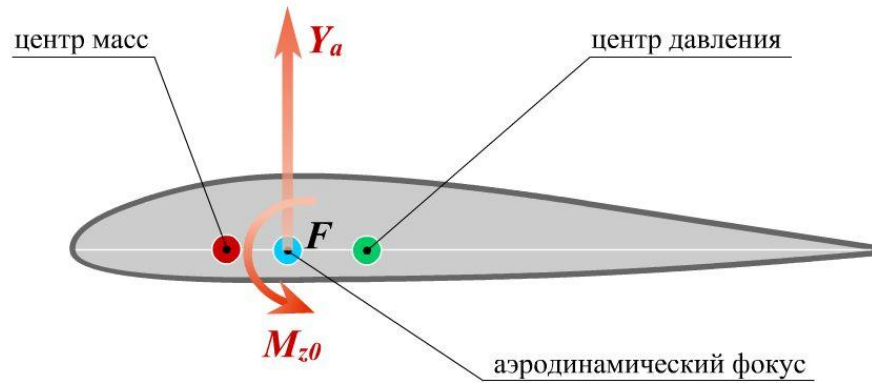


Управление образования администрации Озерского городского округа
Челябинской области

Муниципальное бюджетное учреждение
дополнительного образования
«Станция юных техников»



Основы Аэродинамики летающих моделей

(Методическое пособие по теме «Аэродинамика» 2 часть)

Составил педагог дополнительного
образования Думенек В.Л.

г. Озерск
2018 г.

Методическое пособие - предназначено для педагогов дополнительного образования авиамодельной направленности, при проведении занятий с обучающимися.

Цель. Расширить знания обучающихся по аэродинамике.

Аэродинамика — это наука о законах движения воздуха и силовом взаимодействии между телом и обтекающим его воздухом (в переводе с греческого «аэро» — воздух, «динамис» — сила).

Аэродинамика — теоретическая основа авиации и ракетной техники. Чтобы рассчитать самолет на прочность, исследовать его устойчивость, определить летные свойства, необходимо знать аэродинамические силы и моменты, которые возникают при полете самолета. Только с появлением аэродинамики стало возможным рациональное конструирование самолетов.

Состав и строение атмосферы. Атмосфера - воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси газов: основные из них - азот и кислород, а так же аргон, углекислый газ и водяной пар. Атмосфера Земли имеет слоистую структуру, она состоит из тропосферы, стратосферы и ионосферы.

Тропосфера - ближайший к поверхности Земли слой атмосферы толщиной 8-10 км.

Стратосфера расположена над тропосферой, ее верхняя граница находится на высоте 50 км.

Ионосфера - слой атмосферы, расположенный на высоте от 50 км до границы земной магнитосферы и содержащий большое количество заряженных электричеством частичек, называемых ионами.

Итак, атмосферное давление проявляет себя как сила только тогда, когда есть разница этого давления. Например, выносим из тепла на мороз пустую герметичную канистру и через какое-то время видим, как атмосферное давление деформирует металлическую канистру.

Рассмотрим в профиль *беспрофильный профиль*, то есть плоское, как бритва, крыло. Это просто отрезок прямой. При нулевой скорости такого крыла и полном отсутствии ветра положительная разница атмосферного давления, действующего на нижнюю и верхнюю поверхности такого крыла, не возникает. При нулевом угле наклона такого крыла к вектору его движения, когда оба воздушных потока обтекают верхнюю и нижнюю поверхности плоского крыла с равными скоростями, подъемная сила возникнуть не может тоже, так как и с низу, и сверху атмосферное давление на крыло с увеличением скорости крыла убывает совершенно одинаково. И на этом утверждении стоит вся научная аэродинамика. Но научная — значит, ошибочная.

