Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №36**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Скорость К.Э. Циолковского. Потери скорости»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Рассматриваются гравитационные и аэродинамические потери тяги, не учитываемые в уравнении Циолковского. Вскрывается невозможность их одновременного уменьшения.

Гравитационные потери пропорциональны времени работы двигателя. Их уменьшение возможно за счет большего ускорения ракеты, приводящего к уменьшению величины активного участка траектории.

В то же время попытка развить большую скорость в плотных слоях атмосферы приводит к значительному росту потерь тяги на преодоление аэродинамического сопротивления.

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

***ТЕМА УРОКА***: Скорость К.Э. Циолковского. Потери скорости.

***ЦЕЛЬ УРОКА:***

* Рассмотреть гравитационные потери скорости ракеты и меры по их снижению.
* Рассмотреть аэродинамические потери скорости ракеты и меры по их снижению.
* Рассмотреть конфликт гравитационных и аэродинамических потерь.

***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 потерях скорости Циолковского. Ожидаемые ответы:

* аэродинамические потери возрастают с ростом скорости;
* гравитационные потери обусловлены ростом потенциальной энергии;
* гравитационные потери растут с течением времени.

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. Всегда ли можно пользоваться законом сохранения импульса?
2. Движение чего описывается уравнением Мешерского?
3. Для каких условий выведена формула скорости Циолковского?
4. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

В физике существует множество законов сохранения: энергии, импульса, момента импульса. Из них четко соблюдается только один – закон сохранения энергии. Остальные можно применять только в специфических условиях, например, при отсутствии так называемого теплового рассеяния энергии.

Условиями применимости закона сохранения импульса, на основании которого было получено уравнение Циолковского, являются отсутствие перехода кинетической энергии во внутреннюю (тепло) или потенциальную.

Это не означает, что уравнением нельзя пользоваться. Просто нужно ввести некоторые поправки, учитывающие реальные условия полета. Сегодня мы рассмотрим две такие поправки.

Первая обусловлена влиянием гравитации на полет ракеты. Самый простой и очевидный подход – записать закон сохранения механической энергии, приравняв изменение потенциальной энергии к изменению кинетической. Знак «минус» в уравнении означает, что при увеличении потенциальной энергии кинетическая уменьшается и наоборот. Отсюда можно выразить поправку. Вроде бы логично, но для нашего случая не годится. Дело в том, что это соотношение действует только для вертикального полета. В нашем случае поступим иначе.

При движении по большей части траектории вектор (mg) дает проекцию на продольную ось ракеты, направленную противоположно вектору скорости. Эта проекция представляет собой ускорение. Чтобы получить потери скорости, требуется, как сказали бы в ВУЗе, «проинтегрировать» ее по времени активного участка. Этот термин означает, что время работы двигателя нужно разделить на множество коротких интервалов и для каждого из них перемножить данную проекцию на длину интервала. Полученные произведения впоследствии складываются.

Результат, естественно, растет с течением времени. Поэтому для минимизации этой потери требуется минимизировать время разгона, т.е. задать максимально возможную тяговооруженность (отношение силы тяги двигателя к весу ракеты). Но так поступить можно не всегда.

Одна из причин, не позволяющая так сделать – характер полезной нагрузки. Если ракета несет боевую часть, предназначенную для поражения наземной цели, то такая БЧ при входе в атмосферу подвергается действию большой силы лобового сопротивления. Поскольку для преодоления ПРО требуется максимально быстро достичь цели, БЧ рассчитывается на подобные нагрузки.

Иную картину мы наблюдаем при выводе груза на орбиту. Спутник, а тем более человек – изделие достаточно хрупкое и на большие перегрузки не рассчитанное. Поэтому в данном случае подобная оптимизация невозможна.

Еще одна причина, не позволяющая поступить таким образом, связана с другим видом потерь. Поскольку стартующая с Земли ракета первоначально летит в атмосфере, то ей приходится преодолевать уже знакомое нам аэродинамическое сопротивление. Вспомним, от чего оно зависит. Помимо площади миделя, изменить которую можно только в ходе отделения отработавшей ступени, в формулу аэродинамической силы входит скоростной напор. Для его уменьшения желательно проходить плотные слои атмосферы с небольшими скоростями, перенося основной разгон на большие высоты, где плотность воздуха будет значительно меньше.

Два приведенных вида потерь – антагонисты. При попытке уменьшить одни мы будем получать увеличение других. Поэтому задача уменьшения суммарных потерь – оптимизационная. Нормальной методики решения ее «вручную» не существует. Для решения этой задачи приходится проводить серии достаточно сложных компьютерных расчетов.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. Почему закон сохранения механической энергии неприменим для определения гравитационных потерь?
2. Чем ограничена тяговооруженность ракет-носителей?
3. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №39 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.