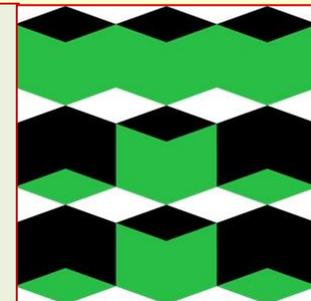




Военный учебный центр при Томском политехническом университете



Цикл
№2

«Боевое применение подразделений,
вооружённых комплексами с БПЛА»



КУРС ЛЕКЦИЙ

Автор: преподаватель 2 цикла
подполковник запаса Гаврилов А. А.



ДИСЦИПЛИНА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА»

Контрольные вопросы

Тема №1

Основы построения комплексов с беспилотными летательными аппаратами

Занятие №2

Основы аэродинамики и динамики полёта ЛА

Цели занятия:

Изучить:

- историю аэродинамики;
- основные понятия и закономерности;
- динамику полёта ЛА.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по истории аэродинамики, основным понятиям и закономерностям, динамике полёта ЛА для формирования компетенций оператора БПЛА.

ВИД ЗАНЯТИЯ:

лекция, 2 часа

Вопросы занятия:

1. История аэродинамики.
2. Основные понятия и закономерности.
3. Динамика полёта ЛА.

Литература:

1. Основы аэродинамики и динамики полёта летательных аппаратов. <https://m.eruditor.one/file/1205430/> стр. 5-16

2. Основы аэродинамики беспилотных воздушных судов.

• https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010737551/ стр. 43-46

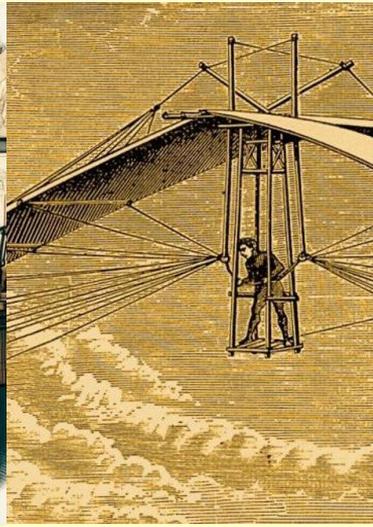
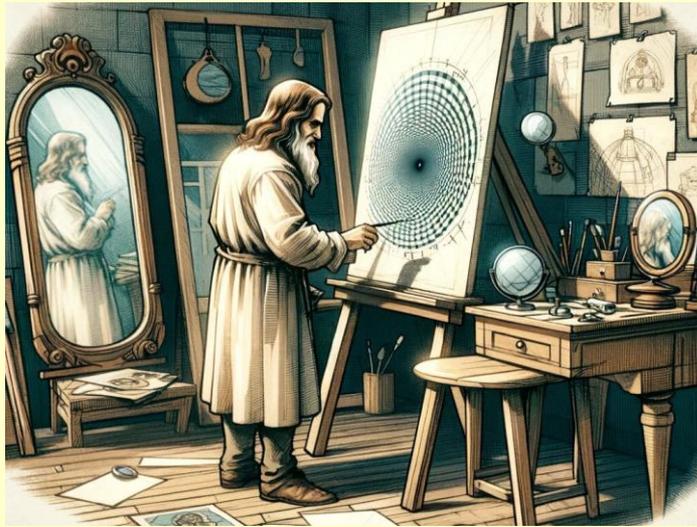
Дополнительные материалы		
№	Название	Ссылка
1	Су-27: Радиолокационная станция (РЛС-1)	https://www.youtube.com/watch?v=O4E7Jdf43o
2	Су 27: Радиолокационная станция Часть 2	https://www.youtube.com/watch?v=mgZ1ZM2haU
3	РЛС "Ирбис-Э" в работе (Су-35)	https://www.youtube.com/watch?v=stR6Pc372tI
4	Возможности РЛС "Ирбис-Э"	https://www.youtube.com/watch?v=Zu9b6AZE7k
5	Командир отряда - старший оператор РЛС (ДВО СВ)	https://www.youtube.com/watch?v=Jc3tdh1Q2s
6	РЛС	https://www.youtube.com/watch?v=407yNH7Zse
7	Общие принципы работы радиолокатора	https://www.youtube.com/watch?v=W3a5dyW3a1U



История аэродинамики

Аэродинамика - наука о движении воздуха и о механическом взаимодействии между воздушным потоком и обтекаемыми телами.

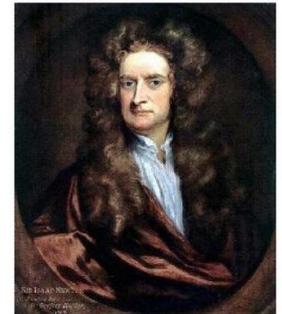
Основная задача, решаемая аэродинамикой, состоит в определении сил и моментов, действующих на самолёт и его части в тех или иных условиях полёта. Возникновение, развитие и становление аэродинамики как науки можно разбить на **ТРИ ЭТАПА**.



Исаак Ньютон
Isaac Newton 1642–1727

- **Законы механики Ньютона** (1687):
 - 1. В отсутствие внешних силовых воздействий тело будет продолжать равномерно двигаться по прямой (**закон инерции**)
 - 2. Ускорение движущегося тела пропорционально сумме приложенных к нему сил и обратно пропорционально его массе:
$$a = F / m$$
где F — сила, m — масса, a — ускорение
 - 3. Всякому действию сопоставлено равное по силе и обратное по направлению противодействие.

$$\vec{F}_{2 \rightarrow 1} = -\vec{F}_{1 \rightarrow 2}.$$



25 декабря 1642 - 20 марта 1727
(84 года)

1 этап. Первые попытки объяснения образования аэродинамических сил относятся к сравнительно далёким временам. Так, известный итальянский учёный и художник Леонардо да Винчи, анализируя полет птицы, в начале XVI столетия пришёл к выводу, что сила, удерживающая её в воздухе, создаётся в результате быстрых ударов крыльями. Предложенная Ньютоном в XVII веке ударная теория аэродинамического сопротивления господствовала в науке вплоть до XX столетия и послужила основой современной аэродинамики разреженных газов.

История аэродинамики

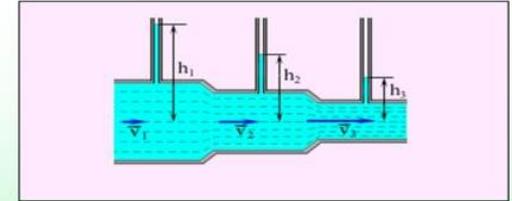
ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР

швейцарский, немецкий и российский математик и механик, внёсший фундаментальный вклад в развитие этих наук. Он глубоко изучал медицину, химию, ботанику, воздухоплавание, теорию музыки, множество европейских и древних языков. Академик Петербургской, Берлинской, Туринской, Лиссабонской и Базельской академий наук, иностранный член Парижской академии наук.

Почти полжизни провёл в России, где внёс существенный вклад в становление российской науки.



Закон Бернулли



Закон Д.Бернулли (1700-1782г), сформулирован им для жидкостей, но справедлив и для газов, заключается в том, что с увеличением скорости потока давление внутри потока уменьшается.

2 этап. Начало становления аэродинамики как науки связано с трудами академиков Российской академии наук Леонарда Эйлера (1707-1783) и Даниила Бернулли (1700-1783).

Л. Эйлер сформулировал общие уравнения движения жидкости и газа, применил к этому движению открытый М.В. Ломоносовым закон сохранения вещества, исследовал случаи сопротивления тел в жидкой среде, вывел ряд рекомендаций применительно к кораблестроению и конструированию гидравлических машин. Уравнения Эйлера описывают вращение твердого тела в системе координат, связанной с самим телом.

Д. Бернулли установил количественные соотношения между изменениями кинетической энергии и давления жидкости, исследовал ряд задач, связанных с определением сил давления.

История аэродинамики

"Человек полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума..."

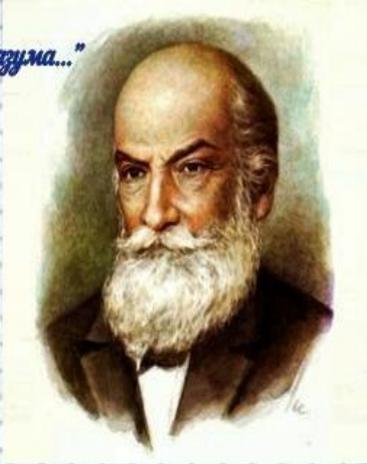


Николай Егорович Жуковский (1847 – 1921) – русский учёный, создатель аэродинамики как науки, профессор Московского университета, «отец русской авиации».

