Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №22**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Особые режимы полета»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Учащиеся знакомятся с явлением аэродинамического экрана и его влиянием на полет на сверхмалых высотах.

Аэродинамический экран приводит к значительному воздастанию подъемной силы и смещению центра давления назад. Поэтому при отрыве от него есть риск того, что центр давления окажется перед центром масс и самолет станет аэродинамически неустойчив.

Влияние аэродинамического экранного эффекта при посадке может приводить к «козлению» - прыжкам самолета вверх и вниз с нарастающей амплитудой.

Во второй части урока рассматриваются особенности сверхзвукового обтекания и аэродинамические отличия сверхзвуковых самолетов от дозвуковых.

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

***ТЕМА УРОКА***: Особые режимы полета.

***ЦЕЛИ УРОКА:***

* ознакомиться с режимом аэродинамического экрана и связанными с ним особенностями конструкции самолетов и экранопланов;
* рассмотреть особенности сверхзвуковой аэродинамики, отличие сверхзвуковых профилей от дозвуковых.

***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 полете на низких высотах и на сверхзвуковых скоростях. Ожидаемые ответы:

* крыло на низких скоростях дополнительно сжимает под собой воздух, увеличивая подъемную силу;
* поскольку отраженный от поверхности Земли поток ловит задняя часть крыла, центр давления смещается назад;
* при переходе через звуковой барьер характер обтекания аппарата изменяется.

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. В чем основная причина сваливания в штопор?
2. Какое соотношение определяет точку отрыва потока?
3. Почему аэродинамические ребра на стреловидных крыльях не располагают перпендикулярно передней кромке?
4. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

Согласно третьему закону Ньютона крыло, создавая направленную вверх подъемную силу, должно направлять обтекающий его поток вниз. До сих пор наши рассуждения строились на том, что этой вертикальной составляющей скорости потока ничто не мешает.

Что будет происходить в случае наличия снизу преграды? Например, самолет разгоняется по взлетно-посадочной полосе, и поток «ударяется» в поверхность земли. В этом случае он отразится вверх. Если отраженный поток встретит поверхность летательного аппарата, то это приведет к

* росту (иногда кратному) подъемной силы;
* смещению назад точки приложения подъемной силы (центра давления).

Когда это происходит? Считается, что в сплошной среде (газе или жидкости) информация передается со скоростью звука. Таким образом, для возникновения «экранного эффекта» требуется, чтобы за время, в течение которого звук дважды (туда и обратно) проходит расстояние между нижней поверхностью крыла и землей, аппарат продвинулся вперед на расстояние, меньшее хорды крыла.

Данный эффект представляет опасность для самолета. Если шасси самолета оторвется от полосы в период действия экранного эффекта, то дальнейший рост скорости и высоты полета приведет к тому, что действие экранного эффекта прекратится. При этом центр давления сместиться вперед и может оказаться перед центром масс, что приведет к потере аэродинамической устойчивости. Подъемная сила также значительно уменьшится. Самолет рискует упасть на землю с катастрофическими последствиями.

Чтобы этого не допустить, высота стоек шасси выбирается таким образом, чтобы при скорости отрыва действие экранного эффекта уже прекратилось.

Под действие этого эффекта самолет может попасть и при посадке. Это приводит к так называемому «козлению» - серии отскоков от полосы с возрастающей амплитудой. Пилотов специально обучают поведению в таких условиях, но, как показывает правое видео, не у всех это получается.

Есть категория аппаратов, специально спроектированных для полета в таких условиях. Они получили название «экранопланы». Сфера их применения ограничена требованием наличия плоской поверхности, над которой они способны лететь. Чаще всего это аппараты гидроавиации. В СССР разработки экранопланов велись под руководством Ростислава Алексеева. Одна из его машин, названная на западе «Каспийский монстр», в свое время сильно напугала страны НАТО.

Конструктивно экраноплан отличается от самолета крылом меньшего удлинения, т.е. более короткого размаха при более длинной хорде. Также возможна схема «тандем», использующая два крыла, размещенных одно за другим. Для выхода в режим экрана могут применяться дополнительные двигатели, нагнетающие воздух под крыло. Но, в отличие от судна на воздушной подушке, они работают только на начальном этапе, впоследствии отключаясь.

