

В. Пышнов

Аэродинамика самолета

Часть 1. Аэродинамический расчет

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
В11

В11 **В. Пышнов**
Аэродинамика самолета: Часть 1. Аэродинамический расчет / В. Пышнов –
М.: Книга по Требованию, 2014. – 208 с.

ISBN 978-5-458-37857-4

Аэродинамика самолета

ISBN 978-5-458-37857-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс „Аэродинамики самолета“ имеет целью рассмотрение всех случаев движения самолета, анализ свойств самолета и важнейших факторов, влияющих на полет, технический анализ истории развития самолета и изложение методов изыскания наивыгоднейших размеров и форм при проектировании самолета.

Первая часть курса „Аэродинамика самолета“, предлагаемая вниманию читателя, посвящена аэродинамическому расчету, т. е. расчету полетных качеств в установившемся движении. Сюда входят расчеты скоростей, потолка, времени подъема, спуска и дальности полета.

Вторая часть — „Динамика управляемых движений“ — будет иметь своей задачей рассмотрение равновесия и устойчивости относительно трех осей, рассмотрение работы рулей, анализ взлета посадки, разгона, торможения, виража, планирования, петель и других фигур. Третья часть будет посвящена техническому анализу исторического развития самолета, анализу состояния современной авиации и методам проектирования. Наконец, в четвертой части предполагается дать исследование самостоятельных движений самолета, т. е. колебаний, штопора и полета в неспокойной атмосфере, и рассмотрение динамики самолетов необычной схемы.

Изучение аэродинамики самолета предполагает наличие знаний по следующим дисциплинам: 1) аэромеханика теоретическая, включая теорию индуктивного сопротивления; 2) аэродинамика экспериментальная, содержащая методику испытаний и главные результаты опытов с самолетом и его частями, и 3) гребные винты, включая построение характеристики винтомоторной группы и изыскание наилучшего винта по заданиям. Литература по этим вопросам указана в приложении. Необходимые для расчета сведения справочного характера по вопросам пересчета крыла на другое удлинение, построения кривой Лилиенталя самолета и расчета характеристики винтомоторной группы тоже даны в приложении.

До сих пор специального учебника по аэродинамическому расчету еще не было. Однако по этому предмету опубликовано значительное количество статей, предназначенных, главным образом, для конструкторов. Настоящий курс написан как учебник с учетом опыта преподавания этой дисциплины в Военной воздушной академии РККА.

Глава о дальности полета развита гораздо шире, чем обычно, а также введена глава об учете влияния различных факторов на полетные качества, которая предназначена, главным образом, для разрешения вопросов по эксплуатации самолетов. В таком полном виде последняя глава печатается впервые. Таким образом учебник предназначен не только для конструкторов, но и для инженеров-эксплуатационников.

*

Считаю своим долгом выразить редактору издательства инж. Е. Латынину глубокую благодарность за его большую и квалифицированную помощь по приданию изложению стройности, методической последовательности, ясности и полноты, — качеств обязательных для учебника.

В. Пышинов

ВСТУПЛЕНИ

К созданию летающей машины люди шли разными путями. Каждый путь, каждая идея полета имели какое-то теоретическое обоснование. С течением времени одни идеи отмирали, другие зарождались и, наконец, несколько идей соединялось в одну. Рассмотрим вкратце некоторые наиболее интересные идеи.

Самая старая и, конечно, самая естественная мысль была летать как птицы, т. е. при помощи взмахов крыльями. Под этот способ полета подводились разные теоретические обоснования, но они касались, главным образом, кинематики движения. Неудачи таких машин, называемых орнитоптерами, происходили по причине недостатка мощности, хотя сами изобретатели часто объясняли свою неудачу тем, что они недостаточно хорошо копировали движение и конструкцию птичьих крыльев.

Другая идея, выдвинутая Леонардо-да-Винчи, была идея геликоптера, т. е. винта с вертикальной осью, который своей тягой должен был поднять машину. Модели геликоптеров летали очень хорошо, однако, опыты с большими геликоптерами долгое время были неудачны. Причины неудач заключались опять не в принципе работы, а в недостатке мощности, что, в свою очередь, происходило из-за слишком тяжелых двигателей и малых размеров машины.