Теперь, посмотрим на расправленное крыло чёрной птицы. Примерно на половине своей длины — там, где нет мышц и костей, - это почти идеальный «беспрофиль». Нижняя поверхность крыла очень плотная, гладкая и со стальным отливом; верхняя — бархатистая на ощупь и в лучах

солнечного света синим и зелёным цветом так и сверкает. Удивительную по красоте дисперсию света на испещрённых микроскопическими неровностями верхних поверхностях идеальных беспрофилей мы можем видеть при солнечном свете и у стрекоз, а у бабочек верхняя поверхность беспрофильных крыльев словно покрыта тончайшей пудрой (чешуйками).

Воздушные течения. Поверхность Земли под лучами Солнца нагревается быстрее, чем масса воздуха. Различные поверхности - пашни, леса, луга - прогреваются по-разному. Соприкасающийся с ними воздух также нагревается неравномерно. Теплый воздух, как более легкий, поднимается (всплывает), образуя восходящие потоки. Достигая некоторой высоты, воздух охлаждается; влага, находящаяся в нем, сгущается и образует облака. Охладившись в верхних слоях атмосферы, массы воздуха опускаются, создавая нисходящие потоки, а на их место приходит более теплый воздух. Восходящие и нисходящие потоки принято считать вертикальными перемещениями воздушных масс. Эти перемещения будут происходить до тех пор, пока существует разница в температурах земной поверхности и воздуха. Практически воздух находится в постоянном движении. Горизонтальное перемещение воздушных масс называется ветром.

Штиль - это такое состояние воздушной среды, при котором нет заметного движения воздуха. Регулировать и запускать модели лучше во время штиля, а воздушные змеи - в ветреную погоду. Для определения силы ветра служат приборы - анемометры. Приблизительно скорость ветра можно узнать по различным признакам: движению дыма, веток и листьев деревьев, волнам на воде и т. д.

Физические свойства воздуха. Воздух, как и все материальные тела, обладает рядом физических свойств: он имеет массу, вязкость, плотность. Так, благодаря массе воздух притягивается к Земле, оказывая давление на все находящиеся в нем тела. Это явление называется атмосферным давлением. Верхние слои воздуха давят на нижние, поэтому наибольшее давление - у поверхности Земли. Давление воздуха измеряют прибором, называемым барометром.

Обтекание воздушным потоком твердых тел различной формы. Симметричное и несимметричное обтекание.

Опираясь на принципы аэродинамики инженеры смогли создать великое множество разнообразных летательных аппаратов. Некоторые из них способны нести огромный груз, с приемлемыми затратами топлива, некоторые способны разгонять скорости многократно превышающие скорости звука, некоторые способны на сложную воздушную акробатику (всевозможные манёвры высшего пилотажа вроде мёртвой петли, бочки, кобры Пугачёва и т.д.).

В общих чертах наука аэродинамика изучает обтекание тел различной формы воздушным потоком на разных скоростях и в разных условиях. Понимание общих принципов аэродинамики повышает эффективность и безопасность полётов.

При обтекании твердого тела воздушный поток подвергается деформации, что приводит к изменению скорости, давления, температуры и плотности в струйках потока. Таким образом, около поверхности обтекаемого тела создается область переменных скоростей и давлений воздуха. Изучением поведения воздушных масс в различных условиях и занимается наука аэродинамика.

От того какую форму имеет подопытный объект, будет зависеть при каких скоростях ветра он сможет летать, и насколько эффективно. К примеру, для свободного полёта человека без каких-либо приспособлений достаточно ветра силой $\sim 60-70$ м\с (240 км\ч). Настолько быстрые воздушные потоки можно встретить в аэродинамических трубах. Опытные парашютисты отрабатывают в них сложные манёвры, которые в дальнейшем можно использовать в свободном падении. От расположения рук, ног, головы зависит скорость и направление снижения.

Для начала необходимо определиться с тем, что из себя представляет набегающий поток воздуха. Воздушные массы могут самостоятельно двигаться относительно неподвижно стоящего объекта. Это ветер. Но если объект движется относительно неподвижно стоящих воздушных масс, то мы наблюдаем тот же самый случай.

