пошли другим путем.

Была рассчитана «типовая», общая для всех точек, траектория выведения. Для доставки в нужную точку и служит низкая опорная орбита. Это – «комната ожидания», в которой спутник с разгонным блоком ждут, пока Земля под ними развернется таким образом, чтобы доставленный на ГСО спутник располагался над назначенной для него точкой стояния.

Поскольку единственная точка старта, расположенная непосредственно на экваторе – «морской старт» с 2014 года не функционирует, вывод спутника на орбиту в плоскости экватора требует разворота плоскости орбиты. Это так называемый «некомпланарный переход». Когда мы сравнивали потери на управление боевой ракеты и носителя, мы говорили, что все основные маневры лучше проводить при минимальных скоростях полета.

В случае двухимпульсной схемы такая «точка минимальной скорости» находится на самой геостационарной орбите. Поэтому на опорной орбите спутник получает приращение скорости Δ*v*1, которое отправляет его на эллиптическую орбиту с апогеем на ГСО. В апогее выдается второй разгоняюще-корректирующий импульс, поднимающий перигей на ГСО и изменяющий плоскость орбиты. К преимуществам этой схемы можно отнести тот факт, что время выведения спутника по ней – минимально.

Энергетически более выгодной является трехимпульсная схема. Первый этап вывода по ней повторяет двухимпульсную с той разницей, что первый импульс поднимает орбиту в 2 – 3 раза выше ГСО. В этой наиболее удаленной точке выдается второй импульс, изменяющий плоскость орбиты и поднимающий перигей на высоту ГСО. Третий импульс в этой схеме – тормозящий. Он нужен чтобы опустить апогей до уровня ГСО.

Несмотря на наличие тормозного импульса, энергетически трехимпульсная схема выгоднее двухимпульсной, т.к. максимальный импульс в двухимпульсной связан именно с изменением плоскости орбиты. Но у нее есть дополнительная опасность.

Мы уже говорили об «орбите захоронения», на которую отправляют выработавшие свой ресурс спутники с ГСО. В случае трехимпульсной схемы траектория выведения пересекает эру орбиту, а значит существует риск столкнуться с находящимися там объектами.

Есть и более экзотические способы вывода, вплоть до облета Луны, но мы их рассматривать не будем.

1. *ЗАКРЕПЛЕНИЕ ИЗУЧЕННОГО МАТЕРИАЛА И ОТРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ УМЕНИЙ* (5 минут)

Учитель задает контрольные вопросы:

1. В чем преимущества и недостатки трехимпульсной схемы выведения на ГСО?
2. Зачем нужна низкая опорная орбита?
3. Может ли «выброшенный за борт» объект впоследствии столкнуться с корпусом корабля?
4. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №51 в рабочей тетради.

Опорный конспект

* 1. Организационный момент (5 минут).
  2. Повторение пройденного материала (5 минут)
  3. Изучение нового материала (25 минут).
  4. Закрепление изученного материала и отработка практических умений (5 минут).
  5. Домашнее задание (5 минут).

## Список литературы

## Основная литература

1. Мхитарян А.М. Аэродинамика/ А.М. Мхитарян. - ЭКОЛИТ, 2012.
2. Бережко Е.Г. Введение в физику космоса/ Е.Г. Бережко. - ФИЗМАТЛИТ, 2014.
3. Хомич Е.О. Космос/ Е.О. Хомич. - АСТ, 2016.
4. Авдеев Ю.Ф. Космос, баллистика, человек/ Ю.Ф.Авдеев. - Высшая школа, 2013.
5. Граве И.П. Внутренняя баллистика. Пиродинамика/ И.П. Граве. - 2014.
6. Дэвис Л. Внешняя баллистика ракет / Л.Девис, Дж. Фоллин, Л. Блитцер. - Воениздат, 2000.