Третий тип машины — ортоптеры, это машины, летающие, как и геликоптер, за счет создания тяги, но у них движение лопастей или лопаток было не простым вращательным, а часто колебательным или сложновращательным. Некоторые ортоптеры имитировали полет насекомых или малых птиц, способных, как известно, держаться на одном месте.

Неудача ортоптеров объяснялась не только недостатком мощности, но и конструктивными трудностями из-за больших ускорений в механизме.

Четвертый тип летающей машины — воздушный змей. При больших размерах его, или применяя несколько змеев, удавалось поднимать в воздух человека. Недостатком змея была его несамостоятельность. Для полета нужен был ветер, а продвижение вперед возможно было только путем перемещения привязного троса.

Наконец, пятый тип летающей машины был планер, т. е. машина, подобная птице, но с неподвижными крыльями.

С точки зрения принципа работы нужно отметить следующее: в вертолете и ортоптере вся работа была направлена на создание вертикальной силы, которая могла бы преодолеть вес машины.

Работа крыльев орнитоптера была направлена одновременно на создание подъемной силы для преодоления веса и на создание силы,двигающей машину вперед.

В змее мы видим уже разделение функций: наклонная поверхность давала подъемную силу, а натяжение троса преодолевало сопротивление встречного потока.

В планере подъемную силу дает крыло, а продвижение вперед происходит за счет силы тяжести.

Самолет появился в результате долгой и упорной работы по всем перечисленным направлениям; однако, наиболее важную роль сыграли воздушный змей и планер. В самом деле, для перехода к самолету достаточно было трос заменить другим средством создания тяги, установленным на самой машине. Этим источником тяги явился воздушный винт.

Одни конструкторы шли прямо к созданию самолета от змея, — это французы и Ланглей в Америке. Их работа протекала сперва на моделях, пока они нащупывали необходимые для полета человека величины крыльев и мощности мотора.

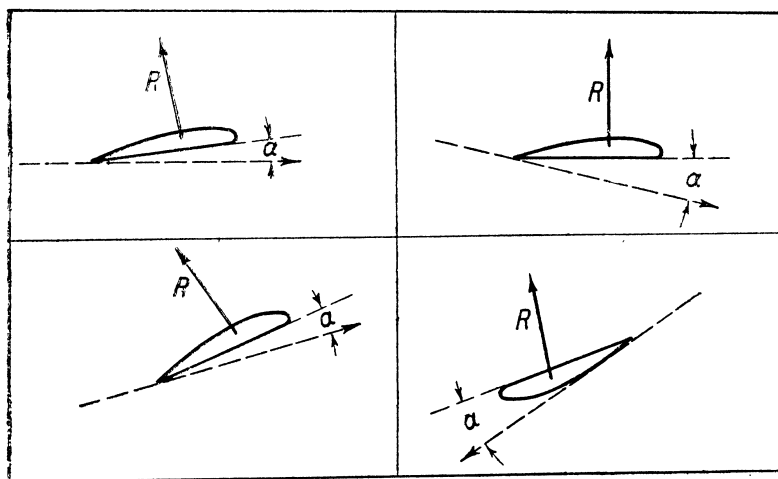
Другой дорогой шли Лилиенталь в Германии и бр. Райт в Америке. Они начали с планера, быстро нашли необходимый размер крыльев, разработали управление в полете и, наконец, как сделали бр. Райт, поставили мотор с винтом.

По мере усовершенствования самолетов стала совершенствоваться и теория полета. Теперь она уже не довольствовалась объяснением причины полета, а старалась найти полетные качества машины и меры к их улучшению. Дальше круг вопросов все расширялся. Кроме случая нормального полета теория рассматривает теперь поведение самолета и во всех других случаях полета.

1. АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ И ПОДСЧЕТ ОТДЕЛЬНЫХ ЛЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА

А. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Когда самолет летит, то воздух, окружающий самолет и винт, приходит в движение. В результате взаимодействия движения самолета и воздуха получается сила R , которую обычно разлагают на подъемную силу P и сопротивление Q . Напомним, что подъемной силой называется составляющая, перпендикулярная



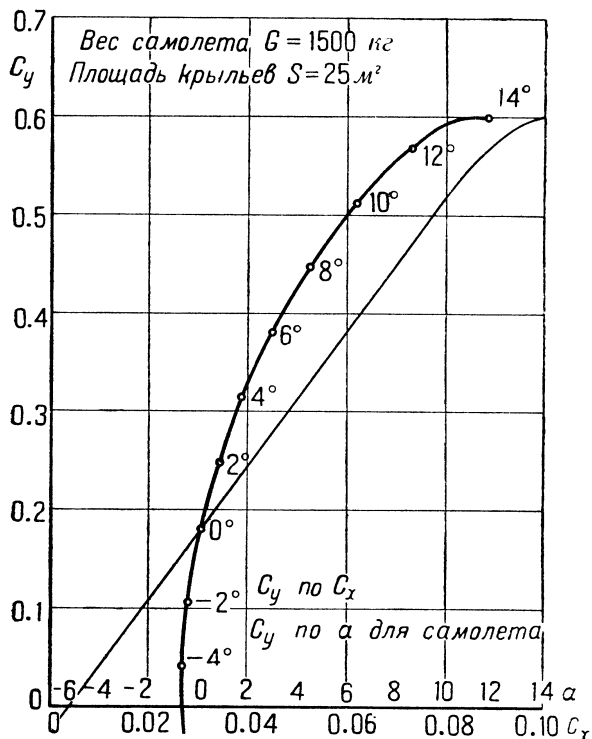
Фиг. 1. Угол атаки крыла в разных случаях движения.

движению; следовательно, подъемная сила не всегда направлена вверх. Следует внимательно разобраться в фиг. 1, где показаны примеры направления сил и углов атаки крыла ¹. Название подъемная сила, собственно говоря, неправильно и не соответствует подъемной силе воздушного шара, которая всегда направлена вверх.

¹ Опыт преподавания показал, что не всегда своевременно усваивается понятие угла атаки и направления подъемной силы, что сильно препятствует дальнейшей учебе.

Величина подъемной силы и сопротивления самолета может быть найдена, если известны величины C_y , C_x по углам атаки α , площадь крыльев, плотность воздуха и скорость полета. Таким образом в качестве исходного материала о самолете нужно иметь: C_y , C_x по α в виде поляры Лилиентала или другой диаграммы для всего самолета, площадь крыльев в м^2 ; плотность воздуха, соответствующую высоте полета и температуре воздуха, и полетный вес самолета в кг.

Примерный вид такого задания дан на фиг. 2¹.



Фиг. 2. Кривая Лилиентала самолета.

В результате взаимодействия движения винта и окружающего воздуха имеем тягу винта Φ , которая зависит от скорости вращения винта, от скорости полета и от плотности воздуха. Обычно дают лишь наибольшую тягу винта при работе мотора на полной мощности в функции скорости полета и плотности воздуха. На фиг. 3 дана примерная величина тяги винта в функции скорости для разных высот полета при работе мотора на полной

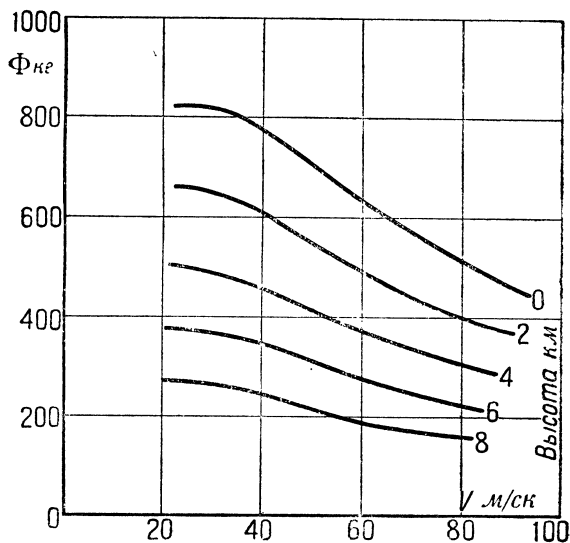
¹ Все расчеты самолета и диаграммы, даваемые в курсе, выполнены для самолета с этими же данными, за исключением специально оговоренных случаев.

мощности. Будем помнить, что тягу, меньше указанной, всегда можно получить.

Вместо тяги винта часто дают полезную мощность винта. Полезная мощность винта N равна тяге, умноженной на скорость и деленной для перевода в л. с. на 75.