Они были первыми в мировой авиации



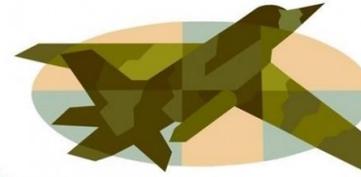
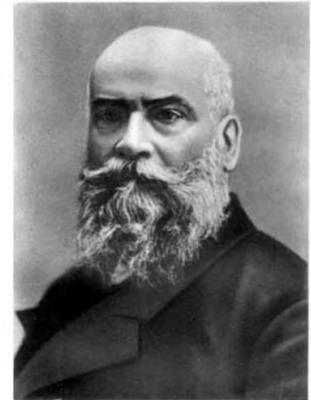
Александр Фёдорович Можайский (1825 – 1890) — российский военный (морской) деятель — контр-адмирал, изобретатель — «пионер авиации», сконструировал первый в мире самолет.



Отец русской авиации профессор
Н. Е. Жуковский

Из истории науки и техники известно, что идеи многих изобретений человек подглядел в природе.

Русский ученый Николай Егорович Жуковский, основоположник науки аэродинамики, также исследовал механизм полета птиц.



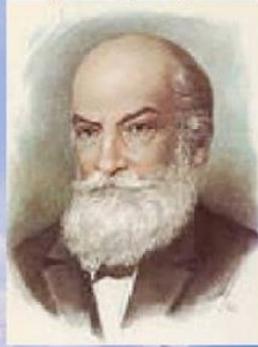
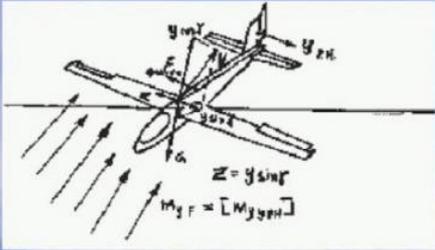
3 этап. Бурное развитие аэродинамики началось с первых лет XX столетия в связи с появлением новой отрасли техники - авиации. Основателем авиационной аэродинамики является Н.Е. Жуковский (1847-1921). Будучи одним из крупнейших математиков и механиков своего времени, талантливым инженером, Н.Е. Жуковский лично разработал целый ряд важнейших проблем авиационной аэродинамики.

Как талантливый педагог, он воспитал большую группу учеников, многие из которых стали достойными продолжателями его дела.

По инициативе Н.Е. Жуковского и под его руководством были созданы первые в России аэродинамические лаборатории. В конце 1918 г. был организован Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ).

История аэродинамики

Николай Егорович Жуковский открыл законы движения тел в воздушной среде.



Чаплыгин Сергей
Алексеевич

- Чаплыгин С.А. русский и советский механик и математик, один из основоположников современной гидро- и аэродинамики. Им были написаны работы «О газовых струях» (1903), «О давлении плоскопараллельного потока на преграждающие тела (к теории аэроплана)» (1910).

3 этап. Жуковского называют «отцом русской авиации». Он первым в мире научно разрешил проблему подъёмной силы крыла, разработал и применил к решению практических задач вихревую теорию крыла и воздушного винта, разработал метод аэродинамического расчёта самолёта и многие вопросы методики проведения аэродинамического эксперимента.

Работу Н.Е. Жуковского успешно продолжил его ученик и соратник академик С.А. Чаплыгин (1869-1942). Им была установлена зависимость между сопротивлением крыла и его удлинением, детально разработана теория крыла конечного размаха, исследованы моментные характеристики крыла и введено понятие «аэродинамический фокус». Огромной заслугой С.А. Чаплыгина является разработка теории движения газа с большими скоростями, ставшей основой современной газовой динамики.



Вопрос №2

Основные понятия и закономерности

Аэродинамика

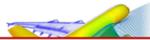


Аэродинамика – наука, изучающая законы движения воздуха (газа) и механическое взаимодействие между воздухом (газом) и движущимся телом.

- **Гидроаэродинамика** – раздел аэродинамики, рассматривающий движение несжимаемую жидкость.
- **Аэродинамика малых скоростей**

- **Аэродинамика разреженных газов (супераэродинамика)** изучает обтекание тел разреженным газом, встречающимся на больших высотах.

Предмет и задачи аэродинамики



Предмет и задачи аэродинамики

В соответствии с методами решения возникающих задач Аэродинамика делится на **теоретическую** и **экспериментальную**.

Основная задача Аэродинамики – разработка методов расчета аппаратов методами расчета. В процессе проектирования производят аэродинамические расчеты и посадочные (скоростные) характеристики (полезную нагрузку) и на полезную нагрузку. Специальный раздел Аэродинамики занимается разработкой методов аэродинамических испытаний, действующих опытных образцов. К Аэродинамике самолета относятся также теория и практика проектирования. Вопросы, связанные с проектированием аппаратов, рассматриваются в разделе **Аэродинамика**.

Первая итерация решения – теоретический анализ основных законов гидродинамики, аэродинамики, аэродинамики, аэродинамики.

При помощи анализа опытных данных были разработаны методы определения аэродинамических характеристик маломасштабных моделей. Теория моделирования и экспериментальной Аэродинамики. В экспериментальной Аэродинамике, в соответствии с теорией, скорость v , равная силе, обуславливается воздушным потоком. Такое обращение движется.

Принцип обратимости

Принцип обратимости лежит в основе аэродинамических исследований. Согласно этому принципу воздействие воздушного потока на неподвижное тело равносильно воздействию неподвижного тела на движущееся.

Гипотеза сплошности среды

Гипотеза сплошности среды. Воздух рассматривается как сплошная среда с непрерывным распределением вещества в пространстве.

Связано с высокой скоростью течения, где происходят полеты.

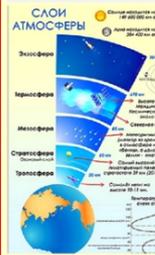
Закон Бернулли

Одним из фундаментальных законов аэродинамики является закон П. Бернулли. Данный закон был сформулирован для течения идеальной жидкости. Закон Бернулли гласит: сумма статического и динамического давлений постоянна. Динамическое давление – давление, обуславливаемое скоростью течения. При переходе жидкости из состояния покоя в состояние течения скорость течения возрастает. Тот же самый принцип применяется к газам.

Строение атмосферы

Атмосфера – это газовая оболочка, которая благодаря воздействию гравитационного поля Земли, удерживается на поверхности Земли, а полеты ЛА происходят в атмосфере.

Слои атмосферы: Тропосфера, Стратосфера, Мезосфера, Термосфера, Экзосфера.



Основные параметры воздуха

Воздух, составляющий атмосферу, представляет собой механическую смесь газов. В нижних слоях атмосферы содержится азот (N_2) – 78 %, кислород (O_2) – 0,93 %, др. газы – 0,07 %.

Температура – это мера хаотического (тепловое) движения молекул по шкале Цельсия ($^{\circ}C$).

Давление (P) – сила, действующая на единицу площади. Единица измерения: Па.

Вязкость – способность жидкостей и газов сопротивляться усилиям сдвига своих частиц.

Наибольшей вязкостью обладают твердые тела, у которых велики внутренние силы сцепления частиц. Газы, между молекулами которых расстояния достаточно велики, практически не сопротивляются относительному сдвигу слоев частиц в свободном потоке. Однако, вязкость газа, не проявляемая в свободном потоке, сильно сказывается при движении потока вблизи твердой поверхности.

Эффект «прилипания» (или «смачивания») нижнего слоя потока приводит к торможению частиц в вышележащих слоях.

Сжимаемость воздуха (или другого газа) – его способность изменять свой объем и плотность при изменении температуры или давления.

Основные свойства воздуха

Инертность – свойство воздуха сопротивляться изменению состояния покоя или равномерного прямолинейного движения (второй закон Ньютона).

Мерой инертности является массовая плотность воздуха. Массовая плотность, также как масса воздуха, является мерой инертности воздуха. Это является причиной сопротивления воздуха в полете.

Вязкость – способность жидкостей и газов сопротивляться усилиям сдвига своих частиц.

Наибольшей вязкостью обладают твердые тела, у которых велики внутренние силы сцепления частиц. Газы, между молекулами которых расстояния достаточно велики, практически не сопротивляются относительному сдвигу слоев частиц в свободном потоке. Однако, вязкость газа, не проявляемая в свободном потоке, сильно сказывается при движении потока вблизи твердой поверхности.

