Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №32**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Характеристики твердого топлива»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Рассматриваются факторы, влияющие на зависимость тяги твердотопливного двигателя от времени. Приведены формы зарядов, обеспечивающих прогрессивное, регрессивное и равномерное горение.

Рассмотрен график тяги модельных твердотопливных двигателей.

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

***ТЕМА УРОКА***: Теория полета снаряда в пустоте.

***ЦЕЛИ УРОКА:***

* Изучить прогрессивное, регрессивное и равномерное горение твердотопливного заряда.
* Ознакомиться с формами твердотопливного заряда.

***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 параметрах, влияющих на тягу твердотопливных ракетных двигателей. Ожидаемые ответы:

* тяга РДТТ зависит от площади горения заряда;
* для увеличения тяги заряд должен иметь форму трубки, горящей по внутренней поверхности;
* для уменьшения тяги цилиндр нудно зажечь по внешней поверхности;
* постоянную тягу можно получить, если зажечь цилиндр по торцевой поверхности.

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. Чем баллиститное топливо отличается от смесевого?
2. Чем опасен детонационный режим горения?
3. Почему большинство боевых ракет – твердотопливные, а ракеты-носители – жидкостные?
4. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (30 минут)

Мы уже говорили, что для снижения механических нагрузок на конструкцию ракеты в полете имеет смысл программно снижать тягу в конце активного участка. В жидкостном двигателе этого можно добиться, снижая обороты топливных насосов и уменьшая таким образом подачу компонентов топлива в камеру сгорания.

Как можно добиться такого эффекта в случае твердотопливного двигателя? Тяга такого двигателя зависит от площади горения его заряда. При этом заряд на всем протяжении работы двигателя должен быть надежно закреплен в камере сгорания. Этим он отличается от дров в топке печи.

Для ЖРД небольшой тяги применяется так называемый «пушечный запуск», при котором двигатель запускается сразу на рабочем режиме. Попытка запустить таким образом двигатель вроде РД-180 может привести к его разрушению. Поэтому при запуске используется частичная подача компонентов в камеру сгорания с последующим ее увеличением до рабочих параметров.

Поскольку все топливо твердотопливного двигателя сразу находится в камере сгорания, здесь приходится использовать иные приемы регулировки тяги. Как уже говорилось, тяга определяется площадью горения заряда. Если мы хотим, чтобы тяга увеличивалась со временем, то можем взять заряд в виде трубки и зажечь его по внутренней поверхности. В процессе выгорания наружная поверхность постоянно зафиксирована. Торцевые поверхности могут упираться в бронестенку и будут недоступны для горения. Но такой заряд в большинстве случаев нас не устроит по изложенным в начале урока причинам. Под конец тягу нужно будет снижать.

Казалось бы, для этого достаточно зажечь цилиндр по боковой поверхности. Тогда площадь этой поверхности, по мере выгорания заряда, будет уменьшаться. Только вот возникает вопрос: как такой заряд закрепить в камере? Вроде бы можно «приклеить» верхний торец к стенке. Но при выгорании такого, открытого с трех сторон, заряда, он может в определенный момент «переломиться». Этого допустить нельзя. Поэтому горение идет по внутренней поверхности, имеющей форму многолучевой звезды. Внутренние лучи в процессе горения уменьшаются, уменьшая площадь горения.

Если требуется обеспечить постоянную тягу, то используется заряд торцевого горения. По мере выгорания такого заряда площадь горения остается постоянной, поддерживая постоянство тяги.

А теперь рассмотрим «комплексную задачу». Имеем модель ракеты, стартующую с вертикальной направляющей, к которой модель крепится с помощью стартового кольца. На начальном этапе тяга должна преодолевать вес ракеты, незначительное (ввиду малой скорости) лобовое сопротивление и силу трения кольца о направляющую, которая прекращает действовать после схода модели с направляющей.

Соответственно нам требуется график тяги на подобие приведенного в средине. Какой должна быть форма заряда? (опрос класса).

Для обеспечения такого графика тяги используется заряд в виде цилиндра со сферическим углублением в центре нижнего торца. Именно по этой сферической поверхности и производится зажигание. Фронт горения, таким образом, представляет собой сегмент сферы растущего радиуса, заключенный внутри цилиндра. Его площадь растет до достижения сферой боковой поверхности цилиндра, после чего уменьшается. При значительном удлинении заряда (отношение длины к внешнему диаметру) на завершающем этапе участок сферы почти не отличается от плоскости. Таким образом реализуем требуемую программу горения.

Мы рассмотрели элементарные случаи. Реальная геометрия заряда твердотопливного двигателя может быть намного сложнее.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. Выключение твердотопливного двигателя.
2. Импульс последействия и меры борьбы с ним.
3. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №35 в рабочей тетради.

Опорный конспект

* 1. Организационные моменты (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.