На фиг. 4 дана полезная мощность аналогично фиг. 3. Следует внимательно проследить различие обеих диаграмм и практически проделать перестройку тяги на полезную мощность, или обратно.

Условимся называть „располагаемой тягой“ и „располагаемой мощностью“ наибольшую тягу и полезную мощность, которую



Фиг. 3. Тяга винта на разных высотах в зависимости от скорости.

способна дать винтомоторная группа в данных условиях скорости, высоты и температуры полета.

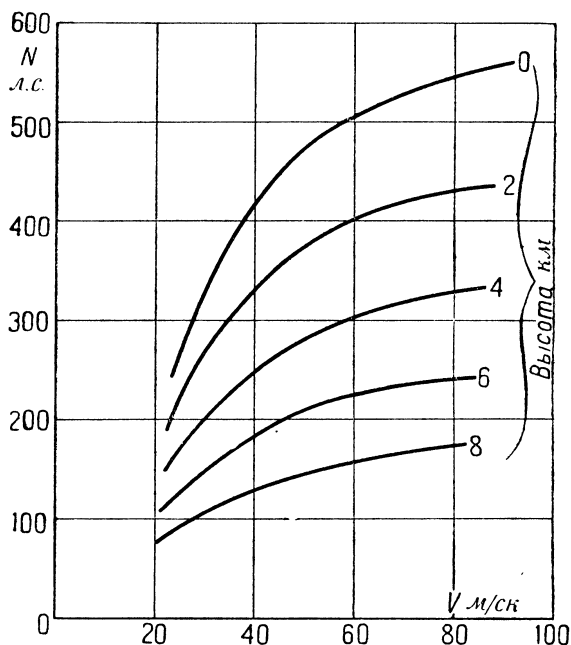
Имея этот материал, можно приступить к расчету полетных качеств самолета.

Расчет полета самолета есть просто задача по механике: найти движение по заданным силам, или наоборот. Все отличие от обычных задач механики будет только в том, что силы очень изменчивы, а главное, — не имеют аналитического выражения и задаются в виде диаграммы, как это, например, уже было дано на фиг. 2, 3 и 4.

Не следует думать, что указанные особенности присущи только теории самолета. Они имеют место во всех тех передовых областях техники, где точность эксперимента превышает точность теоретического расчета.

Многие, изучающие теорию самолета, здесь впервые встретятся с применением эмпирических кривых, с графо-аналитическим методом расчета.

Как уже было сказано, в механике задачи можно решать двояким путем: или, зная силы, искать движение или, зная движение, искать потребные силы. Мы будем применять оба способа, но первая часть курса содержит задачи, которые решаются вторым способом, т. е. мы задаемся движением и ищем силы.



Фиг. 4. Полезная мощность винта на разных высотах в зависимости от скорости.

Найденные силы, мощности, скорости, необходимые для заданного движения, будем называть „потребными“, а затем, сравнивая их с силами, мощностями, скоростями, которыми мы „располагаем“ в данных условиях, будем иметь суждение о возможности данного движения и его границах. Возможны будут только те случаи движения, когда элементы потребные расположатся внутри элементов располагаемых.

Может быть, это некоторым покажется очень понятным, элементарным, однако, на основании педагогического опыта, можно сказать, что при отсутствии четкого различия между элементами „потребными“ и „располагаемыми“ у учащихся в дальнейшем получается путаница.

Б. ПОЛЕТ В БЕЗВЕТРИИ

1. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ

а) *Действующие силы.* Задаемся горизонтальным полетом под некоторым углом атаки α (фиг. 5). Прикладываем силы тяжести G , подъемную — P , сопротивление Q и тягу винта Φ . Тягу винта пока направим горизонтально.

Движение прямолинейно и равномерно; ускорения, а следовательно, и силы инерции отсутствуют.

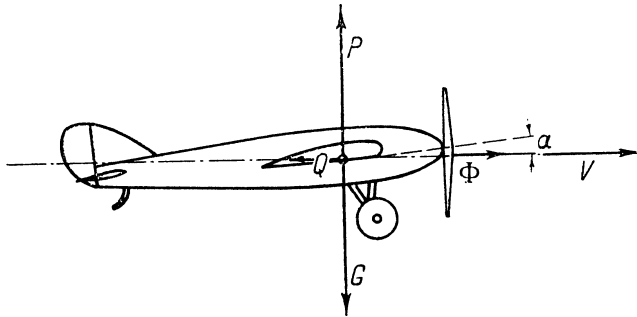
Прилагая начало д'Аламбера, требуем равновесия всех сил. Берем оси координат: ось X параллельна движению, ось Y — перпендикулярна.