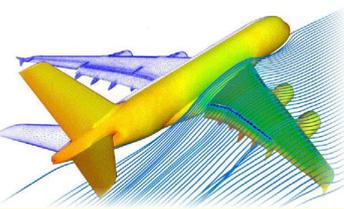
Эффект «прилипания» (или «смачивания») нижнего слоя потока приводит к торможению частиц в вышележащих слоях.

Сжимаемость воздуха (или другого газа) – его способность изменять свой объем и плотность при изменении температуры или давления.



Практический смысл самолетостроения – манометрический способ измерения силы.

Аэродинамика

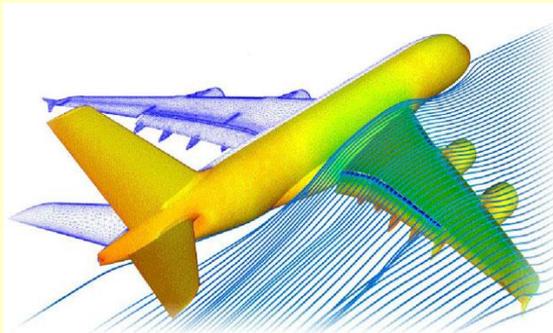


Аэродинамика – наука, изучающая законы движения воздуха (газа) и механическое взаимодействие между воздухом (газом) и движущимся в нем телом.

РАЗДЕЛЫ АЭРОДИНАМИКИ

- *Гидроаэродинамика* – раздел аэродинамики, рассматривающий воздух как несжимаемую жидкость
- *Аэродинамика малых скоростей*
- *Аэродинамика больших скоростей (газовая динамика)* – изучает движение газа с большой скоростью, близкой к скорости распространения звука (проявляется сжимаемость воздуха – газа)
- *Гипераэродинамика* – изучает обтекание тел воздухом при очень больших, так называемых гиперзвуковых скоростях, которые в 5 и более раз превышают скорость звука
- *Аэродинамика разреженных газов (супераэродинамика)* – изучает обтекание тел сильно разреженным газом, встречающимся на больших высотах
- *Аэродинамика ионизированного газа (магнитоаэродинамикой)* – изучает движение с большими гиперзвуковыми скоростями, при которых возникают явления ионизации молекул воздуха, изменяющие его физические свойства

Предмет и задачи аэродинамики



Основная задача Аэродинамики — обеспечить проектные разработки летательных аппаратов методами расчёта действующих на них аэродинамических сил.

В процессе проектирования самолёта, вертолёт для определения его лётных свойств производят аэродинамический расчёт, в результате которого находят максимальную, крейсерскую и посадочную скорости полёта, скорость набора высоты (скороподъёмность) и наибольшую высоту полёта («потолок»), дальность полёта, полезную нагрузку.

Специальный раздел Аэродинамики — аэродинамика самолёта — занимается разработкой методов аэродинамического расчёта и определением аэродинамических сил и моментов, действующих на самолёт в целом и на его части — крыло, фюзеляж, оперение.

К Аэродинамике самолёта относят обычно и расчёт устойчивости и балансировки самолёта, а также теорию воздушных винтов.

Вопросы, связанные с изменяющимся нестационарным режимом движения летательных аппаратов, рассматриваются в специальном разделе — динамика полёта.

Предмет и задачи аэродинамики

В соответствии с методами решения возникающих задач Аэродинамика делится на *теоретическую* и *экспериментальную*.

Первая ищет решение путём теоретического анализа основных законов гидроаэромеханики, сформулированных в форме уравнений Эйлером, Лагранжем, Навье, Стоксом.

При помощи анализа основных законов течения воздуха в теоретической Аэродинамике были разработаны вопросы теории подобия и моделирования, которые позволяют определить аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат, в результате испытания маломасштабной модели этого аппарата.

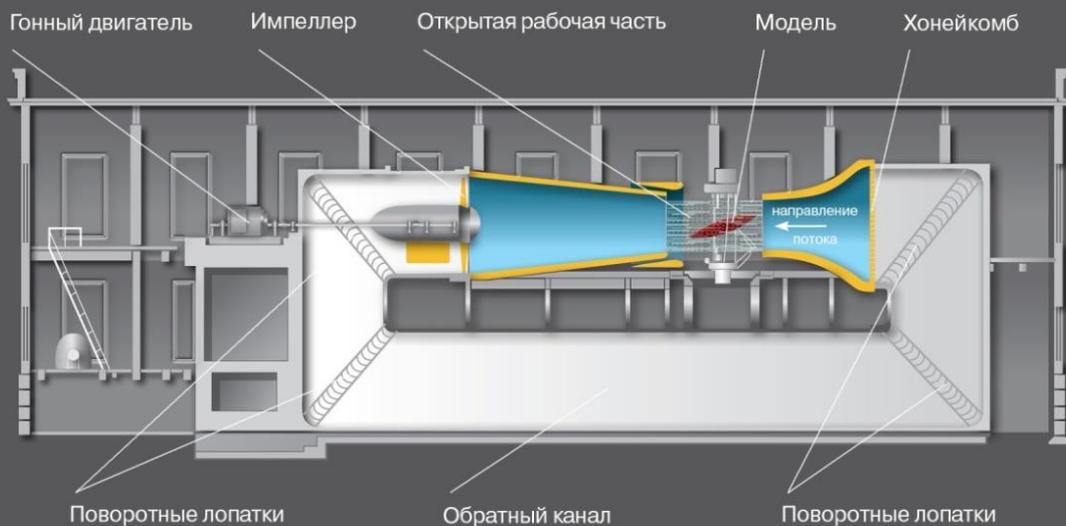
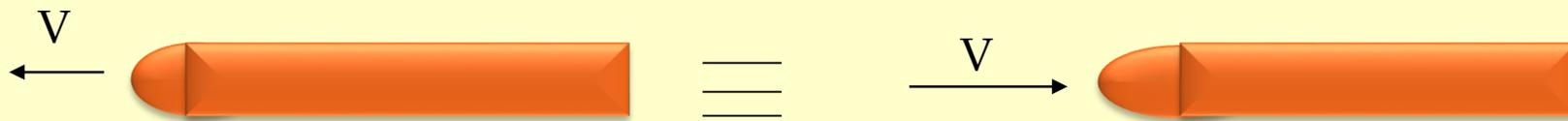
Теория моделирования позволяет также определить и условия, в которых должна испытываться модель. Этот раздел теоретической Аэродинамики является основой экспериментальной Аэродинамикой, главная задача которой состоит в получении численных значений аэродинамических сил, действующих на аппарат, путём испытания модели на специальных установках.

В экспериментальной Аэродинамике широко пользуются *законом обращения движения*, в соответствии с которым сила, действующая на тело, движущееся со скоростью v , равна силе, действующей на то же тело, закрепленное неподвижно и обдуваемое воздушным потоком с той же скоростью v .

Такое обращение движения не изменяет силовое и тепловое взаимодействие аппарата и воздуха.

Принцип обратимости

Принцип обратимости лежит в основе аэродинамических исследований. Согласно этому принципу воздействие воздушного потока на неподвижное тело равносильно воздействию неподвижного потока на движущееся в ней тело. Таким образом, можно изучать силовое взаимодействие воздушной среды на ЛА путём придания воздуху скорости ЛА, а аппарат при этом оставлять неподвижным.



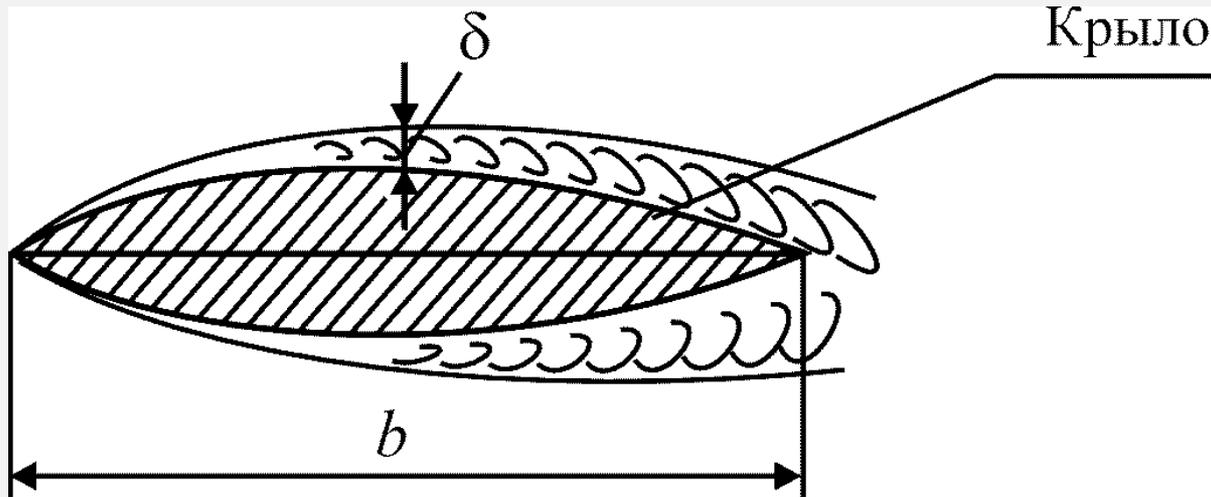
Аэродинамическая труба

Установки, на которых исследуют силы и моменты, действующие на неподвижно закрепленную модель — *аэродинамические трубы*, являются основной частью экспериментальной базы аэродинамических лабораторий.

