

А.А. Жабров

**Теория полета и
пилотирование самолета**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
А11

А11 **А.А. Жабров**
Теория полета и пилотирование самолета / А.А. Жабров – М.: Книга по Тре-
бованию, 2021. – 413 с.

ISBN 978-5-458-37369-2

ISBN 978-5-458-37369-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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 первоизданном 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

«вращаемого в воздухе». Эти опыты, предпринятые с целью получения исходных данных для расчета вертолета, блестяще подтвердили закон пропорциональности сопротивления воздуха квадрату скорости и характерной площади тела, сформулированный основоположником механики Ньютоном (1643—1727).

Вопросами сопротивления воздуха движущимся в нем телам с успехом занимался великий русский химик Д. И. Менделеев (1834—1907). Он опубликовал в 1880 г. свой замечательный для того времени труд «О сопротивлении жидкостей и воздухоплавании», в котором на основе опытов, проведенных в лаборатории Петербургского университета, был экспериментально подтвержден квадратичный закон сопротивления и пропорциональность силы сопротивления плотности среды при падении тел.

Капитан первого ранга А. Ф. Можайский (1825—1890) начал работать над проблемой летания в 1862 г. Проводя опыты с воздушными змеями, он изучил полет птиц и построил модель задуманного им самолета, которая успешно летала. Затем изобретатель разработал проект фюзеляжного самолета-моноплана с паровым двигателем и органами управления и в 1881 г. получил патент на свой проект. Самолет строился и испытывался в 1882—1885 гг. на военном поле недалеко от Петербурга. При одном из испытаний самолет оторвался от земли и немного пролетел над полем. Дальнейшие опыты были затруднены из-за недостатка средств, однако талантливый изобретатель не прекратил своих исканий.

Таким образом, А. Ф. Можайский осуществил полет на самолете на два десятилетия раньше американцев братьев Райт (первый полет их самолета состоялся в 1903 г.).

Аэродинамические опыты можно было широко развить только после создания специальных устройств для получения искусственного потока воздуха — аэродинамических труб. Первую в России аэродинамическую трубу построил в 1897 г. знаменитый русский изобретатель и ученый Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935). Из большого числа научных работ Циолковского по аэродинамике особенно ценны статьи «К вопросу о летании посредством крыльев» (1891 г.) и «Аэроплан, или птицеподобная летательная машина» (1904 г.). В

последней статье ученый дал описание и чертежи самолета-моноплана, близкого по своим формам к современным самолетам. Особенно плодотворно К. Э. Циолковский работал в области реактивной техники, и ему принадлежат пророческие слова: «За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных», блистательно оправдавшиеся в наше время. Своей работой «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (1903 г.) Циолковский заложил основы теории реактивных летательных аппаратов. Он разработал фантастический для его времени проект создания искусственного спутника Земли, развитый впоследствии советскими учеными и впервые в мире блестяще осуществленный 4 октября и 3 ноября 1957 г., затем 15 мая 1958 г. и, наконец, 2 января 1959 г., когда советская космическая ракета стала первой искусственной планетой.

Самый плодотворный период в развитии аэродинамики в нашей стране связан с именем профессора Н. Е. Жуковского (1847—1921) — великого ученого, автора более 200 научных работ по механике, математике, астрономии, гидравлике, гидродинамике и аэродинамике. Особенно большие результаты дала деятельность Жуковского в области аэродинамики и ее технического приложения — авиации. Гениальный ученый и замечательный инженер, Н. Е. Жуковский сумел объединить тонкие теоретические исследования с научным экспериментом, что и привело его к поразительным достижениям в науке и технике.

Аэродинамическими опытами Н. Е. Жуковский занялся параллельно с теоретической работой еще в конце прошлого века, но особенно широкий размах эти опыты приобрели после того, как под руководством Жуковского в 1902 г. была построена в Московском университете аэродинамическая труба, а в 1904 г. создан в Кучино, под Москвой, первый в мире аэродинамический институт. Достигнутые в последующие годы успехи в развитии практической авиации требовали все большего расширения исследовательской работы. Поэтому в 1909 г. Жуковский построил в Московском университете новую, более совершенную аэродинамическую трубу и организовал аэродинамическую лабораторию при Московском высшем техническом училище.

Здесь вокруг Н. Е. Жуковского сплотилась большая группа талантливых учеников, многие из которых во главе с С. А. Чаплыгиным впоследствии стали крупнейшими советскими специалистами в авиационной науке и технике.

Н. Е. Жуковский блестяще решил ряд задач, связанных с теорией крыла и воздушного винта. В своем труде «О присоединенных вихрях» (1906 г.) Жуковский первый создал законченную теорию образования подъемной силы крыла и вывел теорему для вычисления ее величины. Эта теория легла в основу всех позднейших теорий о работе крыла самолета. В другом выдающемся труде «Вихревая теория гребного винта» (1912 г.) Н. Е. Жуковский решил и другую основную проблему авиации, создав теорию, позволившую найти рациональные формы и методы расчета воздушных винтов. Этот труд Жуковского составил эпоху в развитии теории воздушных винтов.