Условие равновесия проекций на ось X :

$$\Phi - Q = 0. \quad (1)$$

То же, на ось Y :

$$P - G = 0. \quad (2)$$



Фиг. 5. Силы, действующие на самолет в горизонтальном полете.

Словами это можно формулировать так: в горизонтальном полете подъемная сила равна весу самолета, а тяга винта равна сопротивлению самолета.

Рассмотрим, что случится при отсутствии равновесия сил.

Пусть подъемная сила больше веса. Что произойдет в этом случае? Обычно отвечают, что самолет будет подниматься вверх. Такой ответ неточен и даже неправилен: когда нет равновесия сил, движение будет ускоренным; в данном случае ускорение будет направлено в сторону подъемной силы, т. е. перпендикулярно скорости. Такое ускорение называется нормальным, и оно имеет место в криволинейном движении. Значит, если подъемная сила больше веса, то самолет не только будет подниматься, но линия движения станет кривой. Если сила тяги больше сопротивления, то ускорение будет вдоль движения, т. е. касательное. Скорость движения будет расти до тех пор, пока не наступит равновесие. При равномерном движении силы находятся в равновесии, т. е. равнодействующая равна нулю. Движение происходит

по инерции. Но когда самолет набирал свою скорость, тяга была больше сопротивления.

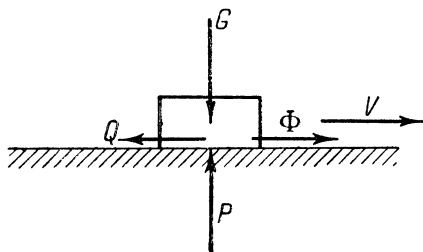
Полет самолета в данном случае аналогичен движению твердого тела по горизонтальной плоскости (фиг. 6).

Подъемной силой служит нормальная реакция, которая равна весу тела. Сила тяги должна быть равна сопротивлению, которое происходит от трения.

б) *Потребная скорость.* Проанализируем сначала условие $P = G$. Из аэродинамики мы знаем, что

$$P = C_y \rho S V^2. \quad (3)$$

Если мы задались углом атаки α , то по полюре можем взять соответствующий C_y . Площадь S , плотность ρ нам известны, и потому, приравняв подъемную силу весу самолета, найдем потребную скорость:



$$G = C_y \rho S V^2;$$

$$V = \sqrt{\frac{G}{C_y \rho S}}. \quad (4)$$

Это очень важное выражение для скорости, которым в дальнейшем часто придется пользоваться.

Анализируя величину скорости, мы видим, что она

должна расти вместе с величиной $\frac{G}{S}$, называемой удельной нагрузкой крыльев или нагрузкой на m^2 крыла. Уменьшение плотности с поднятием на высоту тоже требует увеличения скорости полета.

Таким образом увеличение нагрузки самолета и поднятие на высоту должно сопровождаться увеличением скорости полета.

в) *Угол атаки и скорость.* Подсчитаем подъемную силу крыльев при разных углах атаки и скоростях. Результаты подсчета выразим в диаграмме, откладывая по оси абсцисс скорость, а по оси ординат — подъемную силу. Каждая кривая соответствует некоторому постоянному углу атаки (фиг. 7). Затем проведем прямую, параллельную оси абсцисс, ордината которой равна весу самолета. Рассматривая диаграмму, можно сделать важные выводы: 1) на больших скоростях подъемную силу крыльев можно сделать значительно больше веса самолета или, иными словами, в наличии имеется большой запас подъемной силы; 2) для того чтобы подъемная сила равнялась весу, при увеличении скорости необходимо менять угол атаки, причем каждой скорости соответствует определенный угол атаки; 3) у самолета есть предельная минимальная скорость, медленнее которой равномерный полет невозможен; при этой скорости подъемная сила равна весу при угле атаки наибольшего C_y .

Зависимость между скоростью и углом атаки можно снять