Гипотеза сплошности среды

Гипотеза сплошности среды. Воздух рассматривается как сплошная среда с непрерывным распределением вещества в пространстве.

Связано с высокой концентрацией молекул воздуха в нижних слоях атмосферы, где происходят полёты ЛА.

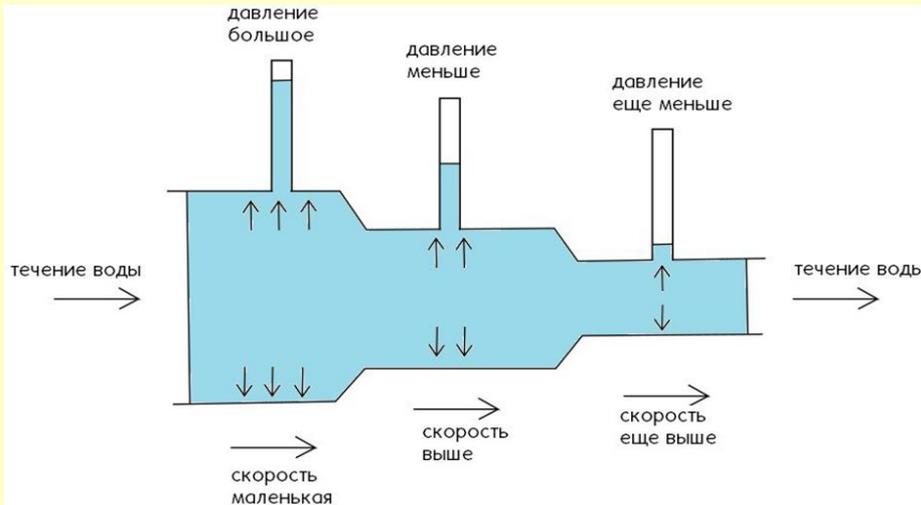


Практический смысл гипотезы сплошности для специалистов в области самолетостроения состоит в возможности определения границ применения способов измерения воздушных параметров, например:

- манометрического метода при определении скорости, числа M , подъемной силы.

Закон Бернулли

Одним из фундаментальных законов аэродинамики является закон Д. Бернулли. Данный закон был сформулирован для жидкостей, но он справедлив и для газов. Закон Бернулли гласит, что в тех участках течения жидкости, где скорость больше - давление меньше и наоборот. Его ещё называют законом сохранения энергии.



При переходе жидкости с участка трубы с большим сечением на участок с меньшим, скорость течения возрастает, т.е. жидкость движется с ускорением. Тот же самый принцип справедлив и для газа.

Строение атмосферы

Атмосфера — это газовая оболочка, которая благодаря воздействию гравитационного поля Земли удерживается ею и вращается вместе с планетой как единое целое. Плотность воздуха и атмосферное давление максимальны у поверхности Земли, а с подъёмом на высоту постепенно уменьшаются. Полёты ЛА происходят в атмосфере, поэтому при эксплуатации ЛА необходимо учитывать её строение и параметры (давление, плотность, температуру).



Атмосфера делится на несколько слоёв или сфер, отличающихся между собой физическими свойствами.

Наиболее отчётливо различие слоёв атмосферы проявляется в характере распределения температуры воздуха с высотой.

По этому признаку выделяют пять основных сфер: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера.

Основные параметры воздуха

Воздух, составляющий атмосферу, представляет собой механическую смесь газов. В нижних слоях атмосферы содержание газов следующее: азот (N_2) ~ 78 %, кислород (O_2) ~ 21 %, аргон (Ar) ~ 0,93 %, др. газы (в т. ч. CO_2 - углекислый газ) ~ 0,07 %.



Температура – это степень нагретости тела. Она характеризует скорость хаотического (теплового) движения молекул вещества. Измеряется в градусах по шкале Цельсия ($^{\circ}C$) и абсолютной шкале Кельвина (T), где $T = 273 + t_{\circ} C$.

Давление (P) – сила, действующая на единицу поверхности, перпендикулярно к ней: $p = \frac{dF}{dS}$.

Атмосферное давление – это давление, вызываемое массой вышележащих слоёв воздуха и ударами хаотически движущихся молекул. Измеряется в системе СИ: $1 \text{ Па} = \text{Н/м}^2$; $1 \text{ Н} = 1/9,8 \text{ кгс}$.

Плотность вещества - скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму или как производная массы по объёму: $\rho = M/V$; $\rho = \mu \, dm/dV$

Массовая плотность измеряется в системе СИ в единицах: 1 кг/м^3

Основные свойства воздуха

Инертность – свойство воздуха сопротивляться изменению состояния покоя или равномерного прямолинейного движения (**второй закон Ньютона**).

Мерой инертности является массовая плотность воздуха. Массовая плотность, также как масса воздуха, является мерой инертности воздуха. Это является причиной сопротивления воздуха в полете

Вязкость – способность жидкостей и газов сопротивляться усилиям сдвига своих частиц.

Наибольшей вязкостью обладают твердые тела, у которых велики внутренние силы сцепления частиц. Газы, между молекулами которых расстояния достаточно велики, практически не сопротивляются относительному сдвигу слоев частиц в свободном потоке. Однако, вязкость газа, не проявляемая в свободном потоке, сильно сказывается при движении потока вблизи твердой поверхности.

Эффект «прилипания» (или «смачивания») нижнего слоя потока приводит к торможению частиц в вышележащих слоях

Сжимаемость воздуха (или другого газа) – его способность изменять свой объем и плотность при изменении температуры или давления

Вопрос №3

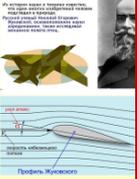
Динамика полёта ЛА

Динамика полёта ЛА

Динамика полёта — это наука о движении летательных аппаратов. Основная задача динамики полёта — определить условия полёта под действием заданных сил.

С точки зрения теории динамики полёта, объект исследования — это летательный аппарат, обладающий максимальной дальностью полёта, максимальной прочностью и обеспечением наименьших потерь.

Отец русской авиации профессор Н. Е. Жуковский

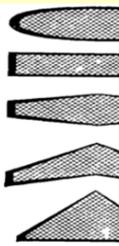


Крыло — это не только аэродинамический орган самолёта. Крыло имеет направленную по своей длине форму, обусловленную условиями полёта: силы тяжести, сопротивления.

Динамика полёта ЛА

Геометрические характеристики крыла

Геометрические характеристики крыла сводятся в основном к характеристикам формы крыла в плане.



Характеристики профиля

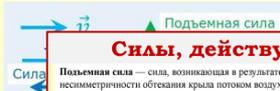
Профилем крыла называется форма его поперечного сечения.

Характеристики профиля



Основными характеристиками профиля являются: хорда.

Силы, действующие на ЛА в полёте



Силы, действующие на ЛА в полёте

Подъёмная сила — сила, возникающая в результате несимметричности обтекания крыла потоком воздуха.

Силы, действующие на ЛА в полёте

Движение самолёта в полёте происходит под действием:

- силы тяги двигателя;
- гравитационной силы;
- аэродинамической силы.

Элементы конструкции и органы управления ЛА

Планер-фюзеляж, крыло, оперение.

Связанная система координат

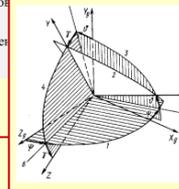


СВЯЗАННАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ. OXYZ

Центр O СК в ЦМ самолёта. Расположение осей: ось OX — по строительной оси самолёта; ось OY — вверх в плоскости симметрии (OXY); OZ — по правой плоскости ортогонально плоскости симметрии.

Взаимное положение связанной и нормальной СК определяют углы Эйлера:

- угол рыскания, ψ — это угол между осью нормальной системы координат и проекцией продольной оси на горизонтальную плоскость OX_0Z_0 нормальной системы координат.
- угол тангажа, θ — это угол между продольной осью OX и горизонтальной плоскостью OX_0Z_0 нормальной системы координат.
- угол крена, γ — это угол между поперечной осью OZ и осью OZ_0 нормальной системы координат, смещённой в положение, при котором угол рыскания равен нулю.