Различают два вида скоростей тела. **Воздушная скорость** – это скорость движения тела относительно окружающих его воздушных масс. **Путевая скорость** – это скорость движения тела относительно земли. Таким образом объект может иметь определённую воздушную скорость даже не сдвигаясь с места. Достаточно дождаться подходящего ветра. Действительно и обратное – объект который визуально перемещается в пространстве относительно земли, может обладать нулевой воздушной скоростью. К примеру, это может быть пушинка подхваченная и унесённая ветром.

Рассмотрим несколько типовых форм тел обтекаемых воздушным потоком (Рис 1).

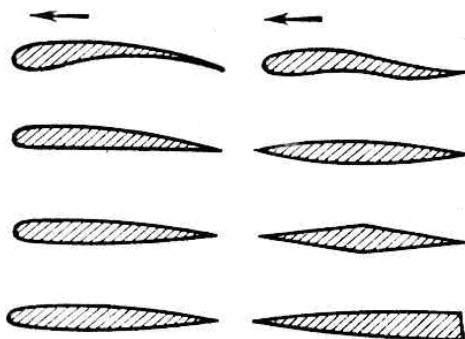


Рис. 1

Плоская пластинка, помещённая под углом 90° к воздушному потоку, создает довольно резкое изменение направления движения потока, обтекающего ее: торможение потока перед ней, поджатие струек у ее краев и образование непосредственно за краем пластинки разрежения и больших

вихрей, которые заполняют всю область за пластинкой (рис. 2). Позади пластинки можно наблюдать хорошо заметную спутную струю. Перед пластинкой давление будет больше чем в невозмущенном потоке, а за пластинкой вследствие разрежения давление уменьшится.

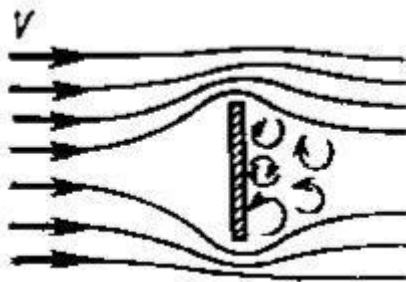


Рис. 2. Спектр обтекания воздушным потоком плоской пластинки.

Такой объект называется **неудобообтекаемым**. Воздушный поток теряет слишком много скорости и энергии натываясь на него. У такого объекта очень большое лобовое сопротивление.

Если на место пластинки мы поместим **шар**, то картина обтекания изменится (рис. 3). Набегающий поток будет меньше тормозиться перед объектом и плавнее огибать его по краям. Однако за ним всё равно будет образовываться довольно широкая область завихрений.

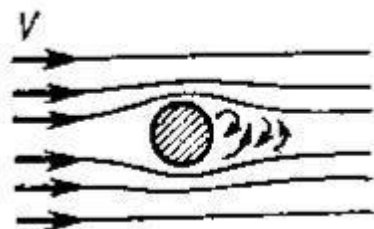


Рис. 3. Спектр обтекания воздушным потоком шарообразного тела.

Наиболее плавный характер обтекания, как в передней, так и в хвостовой части, имеет **каплеобразное тело** (рис. 4). Деформация потока при этом незначительна, и, соответственно, в хвостовой части образуются небольшие завихрения.

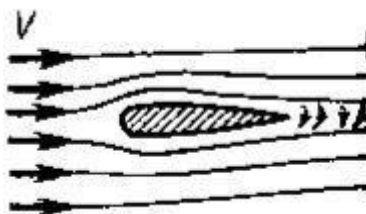


Рис. 4. Спектр обтекания воздушным потоком каплеобразного тела.

Такие тела (каплеобразные) в аэродинамике называются **удобообтекаемыми**. Различают симметричные и несимметричные удобообтекаемые тела.

Симметричное удобообтекаемое тело создает одинаковую деформацию, поджатие воздушных струек в верхней и нижней части (сечение А-Б, рис. 5).

