Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос

Министерство просвещения Российской Федерации

**МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА**

**УРОКА №21**

по программе

**Аэродинамика и баллистика**

На тему:

«Особые режимы полета»

г. Москва, 2020 г.

***Пояснительная записка***

Учащиеся знакомятся с явлением отрыва потока от границы объекта, его причинами и последствиями. Отрыв потока происходит в точке, в которой градиент давления среды меняет свое направление на противоположное (изменение знака).

Одно из возможных последствий отрыва потока – сваливание в штопор. Критерием возможного сваливания является достижение углом атаки критического значения.

Другой причиной падения подъемной силы на треугольных и стреловидных крыльях является отклонение набегающего потока в направлении передней кромки. Составляющая вектора скорости, параллельная передней кромки не образует подъемной силы, вызывая только рост лобового сопротивления. Рассматриваются конструкторские приемы, позволяющие препятствовать этому процессу.

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

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

***ЦЕЛИ УРОКА:***

* ознакомиться с явлением отрыва потока, изучить его причины;
* рассмотреть явление эволюцию штопора от смертельной опасности до фигуры высшего пилотажа;
* ознакомиться с особенностями аэродинамики треугольных и стреловидных профилей.

***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 изменении режима течения по длине обтекаемой стенки и зависимости подъемной силы от режима обтекания крыла. Ожидаемые ответы:

* толщина пограничного слоя растет по мере движения потока вдоль стены;
* начиная с определенной точки, поток становится преимущественно турбулентным;
* изменение сопротивления объясняется изменением характера течения.

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 ламинарная часть потока сохраняется в тонком слое вдоль границы обтекаемого тела?
2. Что понимается под «гипотезой прилипания»?
3. Что такое «характерный размер течения»?
4. Соотношение между какими силами характеризует число Рейнольдса?
5. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА* (25 минут)

Помимо перехода ламинарный – турбулентный, большое значение приобрело такое явление, как срыв или отрыв потока. Принято считать, что больший вклад в подъемную силу дает именно эффект снижения давления в потоке над крылом, а не его рост под крылом. Если давление над крылом будет значительно меньше давления в набегающем потоке, то произойдет следующее.

Как мы уже говорили, движение частицы среды в потоке, скорость которого меняет свое значение при перемещении поперек потока, что иллюстрируют приведенные справа профили, закручивает данную частицу по часовой стрелке. Этот эффект приводит к еще большему росту градиента (темпа изменения) скорости. Возле стенки скорость такого кругового движения вычитается из скорости потока. Если полученная разность окажется меньше нуля, то возникнет «пристеночный противоток» среды. При этом давление в потоке справа будет выше, чем слева. В точке, где изменение давления меняет знак, происходит так называемый «отрыв потока», т.е. нарушается прилипание потока к стенке.

Это приводит к значительному росту давления в этом потоке. Если это происходит над крылом, то увеличение давления приводит к уменьшению подъемной силы. Как можно видеть на изображении слева, отрыв потока над крылом происходит раньше (левее), чем под крылом. Причина такой асимметрии – угол атаки, т.е. угол, под которым поток пересекается со срединной плоскостью профиля крыла.

При росте этого угла точка отрыва потока на верхней поверхности будет перемещаться к передней кромке, а на нижней – к задней.

При срыве потока давление над крылом резко растет и подъемная сила падает. Это явление получило название «сваливание» в штопор, т.к. первые самолеты оказывались в режиме неуправляемого вращения. Одним из критериев сваливания стал «критический угол атаки».

Большинство современных самолетов от сваливания удерживает автоматика, и пилот не может намеренно ввести воздушное судно в этот режим. Но есть категория самолетов, для которых подобные режимы могут дать шанс на спасение. Это – современные истребители (4-го 5-го поколения).