Динамика полёта ЛА

Динамика полёта — это наука о движении летательных аппаратов.

Основная задача динамики полёта — это выявление закона движения самолёта под действием заданной системы сил и моментов.

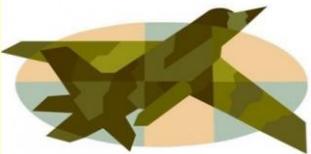
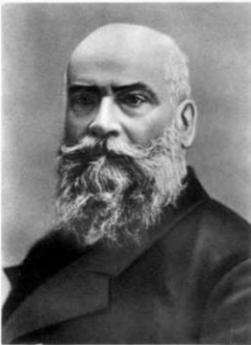
С точки зрения повышения эффективности полётов важными являются **задачи динамики полёта**, обеспечивающие экстремальное значение какого-либо параметра:

- максимальной дальности полёта,
- максимальной продолжительности,
- обеспечение наименьшей себестоимости полёта и т.д.

Отец русской авиации профессор
Н. Е. Жуковский

Из истории науки и техники известно, что идеи многих изобретений человек подглядел в природе.

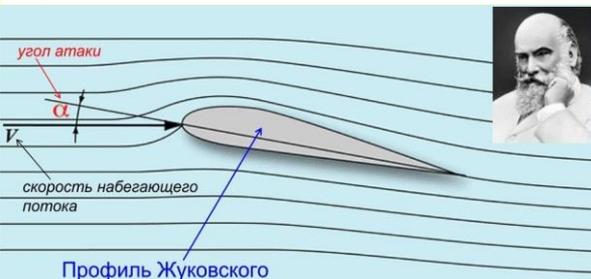
Русский ученый Николай Егорович Жуковский, основоположник науки аэродинамики, также исследовал механизм полета птиц.



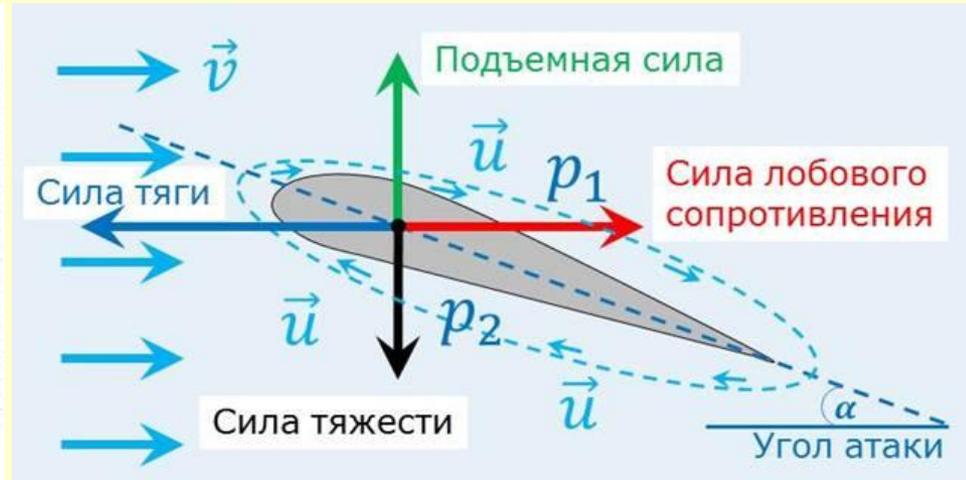
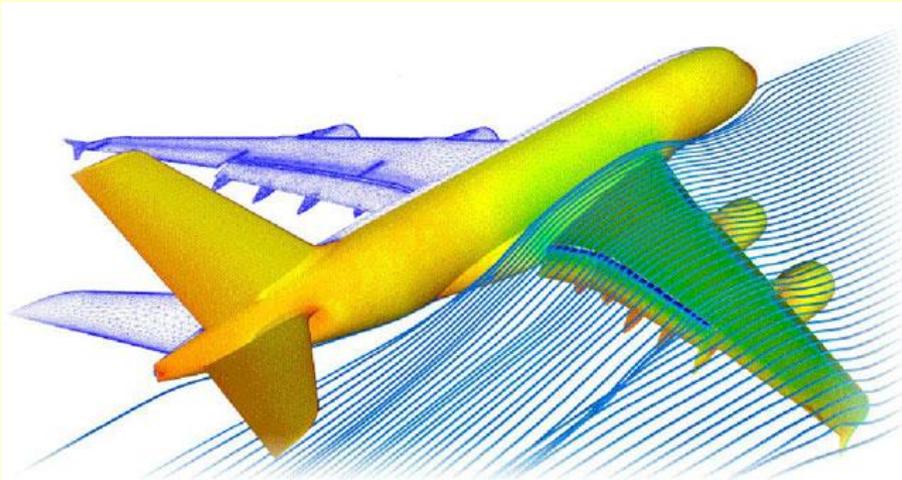
Основоположником динамики полёта является Н.Е. Жуковский. Одна из первых в мире научных работ, посвящённых исследованию закономерностей установившегося и неуставившегося полётов («О парении птиц»), была написана им в 1891-1892 гг.

В 1913 г. Н.Е. Жуковский издаёт первый систематический курс динамики полёта («Динамика аэроплана в элементарном изложении»).

Дальнейшее развитие динамики полёта связано с трудами учеников Н.Е. Жуковского: В.П. Ветчинкина, В.Н. Юрьева, В.С. Пышнова, И.В. Остославского и многих других выдающихся учёных.



Динамика полёта ЛА



Крыло – это несущая поверхность ЛА, применяемая для создания аэродинамической подъёмной силы.

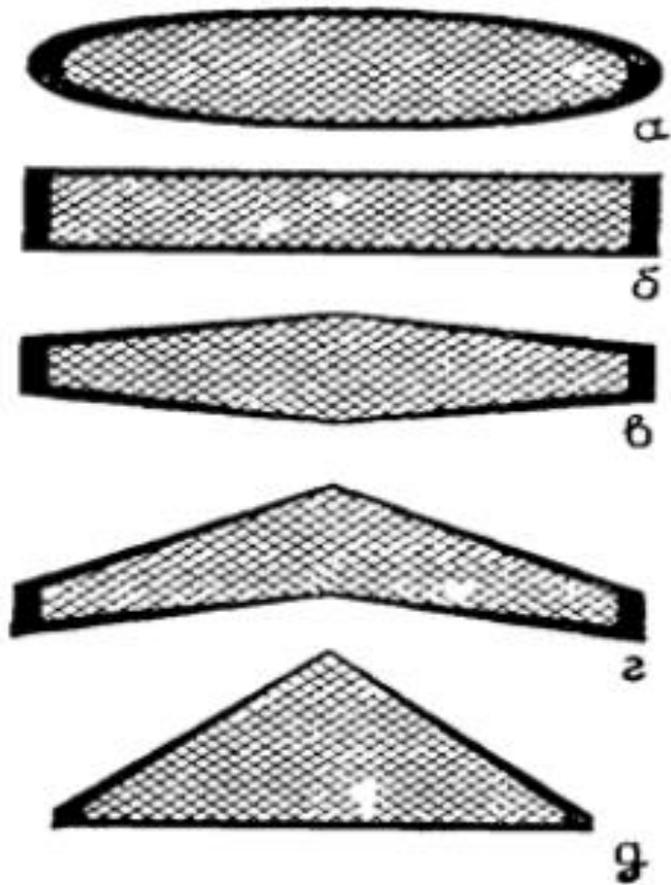
Крыло имеет профилированную форму в сечении по направлению потока и в полёте подвергается влиянию сил, обусловленных наличием воздуха:

- силы тяжести, подъёмной силы, силы тяги двигателя и силы сопротивления воздуха (лобовое сопротивление).

Геометрические характеристики крыла

Геометрические характеристики крыла сводятся в основном к характеристикам формы крыла в плане и к характеристикам профиля крыла.

Крылья по форме в плане:



эллипсовидное (а),

- наилучшее в аэродинамическом отношении
- сложно в производстве

прямоугольное (б),

- менее выгодно в аэр. отношении
- проще в изготовлении.

