



Семен ФИЛАТОВ. Дворец творчества детей и молодежи «Неоткрытые острова». Студия «Интеллект», г. Москва
Руководитель: Н.Ю. Анашина, методист, педагог ДО
 ДТДМ «Неоткрытые острова»

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КРЫЛА НА ПОЛЕТ САМОЛЕТА

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Уже не один раз мне довелось летать на самолетах. Очень интересно сидеть у иллюминатора и смотреть, как самолет разбегается, отрывается, земля уходит вниз и все начинает уменьшаться в размерах, словно в волшебной сказке. Авиация изменяется быстро, но каждый новый самолет, преодоление барьера скорости — это новые достижения наших ученых и инженеров.

Но как вообще тяжелый самолет смог оторваться от Земли, каким должно быть его крыло, фюзеляж? Над этими вопросами бьются специалисты во всем мире. Мне захотелось сделать свой самолет и я пошел на авиамодельный кружок.

Цель проекта: выяснить, как влияет форма крыла на полет самолета?

Чтобы выбрать оптимальную форму крыла для своей модели нужно решить следующие **задачи**:

- узнать свойства воздуха;
- понять, зачем самолету крылья;
- попытаться сделать опыты, которые бы пояснили, за счет чего поднимается самолет в воздух;
- изучить формы крыльев современных самолетов.

МЕТОДЫ ПРОЕКТА

Как изучить данную проблему? Придется почитать кое-что в учебнике по физике, посоветоваться с папой и руководителем, провести опыты. Затем нужно подумать, а что именно они показали, т.е. проанализировать результаты. Значит, необходимо пользоваться такими методами:

- теоретический;
- экспериментальный;
- аналитический;
- делать вывод — значит, синтезировать полученные знания

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ЗАКОН БЕРНУЛЛИ

Долгое время люди мечтали о полетах. Умельцы старались копировать крылья птицы, прикрепляли их за спину и пробовали оторваться от земли.

Но простое подражание пернатым до сих пор никому не позволило подняться в воздух (рис. 1).

Почему же человек не смог этого сделать? Ведь, кажется, нужно лишь скопировать крылья птицы, прикрепить их к рукам и, подражая пернатым, взмыть в поднебесье.



Рис. 1

Но не тут-то было. Оказалось, что человеку не хватает сил, чтобы поднять себя в воздух на машущих крыльях.

Мастера в разных странах использовали для изготовления крыльев слюду, тонкие прутья, кожу, перья, но полететь так никому и не удалось. Еще Леонардо да Винчи в своих гениальных заметках указывал, что для совершения полета нужно не взмахивать крыльями, а сообщить им горизонтальную скорость и позволить двигаться относительно воздуха.

При взаимодействии плоского крыла с воздушными массами должна будет возникнуть подъемная сила, которая превысит вес летательного аппарата, считал легендарный изобретатель. Из этой идеи следует: чтобы полететь, не нужно размахивать крыльями, нужно заставить их двигаться относительно воздуха. А для этого крылу нужно просто сообщить горизонтальную скорость. От взаимодействия крыла с воздухом возникнет подъемная сила, и, как только ее величина окажется больше величины веса самого крыла и всего, что с ним связано, начнется полет.

Дело оставалось за малым: сделать подходящее крыло и суметь разогнать его до необходимой скорости.

Преодолеть земное притяжение оказалось возможным, когда был сконструирован летательный аппарат с неподвижным крылом. Но пришлось ждать несколько столетий, прежде чем этот принцип был реализован.

Чтобы понять, как получается подъемная сила, мы должны исследовать феномен, открытый много лет назад ученым Бернулли, позже названный законом.

Бернулли: давление жидкости (или газа) уменьшается там, где скорость жидкости увеличивается (рис. 2).



Рис. 2

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Проведем несколько опытов.

Опыт № 1. Надо взять лист бумаги и подуть вдоль него. Бумага поднимется вверх, в ту сторону, вдоль которой проходит поток воздуха. Как говорит закон Бернулли, там, где скорость выше, давление меньше. Значит, вдоль поверхности листа, где проходит поток воздуха, давление меньше, а снизу листа, где потока воздуха нет, давление больше. Вот лист и поднимается в ту сторону, где давление меньше, т.е. туда, где проходит поток воздуха (рис. 3).



Рис. 3

Опыт № 2. Нужно создать струю воздуха, направленную вверх. Для этого достаточно включить фен. Опустить над ним шарик для настольного тенниса, который будет прыгать и кувыркаться в струе над феном. Потом медленно водить феном влево и вправо, а шарик послушно будет следовать в струе. А все потому, что в струе давление ниже, шарик в нее проваливается, как в стакан с невидимыми стенками. И высокое давление за пределами струи не дает ему выбраться из этого «стакана» (рис. 4).