Другим примером особого режима полета является переход аппарата через «звуковой барьер». При попытке сжать сверхзвуковой поток, он отвечает образованием так называемого «скачка уплотнения» или, в другой системе координат, «ударной волны». В отличие от дозвукового обтекания, воздух, расположенный перед скачком уплотнения, ничего «не знает» о препятствии впереди, ведь информация в данном случае распространяется со скоростью звука и «сносится назад» потоком.

Часто для дилетантов задают вопрос: слышит ли летчик в кабине самолета, летящего со сверхзвуковой скоростью, звук работающих позади него двигателей? Казалось бы, данный звук должен сноситься набегающим потоком, и в кабине должно быть тихо. Однако, звук отлично слышим. Почему?

Дело в том, что, во-первых, скорость звука в твердом материале самолета намного выше, чем в набегающем потоке и, во вторых, в данном случае звук также распространяется во внутреннем воздухе самолета, скорость которого относительно двигателя практически нулевая.

Хорошо. А если поставить микрофон снаружи, рядом с кабиной и при этом в креплении предусмотреть внутреннюю звукоизоляцию? Все равно шум двигателя услышим! Звука не будет только тогда, когда микрофон окажется перед скачком уплотнения, вызванным носовой частью самолета.

Теперь подробнее остановимся на форме данного скачка уплотнения. Она зависит от угла, под которым поток обтекает поверхность. Если этот угол меньше некоторого предела, то будет формироваться так называемый «присоединенный косой скачок», имеющий треугольное сечение (клин либо конус). Скорость за таким скачком может иметь как до- так и сверхзвуковые значения в зависимости от угла наклона скачка.

В случае если значение угла атаки превышает данный предел, скачок «отходит» от поверхности тела и приобретает форму на основе параболоида вращения. Это так называемый «отсоединенный скачок уплотнения». В передней точке параболоида такой скачок называют прямым. Скорость потока за ним всегда дозвуковая.

Проектируя сверхзвуковой аппарат, конструктор определяет, каким будет данный скачок. Из чего он должен исходить? Набегающий на аппарат сверхзвуковой поток тормозится. Его кинетическая энергия частично переходит в тепловую. Температура при этом растет. Тепло выделяется преимущественно на скачке уплотнения. Потери на отсоединенном скачке выше, чем на присоединенном, но такое его расположение позволяет «отжать» раскаленный воздух от поверхности тела, упрощая задачу теплозащиты.

Поэтому, как ни парадоксально, для более высоких скоростей полета используются затупленные формы аппарата.

Интересную картину можно увидеть, если поставить в сверхзвуковой поток клин, плоская сторона которого параллельна вектору скорости потока. При этом скачок уплотнения будет формироваться только на верхней (наклонной) поверхности. Внизу под клином мы видим тонкую линию, угол наклона которой меньше, чем верхнего скачка. Что это за линия?

Условно ее принято считать «звуковой волной». Синус угла наклона этой линии почти равен отношению скорости потока к так называемой «местной скорости звука». Это отношение, характеризующие влияние процессов сжатия воздуха, получило название «Число Маха» - еще один критерий динамического подобия. Почему мы говорим, что синус угла «почти равен»?

Дело в том, что реальную звуковую волну увидеть невозможно, т.к. параметры потока при переходе через нее не изменяются. Это так называемый «тангенциальный разрыв», на котором изменяются виды зависимостей между параметрами. Реально мы видим ударную волну очень низкой интенсивности, возникающую из-за не идеальности формы клина и неравномерности набегающего потока.

Итак, мы видим, что на преграду на своем пути сверхзвуковой поток отвечает формированием скачка уплотнения, давление за которым намного выше, чем в самом потоке. Если мы поставим в сверхзвуковой поток крыло привычного нам дозвукового профиля, то что мы увидим?

При нулевом угле атаки давление над таким крылом будет выше, чем под ним. А значит, при переходе через звуковой барьер подъемная сила такого крыла становится отрицательной. Поэтому профили, предназначенные для сверхзвукового полета, имеют совсем другой вид. Это тонкие и часто симметричные профили, образующие подъемную силу за счет угла атаки.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. Почему дозвуковые профили не используются для сверхзвукового полета?
2. Что является причиной возникновения аэродинамического экрана?
3. От чего зависит вид возникающего скачка уплотнения?
4. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №25 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.