трапециевидные (в),

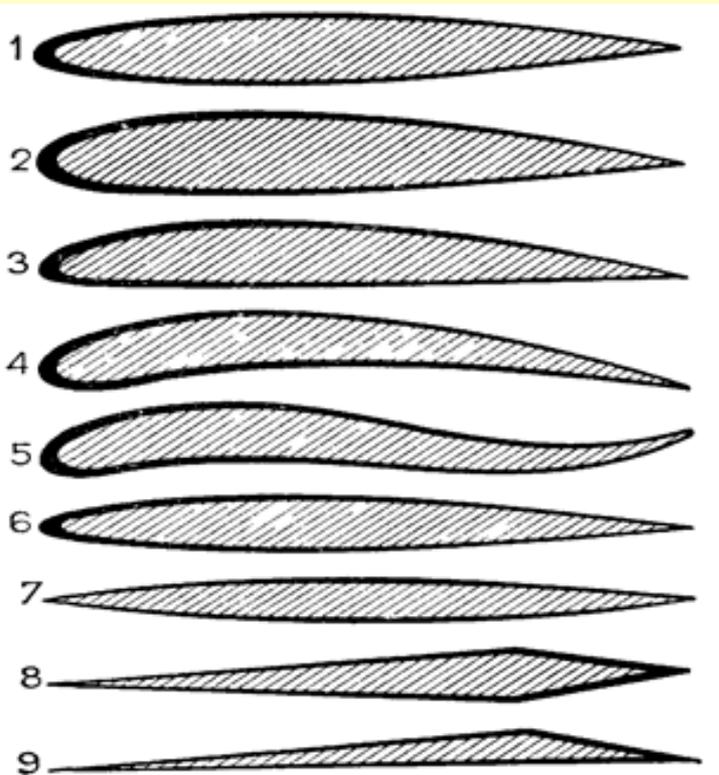
- лучше прямоугольного
- сложнее в изготовлении

стреловидные (г) и треугольные (д)

- Уступают трапециевидным и прямоугольным на дозвуковых скоростях,
- Преимущество на сверхзвуковых и околозвуковых скоростях

Характеристики профиля

Профилем крыла называется форма его поперечного сечения.

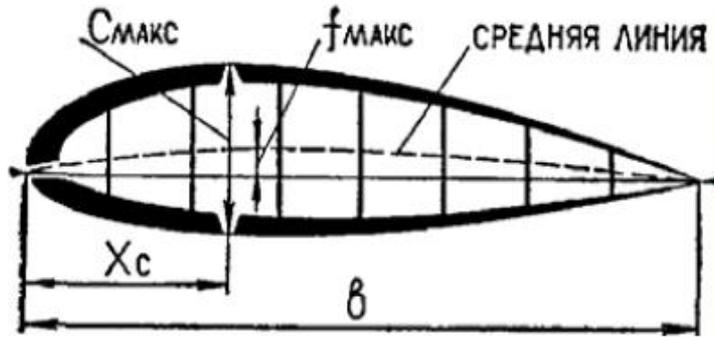


- 1 - симметричный;
- 2 - несимметричный;
- 3 - плосковыпуклый;
- 4 - двояковыпуклый;
- 5 - S-образный;
- 6 - ламинизированный;
- 7 - чечевицеобразный;
- 8 - ромбовидный;
- 9 - Δ видный

Чечевицеобразные и клиновидные могут применяться для сверхзвуковых самолетов.

На современных самолетах применяются в основном симметричные и двояковыпуклые несимметричные профили.

Характеристики профиля



Основными характеристиками профиля являются: хорда профиля, относительная толщина, относительная кривизна

Хордой профиля b называется отрезок прямой, соединяющий две наиболее удаленные точки профиля.

Относительной толщиной профиля c называется отношение максимальной толщины $c_{\text{макс}}$ к хорде, выраженное в процентах:

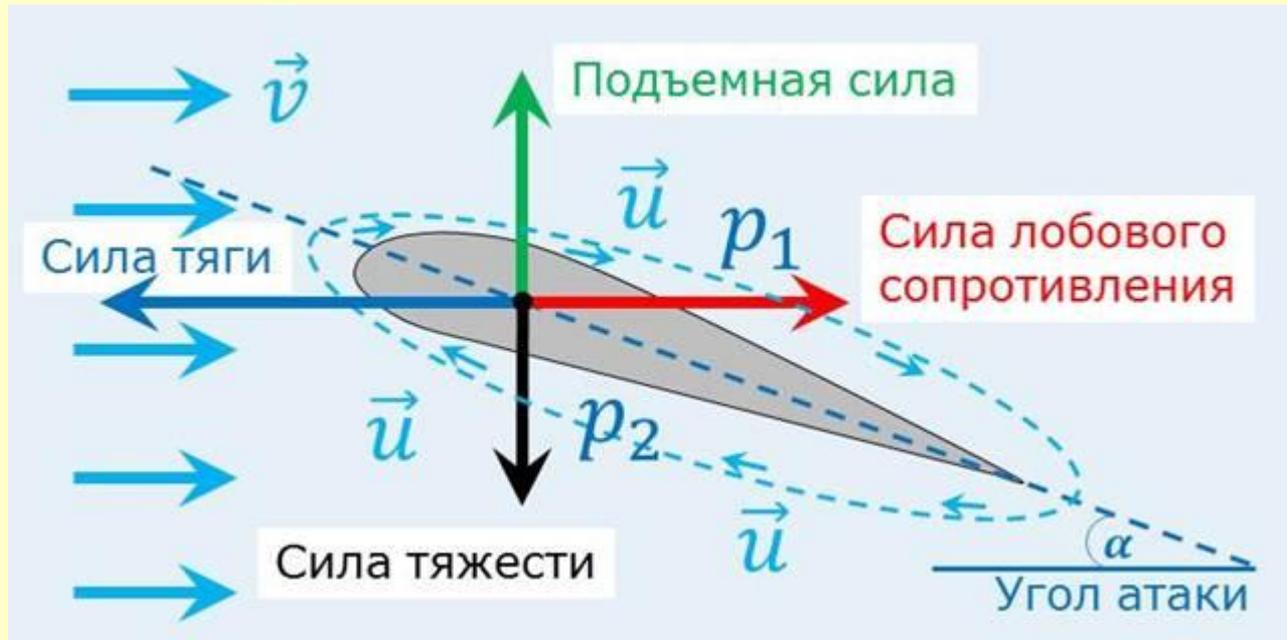
$$c = \frac{c_{\text{макс}}}{b} \cdot 100\%$$

Положение максимальной толщины профиля x_c **выражается в процентах от длины хорды u** и отсчитывается от носка:

$$x_c = \frac{x_c}{b} \cdot 100\%$$

У современных самолетов относительная толщина профиля находится в пределах 4-16%.

Силы, действующие на ЛА в полёте



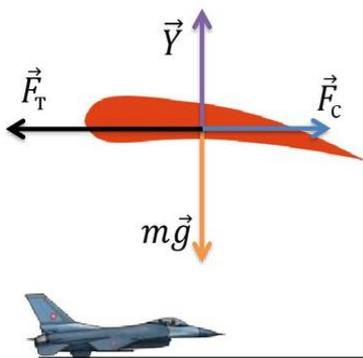
Сила тяжести остаётся постоянной и включает в себя вес аппарата и силу притяжения.

Подъёмная сила противодействует силе тяжести и варьируется в зависимости от количества энергии, затрачиваемой на движение вперёд.

Силе тяги противодействует **сила сопротивления воздуха** (лобовое сопротивление). При прямом и горизонтальном полёте силы взаимно уравновешивают друг друга.

Силы, действующие на ЛА в полёте

Подъемная сила — сила, возникающая в результате несимметричности обтекания крыла потоком воздуха.



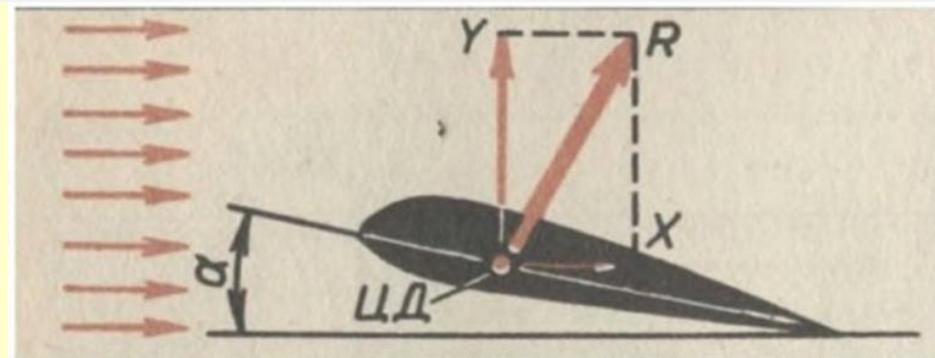
$$Y = C_y \frac{\rho v^2}{2} S$$

C_y — коэффициент подъемной силы ($\approx 0,033$),

ρ — плотность воздуха,

v — скорость потока воздуха,

S — характерная площадь.