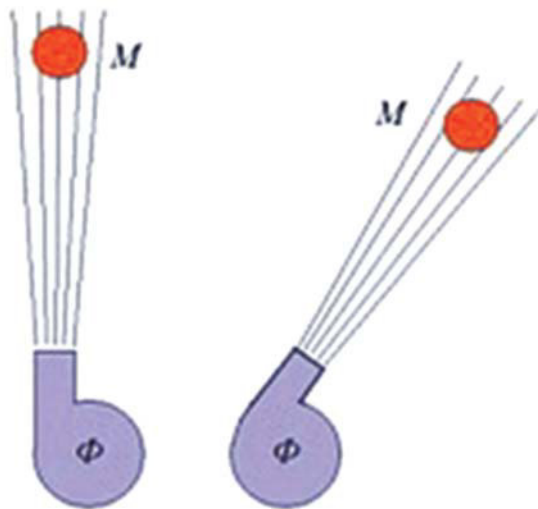


Рис. 4

Важное применение этого явления состоит в создании подъемной силы (крылом самолета).

Значит, закон природы, который открыл Даниил Бернулли и есть та природная основа, которую человек стал использовать для полета. То есть, это тот самый основной принцип полета самолетов.

КРЫЛО И ПОДЪЕМНАЯ СИЛА

Как сделать подходящее крыло?

Со временем возникали новые вопросы, например: какой формы должно быть крыло? Первые эксперименты проводили с крыльями плоской формы.

Экспериментаторы довольно успешно проводили опыты с плоскими крыльями. Расположив такую пластину под небольшим углом к потоку воздуха, можно было наблюдать, как возникает подъемная сила. Но появляется также и сила сопротивления, кото-

рая стремится сдуть плоское крыло назад.

Наблюдения за птицами показали, что крылья у них совсем не плоские. Оказалось, что высокие аэродинамические качества мог обеспечить только выпуклый профиль (рис. 5).

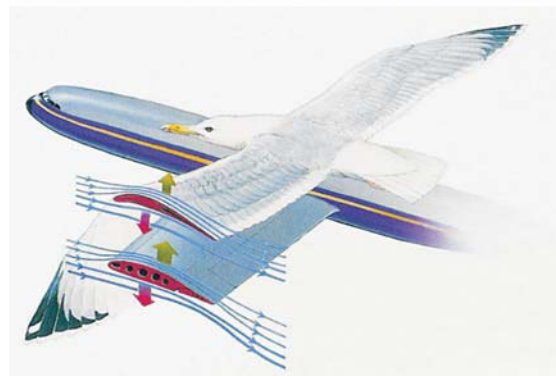


Рис. 5

Набегая на крыло, имеющее выпуклую верхнюю часть и плоскую нижнюю, поток воздуха делится на две части. Верхний поток имеет более значительную скорость, чем нижний, поскольку ему приходится проходить большее расстояние. Возникает разница давлений, которая создает силу, направленную вверх. Увеличить ее можно, отрегулировав угол атаки (рис. 6).

Если на крыло под небольшим углом действует набегающий поток воздуха, то возникают подъемная сила и сила лобового сопротивления. Сила сопротивления старается «сдуть» крыло назад, а подъемная сила — поднять. Угол, под которым воздух дует на крыло, называется углом атаки. Чем больше угол атаки, т.е. чем круче к потоку наклонена пластина, тем больше подъемная сила, но вырастает и сила сопротивления.

Значение подъемной силы и лобового сопротивления зависят от:

- формы крыла;
- угла атаки;
- скорости набегающего воздушного потока, который в свою очередь зависит от скорости движения самолета.

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОРМЫ КРЫЛА

Одна из основных проблем при конструировании новых самолетов — выбор оптимальной формы крыла и его параметров

