Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №33**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Характеристики твердого топлива»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Рассматриваются способы запуска и выключения твердотопливных двигателей, общая конструкция двигателя и пирозапального устройства. Для зажигания твердотопливной шашки требуется создать достаточно высокие начальные температуру и давление, для чего и предназначено ПЗУ. Конструкция шашки не дает возможности ее гашения путем отделения горючего от окислителя, поэтому все способы отсечки двигателя основаны на химическом торможении процесса горения либо уменьшении температуры в камере сгорания. Для этого могут использоваться впрыскиваемые в камеру ингибиторы горения и хладагенты.

Двигатель не способен отключиться мгновенно. При выключении его тяга подвержена хаотическим изменениям в течении некоторого промежутка времени. Этот процесс получил название «импульс последействия». Рассмотрены некоторые меры по его снижению.

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 условия горения твердотопливного заряда.
* Ознакомиться со способами включения и выключения твердотопливного двигателя.
* Рассмотреть понятие «импульс последействия» и меры по его уменьшению.

***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 способах включения и выключения ракетных двигателей. Ожидаемые ответы:

* запуск РДТТ требует сильного прогрева заряда;
* запальное устройство может быть частью как двигателя, так и пусковой установки;
* снизить температуру в камере при выключении двигателя можно путем сброса давления;
* для прекращения тяги можно часть продуктов сгорания направить в противоположную сторону.

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. От чего зависит тяга твердотопливного двигателя?
2. Почему шашку не зажигают по наружному диаметру?
3. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

На прошлых занятиях мы рассмотрели виды твердого ракетного топлива и законы изменения тяги двигателей. Теперь посмотрим на то, каким образом могут запускаться эти двигатели.

Для небольших двигателей, предназначенных для запуска спортивных ракетомоделей, достаточно незначительного первичного нагрева. Его может обеспечить бикфордов шнур или нагреваемая током металлическая петля. Для большей надежности на этой петле может находиться капля пиросостава. Такой запал извне вставляется в двигатель через его сопло. Остатки запала реактивной струей выбрасываются из двигателя.

Совсем другая ситуация с запуском больших РДТТ. Для их запуска требуется создать значительно большие начальные давление и температуру. Поэтому пирозапальные устройства для таких двигателей, по сути, являются сложными многоступенчатыми системами.

Электрозапал в таком ПЗУ поджигает легковоспламенимый инициирующий заряд. Для воспламенения топливной шашки выделяемого этим зарядом тепла недостаточно. Поэтому вокруг него расположена «вторая ступень» запала. Для ее поджигания не хватает тепла, выделяемого электрозапалом, но вполне достаточно результата сгорания инициирующего заряда.

Теперь посмотрим, как такой запал расположен в двигателе. Мы видим, что топливная шашка заполняет не весь объем камеры сгорания.В полусферической крышке остается свободное место. Именно там по оси двигателя ставят пирозапальное устройство. Оно может частично заполнять и канал в шашке. Поскольку пламя ПЗУ направлено во все стороны, за исключением верха, оно обеспечивает поджиг шашки по всей внутренней поверхности.

Оба днища двигателя, верхнее и нижнее, съемные. Для чего это сделано, ведь для размещения заряда в камере достаточно снять только одно из них?

И сопло, и стенки камеры покрыты теплозащитными материалами. Их свойства для камеры и сопла отличаются, т.к. они подвержены разным тепловым нагрузкам.

Сопло установлено шарнирно и, с помощью специальных гидроцилиндров, способно отклоняться в стороны. Таким способом обеспечивается управление ракетой «по направлению». Единственный параметр, для управления которым потребуется отдельная система – это вращение ракеты вокруг продольной оси (крен). Эта проблема решается, если в ракете параллельно установлены несколько (2 или 4) двигателей.

Теперь поговорим подробнее о десятом элементе конструкции. Боевая ракета предназначена для поражения цели, находящейся внутри некоторого кольца, т.е. наряду с максимальной имеет и минимальную дальность полета. Как заставить ракету лететь на более короткое расстояние? Есть два пути: сделать траекторию «более навесной», увеличив угол бросания, или уменьшить модуль конечной скорости.

Ракеты «первого поколения» шли по второму пути. Это требовало обеспечения отключения двигателя до полного выгорания заряда. Выключить двигатель означает прекратить действие его тяги. Поэтому прекращение горения заряда – только один из методов выключения.

Разработчик представленной компоновки пошел другим путем. Вместо полного гашения заряда он сбрасывает давление из камеры сгорания в сторону, почти противоположную основному направлению истечения газов. Согласно уравнению Клайперона, уменьшение давления приводит к уменьшению температуры в камере сгорания, что, в свою очередь, уменьшает интенсивность горения шашки. Здесь мы видим только одно сопло противотяги. Его включение, помимо уменьшения тяги двигателя, приведет к развороту корпуса ракеты вправо, т.к. двигатель обычно находится ниже центра масс ракеты. К этому моменту головная часть будет уже отделена от ракеты. Соответственно этот разворот имеет целью не допустить столкновения отделенной ракеты с головной частью.

Теперь посмотрим, почему именно в точке выключения двигателя происходит отделение головной части. Сначала подумаем, зачем вообще требуется отделять ГЧ? При этом усложняется конструкция ракеты, т.к. для отделения требуются специально спроектированные устройства. Увеличивается относительная конечная масса ракеты, что, как мы увидим далее, уменьшает конечную скорость.

В ту эпоху, когда появились отделяемые головные части, начиналась разработка систем противоракетной обороны. Отследить крупную цель, каковой являлась ракета, проще. Поэтому именно в нее, с большей вероятностью, попадет противоракета. Но есть еще один плохой параметр у ракеты. Инженеры назвали бы его «высокой парусностью». Мы знаем, что аэродинамическая сила пропорциональна площади сечения, перпендикулярного к вектору скорости, называемого «мидель». Для уменьшения лобового сопротивления на активном участке траектории ракете придана форма, которая, в отсутствие тяги и управления, не обеспечивает устойчивой ориентации. Это приводит к увеличению так называемого «кругового квадратичного отклонения» или, проще говоря, уменьшению точности попадания.

После отделения в плотные слои атмосферы входит компактная и более аэродинамически устойчивая головная часть. Из этих соображений ГЧ можно отделить в любой момент времени между отключением двигателя и входом в плотные слои атмосферы. И из всего этого, самого большого участка траектории конструкторы выбрали именно точку выключения двигателя. Почему?

Тот, кто ездил на автомобиле до исчерпания топлива в баке, знает, что прежде чем заглохнуть, мотор начинает «чихать». Автомобиль идет рывками. То же самое происходит и при выключении ракетного двигателя. В течение некоторого, на данном графике увеличенного, интервала времени тяга меняется почти хаотическим образом. Это связано с догоранием остатков топлива в жидкостном двигателе и процедуры гашения заряда в твердотопливном. Подобное явление получило наименование «импульс последействия». Если не предпринять мер, он приводит к неизвестному изменению конечной скорости и, соответственно, уменьшению точности. Отделение головной части в этот момент позволяет не передать ей данный импульс.

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 №36 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.