Угол атаки — это угол между направлением воздушного потока и продольной осью ЛА

Подъёмная сила — составляющая полной аэродинамической силы, перпендикулярная вектору скорости движения ЛА, возникающая в результате несимметричности обтекания крыла воздушным потоком.

Подъёмная сила крыла возникает не только за счёт угла атаки, но также благодаря несимметричному профилю поперечного сечения крыла, который чаще всего имеет более выпуклую верхнюю часть.

Крыло, перемещаясь, рассекает воздух. Одна часть встречного потока воздуха пройдёт под крылом, другая — над ним. За счёт выпуклости верхней части крыла, верхние струйки воздуха проходят больший путь в сравнении с нижними. Однако количество воздуха, набегающего на крыло — всегда одинаково, значит верхние струйки должны двигаться быстрее.

В соответствии с законом Бернулли, если скорость воздушного потока под крылом меньше, чем над крылом, то давление под крылом, наоборот, будет больше, чем над ним.

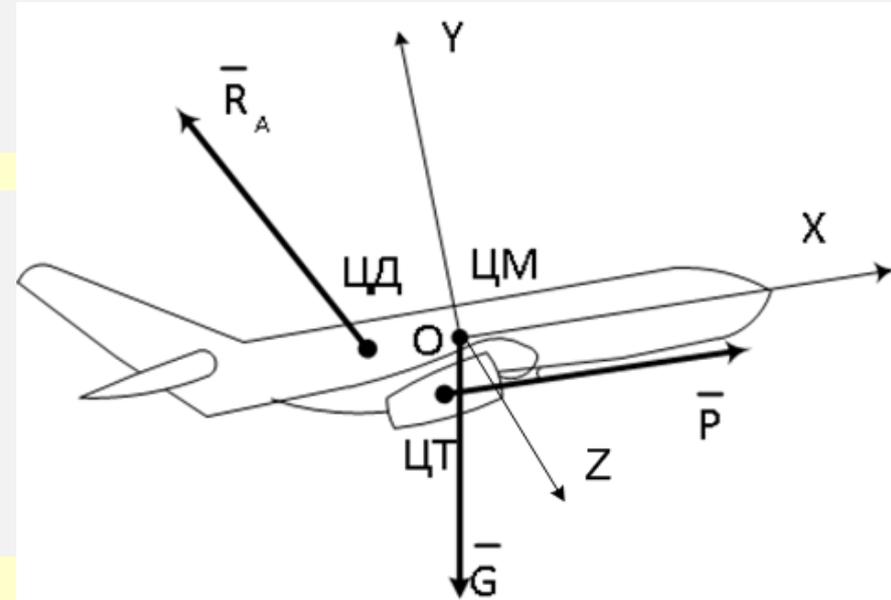
Эта разность давлений и создаёт *аэродинамическую силу*, R , составляющей которой является подъёмная сила Y .

Силы, действующие на ЛА в полёте

Движение самолета в полете происходит под действием:

- силы тяги двигателей \vec{P}
- гравитационной силы тяжести \vec{G}
- аэродинамической силы планера \vec{R}_A

- **Тяга** главный вектор системы сил, действующих на самолет со стороны двигателя в результате его функционирования. Точка ее приложения (центр тяги ЦТ) определяется положением двигателей на самолете.



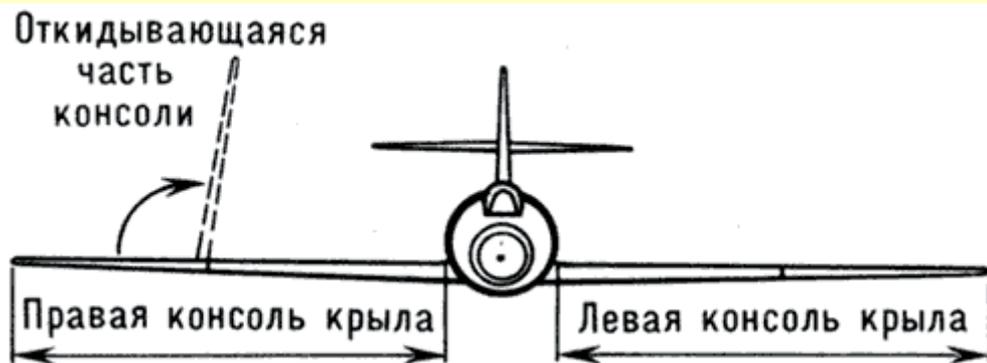
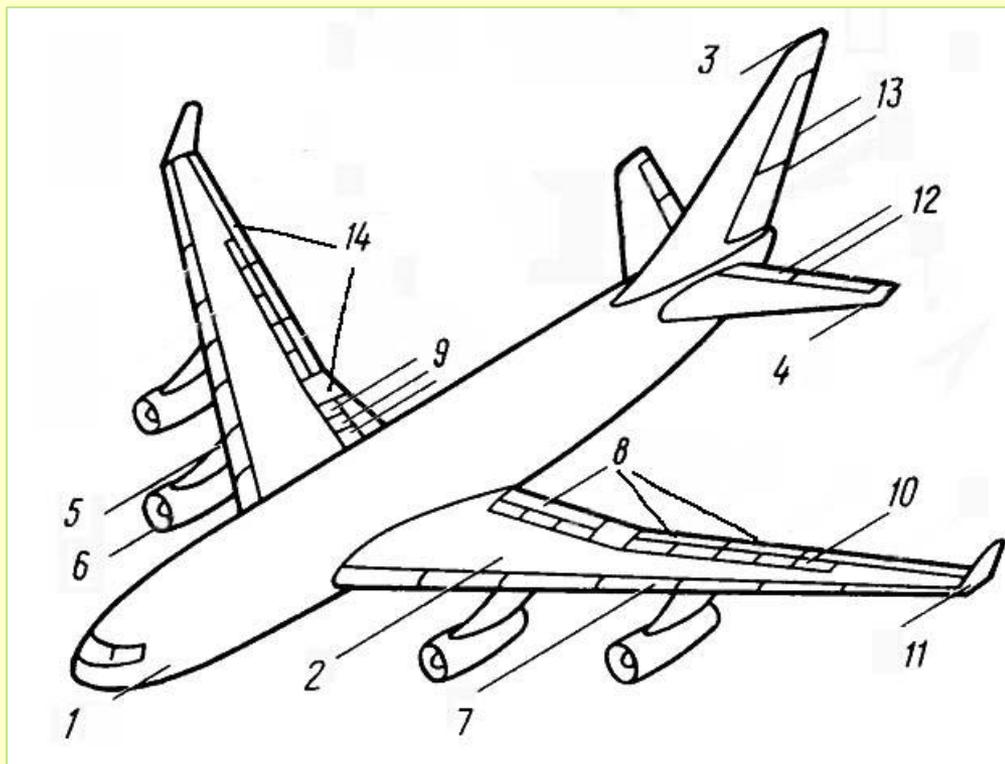
Сила тяжести - равнодействующая сила тяжести каждого элемента массы самолета. Точка ее приложения - центр масс (ЦМ) самолета, а направление - по вектору ускорения свободного падения вниз.

Аэродинамическая сила планера (аэродинамическая сила) - главный вектор системы сил, действующих на самолет со стороны окружающей среды при его движении. Эта сила приложена в центре давления (ЦД), положение которого изменяется в зависимости от углов атаки и скольжения, скорости, конфигурации самолета.

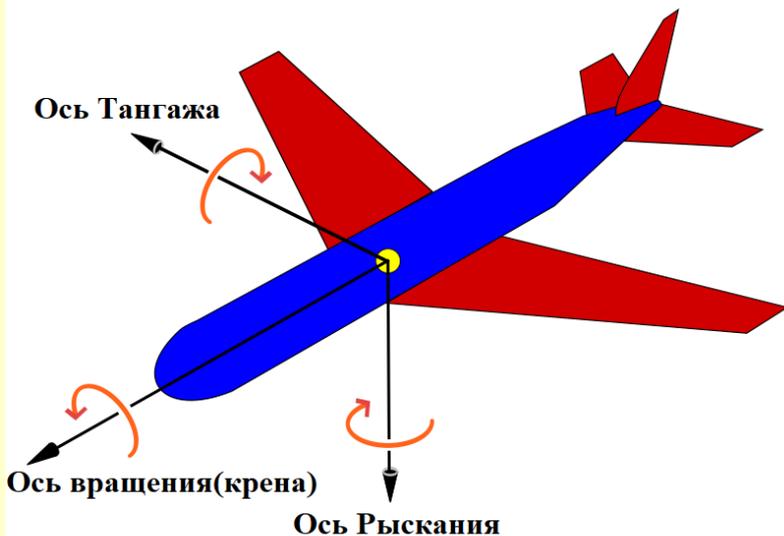
Элементы конструкции и органы управления ЛА

Планер-фюзеляж, крыло, оперение.