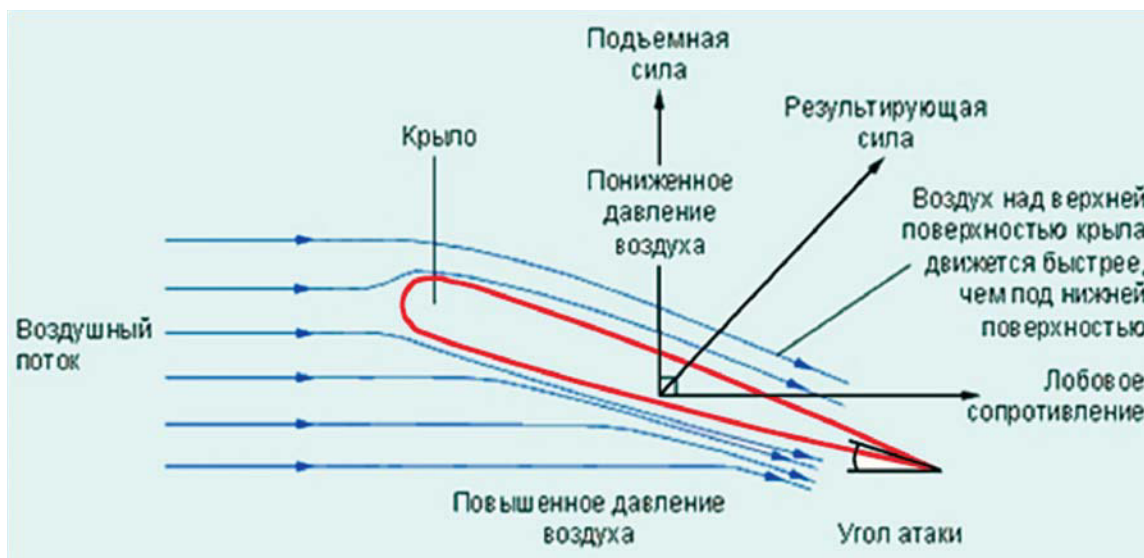


Рис. 6

(геометрических, аэродинамических, прочностных и т.п.).

Крыло самолета характеризуется несколькими характеристиками:

1. Профиль крыла — это форма сечения его плоскостью по набегающему воздушному потоку (рис. 7).

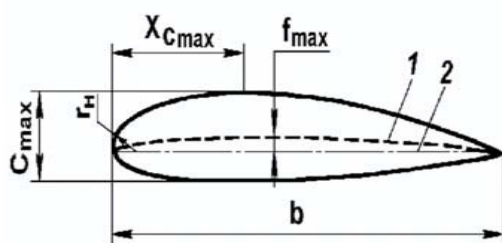


Рис. 7

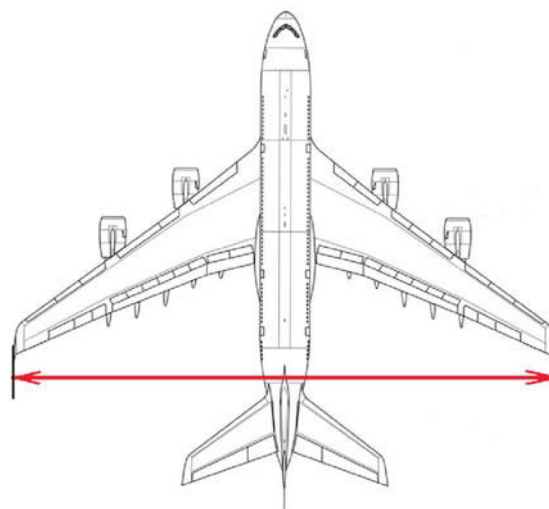


Рис. 8

Отрезок прямой, соединяющий две наиболее удаленные точки профиля, называется хордой профиля (b). Кривизна профиля (f_{max}) определяется как расстояние между хордой и средней линией профиля. $X_{сmax}$ — расстояние максимальной толщины от носка профиля. C_{max} — максимальная толщина профиля.

2. Размах крыла — расстояние между плоскостями, параллельными плоскости симметрии крыла, и касающимися его крайних точек (рис. 8).

Это важная геометрическая характеристика летательного аппарата, оказывающая влияние на его аэродинамические и летно-технические характеристики, а также является одним из основных габаритных размеров летательного аппарата.

3. Удлинение крыла — отношение размаха крыла к его средней аэродинамической хорде. Это можно понять, если за основу возьмем прямоугольное крыло, формула будет проще, удлинение равно: размах крыла, деленный на хорду, т.е., если крыло имеет размах 10 метров, а хорда равна 1 метр, то удлинение будет 10.

Чем больше удлинение, тем меньше индуктивное сопротивление крыла, связанное с перетеканием воздуха с нижней поверхности крыла на верхнюю часть через законцовку с образованием концевых вихрей (рис. 9).

В первом приближении можно считать, что характерный размер такого вихря равен хорде, и с ростом размаха вихрь становится все меньше и меньше по сравнению с

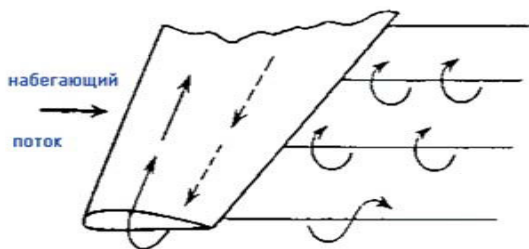


Рис. 9

размахом крыла. Естественно, чем меньше индуктивное сопротивление, тем меньше и общее сопротивление системы, тем выше аэродинамическое качество. И у конструкторов возникает соблазн сделать удлинение как можно больше. И тут начинаются проблемы: наряду с применением высоких удлинений конструкторам приходится увеличивать прочность и жесткость крыла, что влечет за собой непропорциональное увеличение массы крыла.

С точки зрения аэродинамики наиболее выгодным будет такое крыло, которое обладает способностью создавать, возможно, большую подъемную силу при возможно меньшем лобовом сопротивлении. Для оценки аэродинамического совершенства крыла вводится понятие аэродинамического качества крыла.