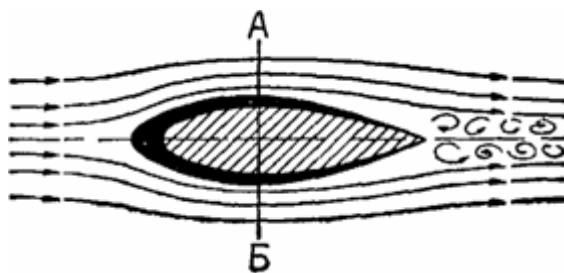


Рис. 5. Спектр обтекания воздушным потоком симметричного удобообтекаемого тела.

Удобообтекаемое несимметричное тело по характеру обтекания близко к удобообтекаемому симметричному, и отличается лишь величиной и разностью деформаций струек в верхней и нижней частях тела (рис. 6).

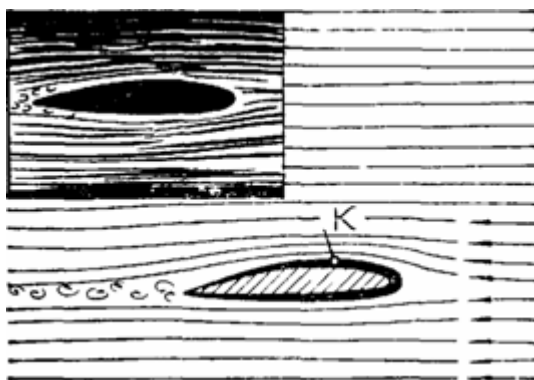


Рис. 6. Спектр обтекания воздушным потоком несимметричного удобообтекаемого тела.

Удобообтекаемые тела имеют значительно меньшее лобовое сопротивление, т.к. их форма позволяет им как можно меньше возмущать окружающие их воздушные массы. Именно такие формы придают всем внешним частям летательных аппаратов.

Чем меньше лобовое сопротивление тела, тем большую скорость оно способно развить, а соответственно и дальше улететь при прочих равных условиях.

Обтекание крыла воздушным потоком. Угол атаки. Силы, действующие на летательный аппарат.

При обтекании крыла воздушный поток деформируется таким образом, что на верхней поверхности крыла его скорость возрастает, а на нижней - уменьшается. Благодаря этому появляется подъемная сила, удерживающая наше крыло в воздухе.

Согласно третьему закону Ньютона сила воздействия крыла на воздух равна силе воздействия воздушного потока на крыло. Эта сила получила название полной **аэродинамической силы R** крыла. Так вот, в полете на дельтаплан действуют, в общем случае, только две силы:

аэродинамическая сила R и сила тяжести G . Первая приложена в центре давления, а вторая — в центре массы аппарата. Для удобства представим, что две эти точки совпадают.

Если обтекание крыла имеет симметричный характер, то направление полной аэродинамической силы совпадает с направлением невозмущенного потока (рис. 7).

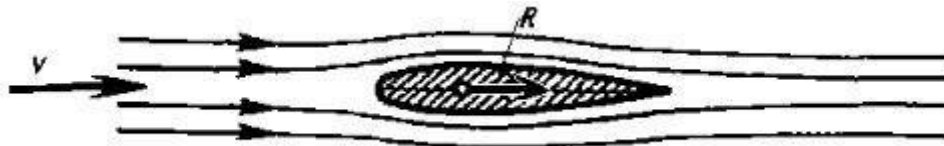


Рис. 7. Симметричное обтекание тела воздушным потоком.

Но в общем случае воздушный поток обтекает тело несимметрично, под каким-нибудь углом. Величина, действующей на крыло полной аэродинамической силы, зависит от угла, под которым крыло встречает набегающий поток воздуха. Этот угол называется **углом атаки** и определяется, как угол между хордой крыла (отрезком, соединяющим две наиболее удаленные точки крыла) и вектором скорости набегающего потока.