- 1- фюзеляж;
- 2-крыло;
- 3-киль;
- 4-стабилизатор;
- 5-пилон;
- 6-мотогондола с двигателем
- 7-секции предкрылков;
- 8-секции закрылков;
- 9-тормозные щитки;
- 10-интерцепторы;
- 11-вертикальная законцовка;
- 12-секции руля высоты;
- 13-секции руля направления;
- 14-секции элеронов.



Связанная система координат



СВЯЗАННАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ: OXYZ

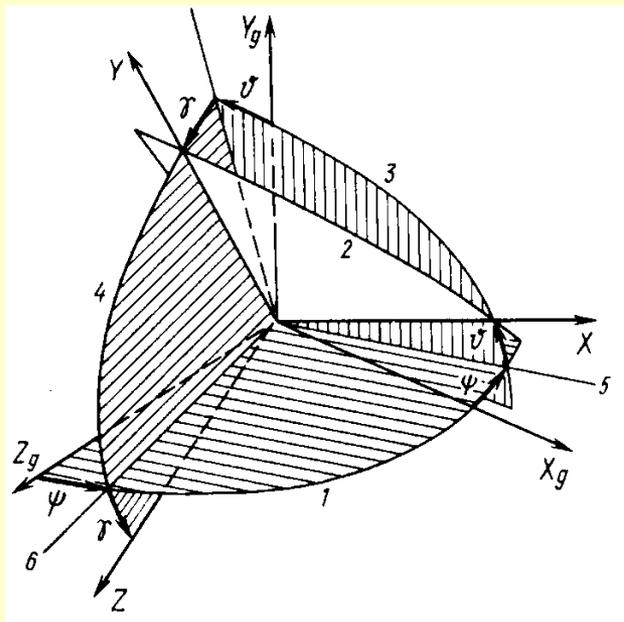
Центр О СК в ЦМ самолета.

Расположение осей: ось OX - по строительной оси самолета; ось OY - вверх в плоскости симметрии (OXY);

OZ - по правой плоскости ортогонально плоскости симметрии.

Взаимное положение связанной и нормальной СК определяют углы Эйлера:

- угол рыскания, ψ - это угол между осью нормальной системы координат и проекцией продольной оси на горизонтальную плоскость OX_gZ_g нормальной системы координат.
- угол тангажа, ν - это угол между продольной осью OX и горизонтальной плоскостью OX_gZ_g нормальной системы координат.
- угол крена, γ - это угол между поперечной осью OZ и осью OZ_g нормальной системы координат, смещенной в положение, при котором угол рыскания равен нулю.



ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ:

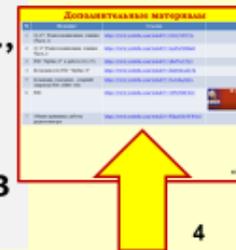
Изучить материал занятия
по конспекту и учебному пособию.

Вопросы занятия:

1. Импульсный метод радиолокации. Импульсные РЛС.
2. Основные технические характеристики импульсного радиолокатора.
3. Эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели.



- Литература:**
1. Учебное пособие «Основы построения ЗАК»-2013 г., стр.47-54
 3. Учебное пособие «Основы построения РЛС обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003 г., стр. 11-23.



4

Конец занятия

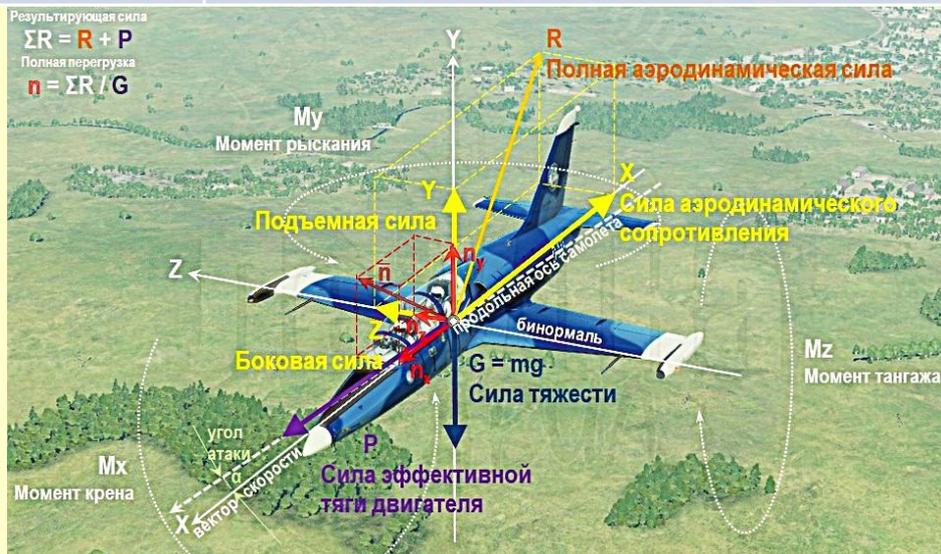
Контрольные вопросы

1. История развития БПЛА.
2. Классификация БПЛА.
3. Основные характеристики комплекса с БПЛА.



Дополнительные материалы

№	Название	Ссылка
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		



Военный учебный центр
при Томском политехническом университете



Т-1.2. Основы аэродинамики и динамики полёта ЛА

Вспомогательный учебный центр при Техническом институте авиационного транспорта

Виды услуг: «Базис» при приеме документов, подготовка документов к сдаче ВУС

ИУС ЛА ИИИ
Адрес: привокзальная 2 школа политехнического колледжа Гвардейск А. А.

ДИСЦИПЛИНА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА»

Контрольные вопросы

Тема №1: Основы истории авиации и с беспилотными летательными аппаратами

Занятия №2: Основы аэродинамики и динамики полёта ЛА

Цели занятия:

Изучить: историю аэродинамики, основные понятия и закономерности динамики полёта ЛА.

Актуальность занятия: необходимость глубокого знания и умения применять знания в области аэродинамики, истории авиации и авиационной техники, динамики полёта ЛА для формирования авиационной культуры пилота **слайд 188**

ВИД ЗАНЯТИЯ: лекция, 3 часа

Вопросы занятия:

1. История аэродинамики.
2. Основные понятия и закономерности.
3. Динамика полёта ЛА.

Литература:
1. **Рыбинский В.И.** Аэродинамика самолётов. М.: Транспорт, 1987.
2. **Саввинский В.И.** Аэродинамика самолётов. М.: Транспорт, 1987.
3. **Саввинский В.И.** Аэродинамика самолётов. М.: Транспорт, 1987.

Вопрос №1 История аэродинамики



История аэродинамики

Исторический очерк истории аэродинамики в авиации и космонавтике. Развитие науки аэродинамики в авиации и космонавтике. Развитие науки аэродинамики в авиации и космонавтике. Развитие науки аэродинамики в авиации и космонавтике.



История аэродинамики

Занятия Вспомогательного учебного центра при Техническом институте авиационного транспорта



1 ★

2 ★

3 ★

4 ★

5 ★

6 ★

7 ★

История аэродинамики



История аэродинамики



Вопрос №2 Основные понятия и закономерности



Аэродинамика

Понятие аэродинамики - наука о движении тел в потоке газа или жидкости. Основные понятия и закономерности. Основные понятия и закономерности. Основные понятия и закономерности.



Предмет и задачи аэродинамики



Предмет и задачи аэродинамики



Примеры образности



8 ★

9 ★

10 ★

11 ★

12 ★

13 ★

14 ★

Гипотеза сплошности среды



Законы Бернулли



Строение атмосферы



Основные параметры воздуха



Основные свойства воздуха



Вопрос №3 Динамика полёта ЛА



Динамика полёта ЛА



15 ★

16 ★

17 ★

18 ★

19 ★

20 ★

21 ★

Динамика полёта ЛА



Геометрические характеристики крыла



Характеристики профиля



Характеристики профиля



Смысл действующих на ЛА и полёта



Смысл действующих на ЛА и полёта



Смысл действующих на ЛА и полёта



22 ★

23 ★

24 ★

25 ★

26 ★

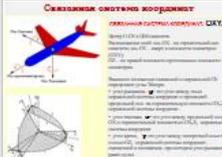
27 ★

28 ★

Задачи конструкции и органы управления ЛА



Связки системы управления



ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ



Контрольные вопросы



Дополнительные материалы



Т-1.2. Основы аэродинамики и динамики полёта ЛА



аил 1 из 34