4. Аэродинамическое качество крыла — это отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления крыла. Подъемная сила представляет собой полезную составляющую аэродинамической силы, которая поддерживает летательный аппарат в воздухе. Лобовое сопротивление, напротив, приводит к дополнительному расходу энергии летательного аппарата и является вредной составляющей. Таким образом, их отношение позволяет характеризовать качество летательного аппарата. Большему аэродинамическому качеству соответству-

ет большая подъемная сила и меньшее сопротивление движению. В более простом представлении аэродинамическое качество можно расценивать как расстояние, которое может пролететь летательный аппарат с некоторой высоты в штиль с выключенным двигателем (если он вообще есть). Например, на планере качество обычно около 30, а на дельтаплане — 10, т.е. с высоты в 1 километр спортивный планер сможет пролететь в идеальных условиях приблизительно 30 км, а дельтаплан — 10.

Взаимное расположение крыла по высоте фюзеляжа может быть различным: высоким, средним и низким. В соответствии с этим самолет называют высокопланом, среднепланом и низкопланом. Кроме того, на фюзеляже можно расположить два крыла одно над другим. Такая схема расположения называется биплан.

Существует разные виды и формы крыльев (рис. 10):

а) Крыло эллиптической формы.

Обладает самым высоким аэродинамическим качеством, минимально возможным сопротивлением при максимальной подъемной силе. Крыло такой формы в настоящее время применяется не часто из-за сложности конструкции, низкой технологичности и плохих срывных характеристик. Однако сопротивление на больших углах атаки крыльев другой формы в плане всегда оценивается по отношению к эллиптическому крылу. Наилучший пример применения крыла такого вида — самолеты Второй мировой войны (советские И-16, ЛаГГ-5, Як-3, английский «Спитфайер», американский Р-39 «Аэрокобра» и т.д.).

б) Прямоугольное крыло.

Основным достоинством прямого крыла является его высокий коэффициент подъемной силы даже при малых углах атаки.

