Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**«**

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №31**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Характеристики твердого топлива»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Приводится сравнительный анализ жидкостных и твердотопливных ракетных двигателей. Учащиеся знакомятся с классификацией твердых топлив и конструктивными особенностями соответствующих твердотопливных двигателей.

Рассматривается нормальный и детонационный режим горения твердотопливного заряда, влияние детонации на конструкцию двигателя.

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 преимущества и недостатки твердого топлива по сравнению с жидким.
* Ознакомиться с видами твердого топлива.
* Рассмотреть режимы горения 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 конструктивных особенностях жидкостных и твердотопливных ракетных двигателей. Ожидаемые ответы:

* регулировка тяги возможна только у жидкостных двигателей;
* вероятность отказа твердотопливного двигателя ниже, т.к. он не содержит работающих механизмов.

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. Почему стабилизация снаряда вращением не позволяет минимизировать лобовое сопротивление?
2. Для чего в охотничьем оружии используется дробь?
3. Для чего в зенитных ракетах используются осколочно-фугасные боевые части?
4. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (30 минут)

На предыдущих занятиях мы рассмотрели зависимость дальности полета брошенного тела от скорости и угла бросания. Теперь обратим внимание на то, как и с помощью чего эта скорость достигается.

Траектория полета тела всегда разделяется на два участка. На первом тело разгоняется. В случае ручного броска этому участку соответствует движение кисти бросающей руки. В случае огнестрельного оружия активный участок находится внутри ствола. В случае ракеты он самый большой из рассматриваемых, и заканчивается в точке отключения двигателя.

По агрегатному состоянию топлива современные ракетные двигатели подразделяются на жидкостные и твердотопливные. Газообразные компоненты не используются ввиду их малой плотности, а гибридные системы (твердое горючее при жидком окислителе) собирают все недостатки жидкостных и твердотопливных двигателей.

Из второго закона Ньютона следует, что при уменьшении массы разгоняемого тела (выгорании топлива) его ускорение возрастает. Студенты профильных ВУЗов также вспомнят тот факт, что тяга ракетного двигателя возрастает при уменьшении давления окружающей среды. Для учета этого факта существует так называемый коэффициент пустотного приращения тяги.

Все это приводит к тому, что механическая нагрузка на ракету в процессе полета на активном участке растет, достигая максимума в точке отключения двигателя. Для обеспечения прочности конструкции ее требуется рассчитывать на эти максимальные нагрузки, несмотря на то, что практически на всей траектории нагрузки имеют меньшие значения. Это приводит к переутяжеленной конструкции. Для наземной и даже водной техники это не имеет критического значения. При строительстве здания или автомобиля никто не гонится за минимальной массой. Но для самолета и, тем более, ракеты, этот вопрос оказывается одним из самых важных. Почему – будем рассматривать на следующих занятиях.

Ракетный двигатель выдает максимальную тягу, если давление на срезе его сопла равно наружному. Повлиять на этот параметр можно, изменяя либо геометрию сопла, либо давление в камере сгорания. Зависимость давления окружающей среды от времени определяется формой траектории и режимом разгона.

Зависимость тяги от времени в случае твердотопливного двигателя определяется формой и химической структурой топливного заряда. Значит твердотопливные двигатели, в отличие от жидкостных, не позволяют изменить программу горения. Это уменьшает возможности по варьированию траекторией полета.

В то же время, ввиду простоты конструкции, твердотопливные двигатели проще в обслуживании и вероятность их отказа ниже, чем у жидкостных. Также у них практически отсутствует время подготовки к пуску, т.к. не требуется доставлять топливо в камеру сгорания и раскручивать турбонасосный агрегат. Также у твердотопливных ракет отсутствуют системы, ответственные за стабильное снабжение камеры сгорания топливом, такие как названный выше ТНА и система наддува топливных баков.

Таким образом, можно прийти к выводу, что и у жидкостного, и у твердотопливного двигателя есть как преимущества, так и недостатки. При проектировании ракеты выбор между ними – один из основных вопросов.

Теперь поговорим о том, что представляет собой топливо для РДТТ. Основных вариантов здесь два.

Баллиститное топливо. Представляет собой полимер, в структуру молекулы которого уже включены горючее и окислитель. Горение такого заряда по сути является реакцией рекомбинации атомов его молекулы. Основой для такого топлива являются пороха на базе нитроцеллюлозы (пироксилина). Топливный заряд предварительно прессуется, а потом закладывается в камеру сгорания двигателя, образуя зазор между топливной шашкой и стенкой камеры. При необходимости его можно извлечь и заменить.

Такой возможности мы лишены в случае смесевого топлива. Здесь горючее и окислитель – разные субстанции. Зерна окислителя, обычно – солей некоторых металлов, предварительно перемешиваются в нужной пропорции с жидкой фазой горючего. В качестве горючего могут использоваться некоторые марки каучука. После перемешивания смесь заливается непосредственно в камеру сгорания двигателя и отправляется на полимеризацию.

Полученный таким образом заряд оказывается намертво скреплен со стенками камеры. Извлечь его невозможно. Геометрию полученных зарядом мы рассмотрим на следующем занятии, а пока обратимся к рабочему процессу двигателя.

При езде на автомобиле иногда приходится слышать «хлопки» или стуки в двигателе, которые шоферы называют детонацией. Аналогичный процесс может происходить и в ракетном двигателе. Рассмотрим его подробнее.

При сгорании топлива выделяется большое количество нагретого газа. Соответственно давление в камере сгорания растет. Поскольку объем камеры не замкнут, через сопло происходит сброс этого давления. Каким образом газ определяет, в какую сторону ему расширяться?

Первоначально он расширяется равномерно во все стороны. При встрече с преградой в потоке формируется волна уплотнения, которая со звуковой скоростью распространяется против потока, сообщая что «здесь путь закрыт». Соответственно основной поток «перестраивается» и устремляется туда, откуда такого ответа нет.

Но что будет происходить при увеличении газообразования? В определенный момент скорость такого потока превысит скорость звука, и мы получим сверхзвуковое течение в камере двигателя. Теперь давайте вспомним, как сверхзвуковой поток реагирует на преграду? Он не замечает преграды до тех пор, пока в последнюю не упрется. При этом стенка получает удар в разы более сильный, чем при дозвуковом движении газа.

С одной стороны, детонационный режим горения позволяет получать значительно большую тягу, но в то же время он предъявляет куда более высокие требования к прочности конструкции. Конструкция, не рассчитанная на такой режим, буден неизбежно разрушена.

На представленном слайде возможные параметры нормального горения представлены синим шрифтом, а детонационного – красным. Мы видим, что все параметры при детонации имеют значительно большие значения, за исключением характерного времени реакции и поступательной скорости продуктов.

Если с характерным временем все легко понять, то вот скорость продуктов вызывает вопросы. Дело в том, что при детонации возникает так называемый «прямой скачок уплотнения» или ударная волна. Изменение параметров потока при переходе через такую волну описывается так называемыми «соотношениями Гюгонио». Вдаваться в подробности мы не будем, т.к. школьного курса математики для этого недостаточно. Эти соотношения изучаются только студентами профильных ВУЗов.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. В чем опасность детонационного горения?
2. Чем баллиститное топливо отличается от смесевого?
3. Почему стабилизация снаряда вращением не позволяет минимизировать лобовое сопротивление?
4. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №34 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.