Угол атаки может быть положительным, отрицательным и нулевым (рис. 8):

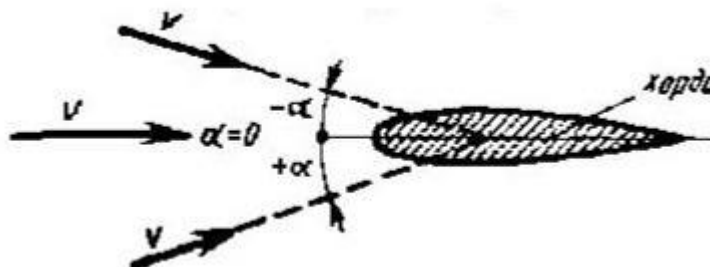


Рис. 8. Угол атаки.

Крыло дельтаплана имеет сложную форму, при которой хорды его сечений расположены под разными углами атаки к набегающему потоку воздуха. В этом случае, угол атаки определяется, как угол образованный так называемой средней аэродинамической хордой крыла и вектором скорости воздушного потока.

Для справки: средняя аэродинамическая хорда крыла - это хорда условно прямоугольного крыла, которое создает такой же продольный момент относительно центра тяжести самолёта, что и действительное крыло.

Вернемся к силам, действующим на летательный аппарат. Силы принято раскладывать по осям, а действие моментов рассматривать вокруг этих осей. Правая прямоугольная система координат — это три оси, начало которых находится в центре масс аппарата (мы для удобства совместили его с центром давления). Положительное направление оси X будет направлено

по вектору скорости полета, оси Y перпендикулярно к оси X вверх, а ось Z направлена перпендикулярно к плоскости, в которой находятся оси X и Y вдоль правого крыла.

Теперь разложим полную аэродинамическую силу R и силу тяжести G по осям, направленным по траектории планирования и перпендикулярно к ней (рис. 9).

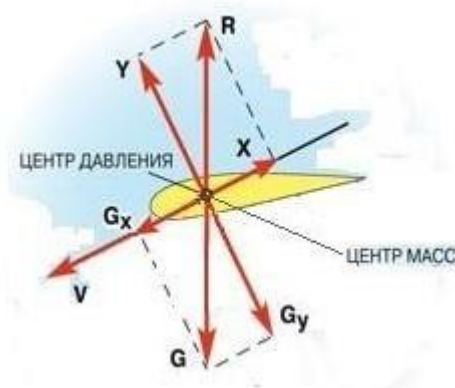


Рис. 9. Силы, действующие на крыло в полёте.

Полная аэродинамическая сила R разложится на подъемную силу. Разложим силу R на подъемную силу Y , направленную перпендикулярно к пути, и силу лобового сопротивления X , направленную в противоположную сторону пути движения аппарата. Поэтому если быть математически точным, то ее надо писать со знаком «—». Слагаемые силы G — силы G_x и G_y — равны по величине и противоположны по направлению силам X и Y . Надо помнить, что хотя сила Y и называется подъемной силой, но она не уравнивает весь вес, а только одну его составляющую. Сила X уравнивает ту составляющую силу веса, которая иногда называется маршевой силой. Маршевая сила направлена по вектору скорости поступательного движения дельтаплана или другого планера. Таким образом, движущей силой является составляющая веса G_x , возникающая вследствие движения по траектории, наклоненной к горизонту. Сила Z появляется только при криволинейном движении в горизонтальной плоскости.

Модель в свободном полете. Как было сказано выше, к категории свободнолетающих моделей относятся: планер, резиномоторная и таймерная. Ввиду того что в основном полет этих моделей планирующий, остановимся на его особенностях. Условно будем считать любую модель моделью планера.

Один из способов увеличения продолжительности полета свободнолетающих моделей - использование восходящих потоков. Но они непостоянны как по силе, так и по направлению: их сила уменьшается, если тучи затеняют земную поверхность, и увеличивается при усилившемся прогревании земли солнечными лучами.