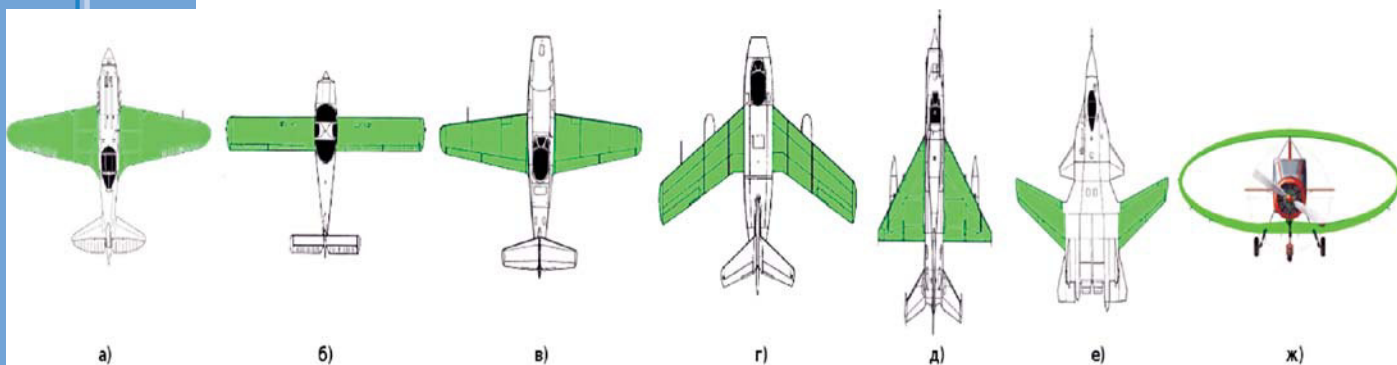


Рис. 10

Различное расположение крыла по высоте фюзеляжа

Крепление крыла к фюзеляжу самолета	Достоинства	Недостатки	Применение
 Высокоплан	Низкое относительно земли расположение фюзеляжа. Проще загружать и разгружать самолет. Высоко расположены двигатели и воздушные винты. Это снижает вероятность их повреждения при взлете и посадке. Улучшается продольная устойчивость самолета на больших углах атаки. Улучшается обзор земли при взлете и посадке.	Высокое расположение двигателей затрудняет техническое обслуживание. При расположении стоек шасси на крыле, их приходится делать весьма длинными, что увеличивает вес и сложность конструкции. Альтернативное решение — шасси в фюзеляже уменьшают колею и ухудшают устойчивость самолета при разбеге и пробеге при боковом ветре.	В основном используется на транспортных самолетах Ан-12, Ан-26, Ан-124, Ан-225, Ил-76, С-130 и т.д.
 Среднеплан	Позволяет убирать стойки шасси в крыло. Подвешенное под крыло вооружение не подвергается опасности удара о взлетно-посадочную полосу.	Силовая балка проходит через фюзеляж, что ограничивает компоновку внутренних агрегатов в этом месте. Вместо силовой балки могут быть использованы кольцевые шпангоуты, но они утяжеляют планер и затрудняют проведение ремонтных работ и модификации.	Применяется на различных типах самолетов: СУ-7, МИГ-21, ТУ-95, ТУ-160 и т.д.
 Низкоплан	При аварийной посадке удар воспринимается в основном конструкцией крыла, защищающей пассажиров и экипаж. Стойки шасси короткие, более прочные и легкие — упрощается их уборка и выпуск. Экранный эффект при взлете и посадке. Упрощается доступ к двигателям, удобное техническое обслуживание при эксплуатации. Планер самолета легче по сравнению с высокопланом и среднепланом.	Повышается сопротивление в месте стыка фюзеляжа и крыла. Возможность касания крылом при посадке. Снижается поперечная устойчивость самолета. Низкое расположение двигателей повышает вероятность попадания посторонних предметов в двигатель, повышенные требования к качеству взлетно-посадочной полосы. Ухудшается обзор из иллюминаторов для пассажиров самолета.	Применяется на различных типах самолетов: Ту-134, Ту-154, Ил-62, Ил-86, А320, А380 и т.д.
 Биплан	Уменьшение общего веса. Отличная маневренность самолета. Большая, чем у монопланов, устойчивость к срыву потока с крыла. Вместо срыва в штопор опускает нос и набирает необходимую для создания подъемной силы скорость. Низкие скорости взлета и посадки и, следовательно, маленькие разбег и пробег.	Более высокое сопротивление, вызванное наличием двух крыльев. Взаимное влияние крыльев друг на друга, из-за чего подъемная сила увеличивается только на 20%. Ухудшается аэродинамическое качество самолета и увеличивается расход топлива.	В настоящее время используется редко: АН-2, Renegade II, Pitts Special, Aviat Eagle II

Это позволяет существенно увеличить удельную нагрузку на крыло, а значит уменьшить габариты и массу, не опасаясь значительного увеличения скорости взлета и посадки. Такой тип крыла применяется в дозвуковых и околозвуковых самолетах. Еще одним достоинством прямого крыла является технологичность изготовления, позволяющая удешевить производство.

Недостатком, предопределяющим непригодность такого крыла при звуковых скоростях полета, является резкое увеличение коэффициента лобового сопротивления.

в) Крыло трапецевидной формы.

По величине воздушного сопротивления приближается к эллиптическому крылу. Широко применялось в конструк-

циях серийных планеров до 70–80 годов прошлого века. Технологичность ниже, чем прямоугольного крыла. Получение приемлемых срывных характеристик также требует некоторых конструкторских ухищрений. Однако крыло трапецевидной формы и правильной конструкции обеспечивает минимальную массу крыла планера при прочих равных условиях.

г) Стреловидное крыло.

Данный вид крыла получил широкое распространение благодаря различным модификациям и конструкторским решениям. К недостаткам следует отнести:

- пониженная несущая способность крыла; а также меньшая эффективность действия механизации;
- увеличение поперечной статической устойчивости по мере возрастания угла стреловидности крыла и угла атаки. Это затрудняет получение надлежащего соотношения между путевой и поперечной устойчивостями самолета. Вынуждает применять вертикальное оперение с большой площадью поверхности, а также придавать крылу или горизонтальному оперению отрицательный угол поперечного V;
- отрыв потока воздуха в концевых частях крыла, что приводит к ухудшению продольной и поперечной устойчивости и управляемости самолета. Чтобы компенсировать этот недостаток, на поверхностях стреловидных крыльев вдоль набегающего потока иногда устанавливают дополнительно небольшие вертикальные плоскости и делают пилообразные уступы на передних кромках;
- увеличение скоса потока за крылом, приводящее к снижению эффективности горизонтального оперения;
- возрастание массы и уменьшение жесткости крыла.

Для избавления от отрицательных моментов используется крутка крыла, механизация, переменный угол стреловидности вдоль размаха, обратное сужение крыла либо отрицательная стреловидность.

д) Треугольное крыло.

Треугольное крыло жестче и легче как прямого, так и стреловидного и чаще всего используется при скоростях свыше $M=2$, но имеет недостатки — возникновение и развитие волнового кризиса, большие сопротивления и более резкое падение максимального аэродинамического качества при изменении угла атаки, что затрудняет

достижение большего потолка и радиуса действия.

е) Крыло обратной стреловидности.

Используется крайне редко. Из преимуществ можно выделить улучшенную управляемость на малых полетных скоростях. Повышенная аэродинамическая эффективность наблюдается во всех областях летных режимов. Компонировка с крылом обратной стреловидности оптимизирует распределение давления на крыло и переднее горизонтальное оперение. В тоже время крыло особо подвержено аэродинамической потере статической устойчивости при достижении определенных значений скорости и углов атаки, а также требует конструктивных материалов и технологий, обеспечивающих достаточную жесткость конструкции.

ж) Самолет с овальным крылом.