Но прежде чем штопор превратился в эффектную фигуру высшего пилотажа, надо было найти эффективный способ вывода самолета из этого режима. Что должен делать пилот, «проспавший» предупреждение автоматики, либо намеренно введший самолет в режим штопора?

Ответ дал 24 сентября 1916 года прапорщик Константин Арцеулов. Он намеренно ввел в штопор самолет «Ньюпор -21» и успешно его вывел из этого режима. Впоследствии этому навыку стали обучать летчиков-истребителей, что позволило значительно уменьшить число жертв этого режима полета.

Для этого он использовал парадоксальный прием. Инстинктивной реакцией пилота падающего самолета будет «тянуть штурвал на себя». Но это только усугубляет аэродинамическую ситуацию. Так как причина штопора – самовращение крыла на больших углах атаки, для выхода из этого режима надо угол атаки уменьшать, т.е. наоборот, вниз к Земле! Рули высоты опускаются вниз, а движение руля поворота зависит от направления вращения.

Константин Арцеулов не так известен, как другой пилот – Петр Нестеров, чьим именем названа «мертвая петля».

Дальнейшее изучение процесса аэродинамического сваливания позволило уже в наше время, первоначально на «Су-27», выполнить еще одну эффектную фигуру высшего пилотажа. И хотя ее первым исполнителем был летчик-космонавт РФ Игорь Волк, после демонстрации Виктором Пугачевым на авиасалоне Ле-Бурже, она носит имя «кобра Пугачева». Такой маневр в ближнем воздушном бою позволяет резко погасить скорость, «пропустив вперед» преследователя.

Стремление увеличить скорость полета и уменьшить при этом лобовое сопротивление аппаратов привело к появлению в авиации стреловидных и треугольных крыльев. При этом оказалось, что «стреловидки» куда охотнее сваливаются в штопор, чем их прямокрылые «коллеги».

Вот только природа этого сваливания оказалась связана не с отрывом потока от верхней поверхности крыла, а с изменением его направления. Слева показана схема обтекания стреловидного крыла. Жирная красная стрелка соответствует направлению полета.

Мы видим, что скорость набегающего потока разложена на две составляющие, параллельно и перпендикулярно передней кромке. Составляющая, параллельная кромке, не участвует в создании подъемной силы, увеличивая при этом аэродинамическое сопротивление. Мало того, как показано на схеме справа, стреловидная передняя кромка отклоняет набегающий поток наружу, тем самым дополнительно уменьшая подъемную силу.

Один из способов воспрепятствовать этому – размещение внешних конструктивных элементов в направлении, показанном линиями на правом нижнем рисунке. Такими элементами могут быть:

* направляющие для наружной подвески вооружения в случае истребительной авиации;
* пилоны подвески двигателей в случае их размещения под крылом;
* специальные конструктивные элементы.

На последнем варианте остановимся подробнее. Здесь мы видим крылья двух пассажирских самолетов времен СССР.

Крыло Ту-134, помимо гондолы шасси, содержит два «аэродинамических ребра», направленных вдоль продольной оси самолета. Мы говорили, что подъемную силу образует только составляющая вектора скорости набегающего потока, перпендикулярная к передней кромке. Так почему эти ребра не расположили перпендикулярно кромке? Причина очевидна: в этом случае выигрыш в подъемной силе не окупит проигрыша из-за роста лобового сопротивления.

По другому пути пошли в ОКБ Ильюшина при проектировании Ил-62. Первое впечатление – а куда предкрылок дели? На самом деле его здесь не было. Такая форма передней кромки служит той же цели, что и аэродинамические ребра. Она не позволяет потоку течь вдоль передней кромки.

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

Учитель задает контрольные вопросы:

1. Что является причиной отрыва потока?
2. В чем парадоксальность решения Константина Арцеулова?
3. Чем ограничен угол стреловидности крыла?
4. *ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ* (5 минут)

По завершению урока учитель объясняет ход выполнения домашнего практического задания для закрепления изученного теоретического материала. Задание №24 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.