При запуске модель (особенно модель планера) может попасть в восходящий поток сразу же после старта. Опытные авиамodelисты умеют "нащупывать" восходящие потоки ("термики"): при затяжке модели на леере и с помощью защелок для его сброса они могут длительное время буксировать модель планера до тех пор, пока не убедятся в силе восходящего потока. Но иногда модель быстро выходит из потока и резко снижается, как бы "проскальзывая" восходящий поток.

Условием успешного полета моделей в свободном полете является их способность "чувствовать" - реагировать на восходящие воздушные перемещения и удерживаться в них. Силы, вводящие модель в поток, очень незначительны, поэтому чем меньше масса модели, тем легче она будет входить в восходящий поток и выходить из нисходящего. Но по правилам соревнований минимальная масса и площадь несущих плоскостей моделей ограничены. Чтобы модель была более чувствительной, опытные авиамodelисты стремятся сделать конструкцию по возможности легкой, а массу модели доводят до нормы за счет балласта, размещенного вблизи центра тяжести. Груз, сосредоточенный у центра тяжести, не снижает чувствительности модели. Для повышения чувствительности модели не следует делать тяжелыми те ее части, которые расположены далеко от центра тяжести. Так, законцовки крыльев, оперение и хвостовую часть фюзеляжа надо облегчить настолько, насколько позволяют условия прочности.

Модели одинаковой массы и формы могут обладать различной подвижностью в зависимости от того, как распределена их масса. В механике распределение массы характеризуется величиной, называемой моментом инерции, который равен произведению массы тела на квадрат расстояния до оси его вращения. Такая ось у моделей проходит через центр тяжести. Необходимо стремиться к тому, чтобы момент инерции модели относительно центра тяжести был как можно меньше.

Методические рекомендации. С некоторыми простейшими понятиями теории полета обучающиеся познакомились в первый год занятий. В дальнейшем при прохождении различных тем они также будут изучать основные теоретические положения. На изучение данной темы отводится 2-3 ч - одно занятие. Иногда целесообразно изучать данную тему в течение 2 занятий по 1,5 ч, используя оставшееся время на практическую работу.

Аэродинамика - наука о законах движения воздуха и о силовом воздействии воздушной среды на движущиеся в ней тела. Аэродинамика является теоретической основой авиации, авиационного моделизма, фундаментом основных расчетов летательных аппаратов.

Теоретическая аэродинамика основывается на теоретической механике и изучает движение воздуха и воздушные силы путем математического анализа; практическая (экспериментальная) - изучает движение воздуха и воздействие воздушной среды на движущиеся в ней твердые тела различной формы (самолеты, крылья) путем постановки

специальных опытов в аэродинамических трубах или же путем исследования изучаемых объектов (их моделей) непосредственно в полете.

Различают аэродинамику малых скоростей, больших скоростей (газодинамику) и сверхзвуковых скоростей (гиперзвуковую).

Основоположниками современной аэродинамики являются крупнейшие русские ученые Н. Е. Жуковский (1847-1921) и С. А. Чаплыгин (1869-1942). Н. Е. Жуковским написано более 170 научных работ по механике, астрономии, гидравлике, аэродинамике, проведено много аэродинамических опытов. Еще в 1906 г. в своем труде "О присоединяемых вихрях" он впервые объяснил принцип создания подъемной силы крыла, а в 1912 г. в работе "Вихревая теория гребного винта" - возникновение силы тяги воздушного винта.

Список литературы:

Аэродинамика 1. Н.Ф. Краснов. Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. 384 стр. Москва Высшая школа 1976 г.

Аэродинамика. Д.М. Прицкер, Г.И. Сахаров. 310 стр. Машиностроение Москва 1968 г.

Аэродинамика. А.М. Мхитарян, Изд. 2-е, переработанное и дополненное. 448 стр. Москва. Машиностроение 1976 г.

Интернет ресурсы.