Среди летательных аппаратов кольцеплан, пожалуй, самый малоизвестный. Свое название он получил, благодаря необычному крылу. По сути, это разновидность самолета, но только с замкнутым контуром крыла. Оказалось, что такая необычная форма придает ему аэродинамические характеристики, отличающиеся от характеристик его «традиционных» собратьев. Достоинства: хорошая управляемость на малых полетных скоростях, отсутствие вихревых жгутов, невозможность сваливания в штопор, малый разбег и пробег.

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЫЛА

При движении крыла в воздушном потоке на него действуют аэродинамические силы. Одна из них — сила лобового сопротивления. Сила эта, в зависимости от своего происхождения, может иметь несколько составляющих и одну из них, индуктивное сопротивление крыла, рассмотрим. При движении крыла в воздушном потоке возникает разность давлений между верхней и нижней поверхностями крыла. В пограничном слое потока над крылом давление ниже, а под крылом выше. Если две области с разными давлениями соприкасаются, то естественно возникает тенденция к тому, чтобы эти давления уравнились, и газ всегда старается переместиться из области с повышенным давлением в область с пониженным. Происходит это и на крыле. Самый простой путь перемещения (чтобы не двигаться против потока) — через за-

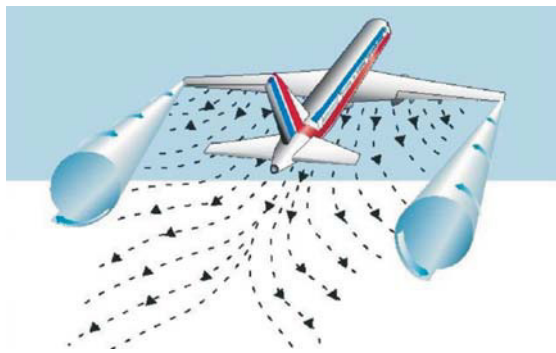


Рис. 11

концовку крыла. То есть пограничный слой, перемещаясь к законцовке, как бы «проворачивается» вокруг нее, оказываясь уже на верхней поверхности крыла. Однако крыло движется вперед и «провернувшийся» воздух в определенный момент времени оказывается уже позади крыла, а на его месте теперь «проворачивается» новая порция воздуха. Таким образом, вращательное движение воздуха как бы накладывается на поступательное движение крыла. За окончательностью крыла создается своего рода вытянутый вращающийся вихрь, который называют «вихревым жгутом» и «спутной струей» (рис. 11).

Сила вихрей зависит от размеров, формы крыла, разницы давлений над верхней и под нижней поверхностями. Эти вихри сами по себе являются серьезным возмущением потока. За крылом большого, тяжелого самолета он может вытянуться на расстояние до 10–15 километров и стать опасным для самолетов летящих следом и попавших в такую вихревую струю, особенно когда в вихрь попадает одна консоль. Энергия, затрачиваемая на образование вихрей, и определяет **индуктивное сопротивление** крыла.

Иначе еще говорят, что для образования и раскрутки «вихревых жгутов» нужна энергия, которая и забирается от энергии движения самолета. Как результат, летательный аппарат испытывает дополнительное сопротивление для движения вперед.

Плюс к этому еще считается, что около 5% несущей поверхности крыла вообще работает неэффективно из-за перетекания и выравнивания давлений. Эти проценты составляют как раз концевые части, на которых дела с образованием подъемной силы обстоят похуже, чем на других участках.

Существует несколько способов уменьшения индуктивного сопротивления:

- Противодействие самому сопротивлению, за счет увеличения мощности двигателей, но данный метод приводит к повышенному расходу топлива и экономически не оправдан.

- Увеличение удлинения крыла уменьшает площадь областей крыла, «работающих» на создание вихрей. Наверное, вы замечали, что все птицы, которые умеют парить в небе, имеют очень длинные крылья. Но длинное крыло испытывает большие нагрузки и значит должно обладать большой прочностью, следовательно, большой вес и габариты. Самолет с большим крылом может просто не поместиться на стоянке в аэропорту.

- Отрицательная крутка крыла. Уменьшение углов атаки на законцовках консолей уменьшает разницу давлений на законцовках и, следовательно, интенсивность образования вихрей.

- Установка концевых шайб затрудняет процесс перетекания воздуха через законцовки и, таким образом, уменьшает индуктивное сопротивление. Концевые шайбы — это расположенные вертикально плоскости, устанавливаемые на законцовках консолей.

БОРЬБА С ВИХРЯМИ

Законцовка крыла может быть видоизменена. Она не только не будет способствовать перетеканию, но может стать преградой (в механическом или аэродинамическом плане) на его пути. Именно этот путь борьбы с индуктивным сопротивлением сейчас приобретает достаточно массовый характер среди ведущих авиапроизводителей. Существует несколько названий для таких видоизмененных законцовок крыла. Это собственно законцовки, концевые крылышки, шайбы Уиткомба, винглеты. Все они представляют собой дополнительные поверхности на концах крыла, чаще всего в виде вертикальных «крылышек» (рис. 12).

