Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №47**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Межорбитальные переходы»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Рассматриваются траектории активного вывода спутника и вывода с пассивным участком. Анализируются пределы их применимости и целесообразность выбора.

Рассматривается Гомановская траектория компланарного межорбитального перехода, как требующая минимального расхода топлива.

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

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

***ЦЕЛИ УРОКА:***

* Рассмотреть активный вывод и вывод с пассивным участком.
* Рассмотреть компланарный межорбитальный переход.
* Ознакомиться с Гомановской траекторией.

***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 межорбитальных переходах. Ожидаемые ответы:

* для перевода спутника с одной орбиты на другую требуется два включения двигателя;
* для минимизации затраченной энергии желательно, чтобы направление начальной и конечной скорости на переходной орбите совпадало с направлением скорости на исходной и целевой орбитах;

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. Что такое «грависфера»?
2. При переводе спутника на более высокую орбиту двигатель работает на разгон, а скорость при этом уменьшается. Почему?
3. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

Как мы выяснили на прошлом занятии, орбитальная скорость на круговой орбите уменьшается с ростом ее радиуса. При этом длина участка выведения также уменьшается. Таким образом приходим к парадоксальному положению: вывод на низкие орбиты может требовать более мощного носителя, чем на высокие. При этом требуется рост не сообщаемой спутнику энергии, а именно мощности, т.к. уменьшается время, в течение которого спутник получает требуемую механическую энергию. Также из-за роста ускорения и перегрузки к спутнику предъявляются требования более высокой прочности, что увеличивает его массу.

В качестве возможного решения используются траектории «увеличенной длины». При движении по ним ракета быстро набирает высоту, мало отличающуюся от требуемой орбиты. После этого разгоняется почти горизонтально, с малым углом возвышения. В конце разгона выходит в горизонтальный полет на требуемой высоте, сообщая необходимую скорость *v*k.

Также в процессе вывода часто используется вращение планеты. Точка поверхности уже имеет часть орбитальной скорости, т.к. Земля вращается. Эта скорость максимальна на экваторе и минимальна на полюсах. Из-за вращения Земли вес тела на полюсе максимален, а на экваторе минимален. Поэтому космодромы выгодно располагать ближе к экватору. Одной из причин того, что американцы смогли запустить пилотируемый корабль к луне, а мы – нет, является тот факт, что Канаверал расположен на 23º С.Ш., а Байконур – на 46º. Конечно, это не самое важное, но все-таки препятствие. Именно поэтому развивали проект «Морской старт». Он позволял запускать носитель «Зенит 3 SL» непосредственно с экватора.

Одной из характеристик орбиты является наклонение. Это угол между плоскостью экватора и плоскостью орбиты. Минимальный угол наклонения реализуется при запуске вдоль параллели и равен широте точки старта.

Иного рода сложности возникают при выводе на высокие орбиты. Казалось бы, можно обойтись двигателями меньшей тяги. Ведь потребная скорость ниже, а длина активного участка больше. Но давайте вспомним о рассмотренных нами ранее гравитационных потерях. Они будут значительно расти при увеличении времени выведения. Как же быть в этом случае?

Было принято следующее решение. Ракета носитель выводит спутник на эллиптическую траекторию с апогеем (самой удаленной от Земли точкой) на требуемой орбите. Груз, вместе с последней ступенью носителя, представляющей собой разгонный блок, продолжает пассивный баллистический полет по данной траектории. При прохождении апогея разгонный блок включается повторно и дополнительно разгоняет спутник на величину скорости Δ*v*1, поднимая перигей (самую близкую к Земле точку орбиты) до данного значения. При этом значительно экономится топливо, т.к. большую часть траектории выведения двигатель не работает.

Такой способ вывода получил название «вывод с пассивным участком». Врежется ли спутник в Землю, если двигатель разгонного блока в апогее не запустится? (мини опрос)

Ответ зависит от того, где находится перигей данной эллиптической орбиты. Если он вне атмосферы, то мы получим «вторую попытку» запустить разгонный блок на следующем витке.

Более привычная работа для разгонного блока – это не вывод с пассивным участком, а перевод спутника с одной орбиты на другую. Сегодня рассмотрим так называемый компланарный переход. Это тот случай, когда начальная орбита и орбита назначения лежат в одной плоскости и отличаются только «энергетическими параметрами». Для простоты изложения рассмотрим ситуацию перехода между круговыми орбитами различного радиуса.

Мы можем построить множество траекторий такого перехода. Какую из них в итоге выбрать – зависит от особенностей поставленной задачи. На слайде приведено два возможных варианта. Первая траектория получила наименование «Гомановская» – по фамилии впервые предложившего ее еще в 1925 году Вальтера Гомана. Эта траектория требует минимального запаса топлива. Ее используют, когда нет жесткого лимита по времени перехода. Второй вариант траектории более короткий, но потребует большего запаса топлива.

На схеме видно, что двигательная установка запускается дважды, один раз в перигее переходной орбиты, а второй – в апогее. Почему нельзя обойтись одним включением двигателя? (мини опрос)

На слайде приведены формулы, по которым можно определить потребные изменения скорости. Произведение, стоящее в числителе под первым радикалом, получило название «гравитационный фактор планеты». Вычисленные по приведенным формулам значения не равны друг другу. При переходе с низкой орбиты на более высокую они положительны, при обратном переходе – отрицательны.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. В чем преимущества и недостатки Гомановской траектории?
2. Почему не используется активный вывод на высокие орбиты?
3. Какие орбиты называют компланарными?
4. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №50 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.