Winglet в переводе с английского, как раз, и означает «крылышко». С их помощью уменьшается вредное перетекание на крыле, увеличивается его эффективное удлинение, при этом, практически не увеличивая размах. Это позволяет уменьшить величину индуктивного сопротивления (снизить интенсивность вихревых жгутов)

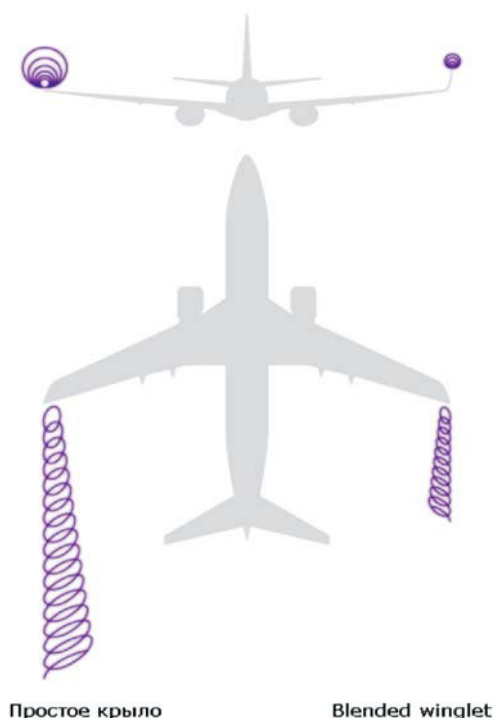


Рис. 12

и, соответственно, ощутимо увеличить экономичность и дальность. Вихри как бы перемещаются на концы «крылышек» и становятся значительно меньше.

САМОЛЕТ С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ КРЫЛА

Первым, кого осенила идея кольцевого крыла, стал один из пионеров авиации француз Луи Блерио. Вместе с Габриэлем Вуазеном в 1906 году они соединили полукруглыми верхние и нижние крылья обычного биплана, тоже самое проделав и с хвостовым оперением (рис. 13).

Правда, получившийся в итоге гидроплан «Блерио III» никогда не отрывался от воды самостоятельно. Очевидцами описаны несколько подлетов — когда аппарат буксировали подобно воздушному змею, но не более того.



Рис. 13



Рис. 14

К сожалению, но все попытки создания кольцевого крыла, как полноценной рабочей серийной машины заканчивались на отдельных опытных образцах. Характерный пример — проект Lockheed Martin начала 80-х годов прошлого столетия — RingWing, на разработку которого ушло два года (рис. 15).



Рис. 15

По мнению экспертов, конструкторы допустили две серьезные ошибки, во-первых, соединив крыло с хвостовым оперением, тем самым снизив аэродинамику машины. Второй просчет состоял в жестком креплении крыльев к корпусу, из-за чего нижняя

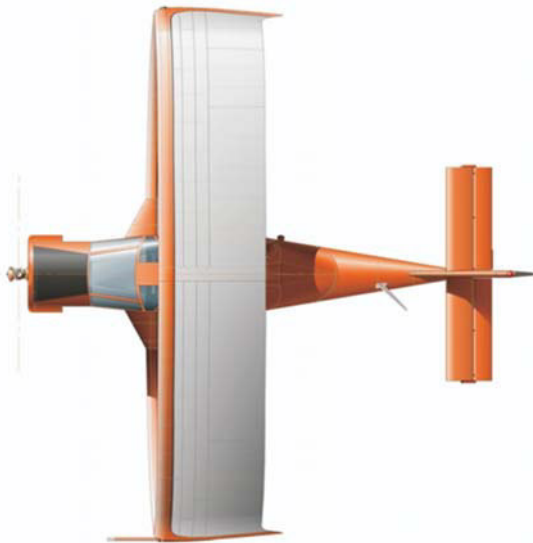


Рис. 16

грань крыла не участвовала в создании подъемной силы. В результате, проект пришлось закрыть.

В 1987 году областное управление сельского хозяйства обратилось к клубу технического творчества при Минском шестеренном заводе с просьбой создать легкий маневренный самолет, который не боится сильного бокового ветра. Группу энтузиастов возглавил авиатехник Аркадий Нарушевич.

В результате исследований он пришел к интересному выводу: лучше всего боковому ветру противостоит самолет с замкнутым контуром крыла, причем оно должно иметь овальную форму. Правильность концепции подтвердилась несколькими действующими макетами. Однако, в связи с распадом СССР проект на долгие 10 лет был забыт. В 1997 году, благодаря частной инициативе одной из фирм, работы возобновились. Поскольку о полноценном государственном финансировании не могло быть и речи, пришлось довольствоваться найденными своими силами деталями. В частности, шасси «позаимствовали» от вертолета Ми-1, приборную панель от самолета Ан-2. Главная особенность кольцевого крыла напрямую к фюзеляжу с помощью стоек и подвесок (рис. 16).

Первые летные испытания самолета с овальным крылом (будем называть его дальше СОК) дали обнадеживающие результаты: боковой ветер скоростью до 12 м/сек самолет просто не «замечал», а для того, чтобы ему взлететь хватило всего 160 метров. Однако самый выдающийся пока-

затель кольцевого крыла — коэффициент отношения полезной нагрузки к снаряженной массе — 0,45, чего до сих пор не может достигнуть ни один из летательных аппаратов.

Здесь стоит более подробно остановиться на достоинствах этого летательного аппарата. Кольцо-крыло обеспечивает такую подъемную силу, что позволяет самолету взлетать под углом около 45 градусов. При наличии мощного двигателя для взлета ему будет достаточно «пробежать» всего лишь несколько десятков метров. Плюс к этому, кольцевой план не сваливается в штопор и обладает необычайно высокой маневренностью.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Что такое СОК сегодня? Это, безусловно, самолет. Но по своим качествам в воздухе он заметно отличается от обычных машин с плоскими или закругленными крыльями.

Для обычного плоского крыла характерно индуктивное сопротивление: воздух из зоны повышенного давления под крылом стремится перетекать в зону разрежения на верхней поверхности через законцовки крыла. При этом за самолетом образуются концевые вихри, на формирование которых также расходуется энергия, которая и составляет величину индуктивного сопротивления. При увеличении угла атаки на крыле происходит срыв потока — когда воздушная струя перестает плавно обтекать верхнюю поверхность крыла и отрывается от нее с образованием вихрей. При этом подъемная

сила на крыле тут же пропадает, и самолет теряет устойчивость, что может привести к трагическим последствиям.

Для овального крыла проблема индуктивного сопротивления не актуальна, поскольку у него отсутствуют законцовки. Кроме того, набегающий поток воздуха, проходя сквозь замкнутый контур, направляется вниз, создавая дополнительную подъемную силу. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше угол атаки крыла. А угол атаки у подобной конструкции может быть беспрецедентно большим.

Овальное крыло допускает угол атаки крыла до 50° , в то время как его ближайшие конкуренты достигают максимум $20\text{--}22^\circ$. Воздух, находящийся внутри замкнутого крыла, затрудняет срыв потока с верхней поверхности нижней части крыла. А при выходе потока из замкнутого контура он за счет эжекции (процесса смешения двух сред, когда одна среда увлекает за собой другую) «подсасывает» воздух, проходящий по поверхности верхней части крыла. Эти данные получены не эмпирическим путем — овальное крыло «проливали» в гидроканале.

За более чем вековую непростую историю кольцепланы доказали свое право на полет. Очевидны и их преимущества, которые пока не получили должной оценки. Возможно, эра кольцепланов еще впереди.

ВЫВОДЫ

1) При разгоне самолета и увеличении его скорости, подъемная сила возрастает. Как только она превышает вес самолета, он взлетает вверх. При горизонтальном движении самолета с постоянной скоростью все силы являются уравновешенными, их результирующая (суммарная сила) равна нулю.

2) Форма крыла подбирается такой, чтобы лобовое сопротивление было как можно меньше, а подъемная сила — как можно больше.

3) Подъемную силу можно увеличивать, повышая скорость движения и площадь крыльев. Чем выше скорость движения, тем меньшей может быть площадь крыльев и наоборот.

4) Изменяя форму крыла и угол атаки можно получить новые свойства полета самолета (маневренность, устойчивость,

экономичность и т.д.), то есть сделать его более совершенным.

5) Изучив теорию движения воздушных масс и геометрию крыльев летательных аппаратов я пришел к выводу, что для своей авиамоделей эффективней сделать крыло прямоугольной или кольцевой формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа над проектом, позволила узнать:

- закон природы, которым пользуются люди, чтобы летать на самолетах с неподвижным крылом;
- как люди приспособились пользоваться этим явлением, сделав крыло;
- как улучшались полетные качества самолетов, изменяя форму крыла.
- как следует оформлять проекты.

Данный проект может пригодиться на уроках физики, для объяснения другим ребятам, как влияет конструкция крыла на полет самолета.

Необходимо думать над тем «почему так происходит», даже если это кажется пустяковым явлением. Ну, кто, скажите, обратит внимание на то, что лист бумаги поднимается, если на него подуть. А целая авиация выросла из-за того, что кто-то решил узнать, почему лист поднимается или почему лодки, плывущие рядом, обязательно прижмет бортами друг к другу.

В конце я благодарю консультанта и руководителя, что помогли создать этот проект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Большая энциклопедия транспорта. М.: Махаон, 2012.

Кушин И.В. Авиация. Науч.-поп. издание для детей. М.: РОСМЭН, 2014.

Чернышев С. Почему самолет летает? // Наука и жизнь. 2008. № 11.

Энциклопедия для детей. Техника. Т. 14. М.: Аванта, 1999.

ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ

<https://ru.wikipedia.org>.

<http://gendilana.ru>.

<http://www.kakprosto.ru>.

<http://collectionerus.ru>.

<http://www.parkflyer.ru>.