В разработке основных проблем аэродинамики большую роль сыграл и другой наш крупнейший ученый, сподвижник и ученик Жуковского, академик С. А. Чаплыгин (1869—1942). Еще в 1902 г. в своей работе «О газовых струях» он положил начало аэродинамике больших скоростей (газовой динамике). В своих работах «Теория решетчатого крыла» (1914 г.) и «Схематическая теория разрезного крыла» (1922 г.) Чаплыгин впервые предложил и теоретически обосновал механизированные крылья, которые позже получили широкое применение в авиации всех стран.

Большой вклад в развитие аэродинамики внесли и другие ученики Жуковского — академик Б. Н. Юрьев, профессор В. П. Ветчинкин, профессор Г. Х. Сабинин, академики А. И. Некрасов, В. В. Голубев, А. Н. Туполев.

Велика роль Н. Е. Жуковского в деле создания воздушной мощи нашей страны. Он явился создателем теории крыла, пользуясь которой конструкторы рассчитывают самолеты. Под его же руководством началась подготовка многочисленных кадров инженеров для наших институтов и авиапромышленности. По его идее, поддержанной Лениным, был создан в 1918 г. Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), а затем Военно-воздушная инженерная академия (ВВИА), которые носят славное имя Н. Е. Жуковского.

Им же был создан Московский авиационный институт (МАИ).

Владимир Ильич Ленин высоко ценил заслуги Н. Е. Жуковского перед Родиной и назвал его отцом русской авиации. В историю нашей страны Н. Е. Жуковский вошел как один из самых замечательных деятелей русской науки и техники.

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла новые широчайшие перспективы для развития нашей авиационной науки и техники. Кроме ЦАГИ, который вырос в один из крупнейших аэродинамических институтов мира, в нашей стране имеется уже весьма разветвленная сеть аэродинамических институтов и лабораторий. Созданы также специальные летно-испытательные учреждения, которые проводят испытания самолетов и других летательных аппаратов. Таким образом, имеется прочная база для развития аэродинамики.

Советское правительство уделяет большое внимание развитию авиации и создало исключительно благоприятные условия для работы наших ученых. На заботу о науке и людях науки советские ученые отвечают напряженным творческим трудом. Советские аэродинамики— академики С. А. Христианович, Н. Е. Кочин, М. В. Келдыш, профессора В. С. Пышнов, Н. Г. Четаев, Ф. И. Франкль, И. В. Остославский, Б. Т. Горощенко и многие другие — являются достойными продолжателями аэродинамической школы, созданной Н. Е. Жуковским.

Наша авиация является лучшей в мире. Имена авиаконструкторов А. Н. Туполева, С. В. Ильюшина, А. И. Микояна, В. М. Мясищева, А. С. Яковлева, О. К. Антонова, С. А. Лавочкина, П. О. Сухого известны всей стране и за ее пределами.

Советские аэродинамики и авиаконструкторы прилагают все усилия к тому, чтобы авиация, которая служит народу, строящему коммунизм, была самой передовой и самой мощной в мире.

Наш народ любит свою авиацию и гордится ее достижениями.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРИЯ ПОЛЕТА И ПИЛОТИРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ САМОЛЕТОВ

ГЛАВА I

ВОЗДУХ И ЕГО СВОЙСТВА

§ 1. АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ

Атмосферой называется газообразная оболочка, окружающая земной шар. Газ, составляющий эту оболочку, мы называем воздухом.

Метеорологические наблюдения показывают, что высота воздушной оболочки Земли очень велика (свыше 2000 км). Переход от земной атмосферы к межпланетному пространству совершается очень плавно, и вследствие этого указать точно верхнюю границу атмосферы нельзя. Можно только отметить, что в пределах первых 20 км находится около 94% всей массы атмосферного воздуха.

Атмосфера разделяется на тропосферу, стратосферу и ионосферу.

Тропосферой называется нижний слой атмосферы, в котором наблюдается понижение температуры воздуха по мере подъема на высоту. Это объясняется тем, что нагрев воздуха происходит в основном от нагретой солнечными лучами земной поверхности. Поэтому по мере удаления от земли нагрев будет менее интенсивным. Падение температуры с подъемом на высоту приводит к перемешиванию воздушных масс: холодные верхние слои опускаются, а теплые нижние поднимаются. Вследствие интенсивного перемешивания воздуха в тропосфере дуют ветры, образуются облака, выпадают осадки и т. п. Состав воздуха в тропосфере по этой же причине практически постояен.

Сухой воздух в тропосфере содержит (в объемных процентах):

азота	78,03
кислорода	20,99
аргона	0,94
углекислого газа	0,03
водорода	0,01
неона	0,0012
гелия	0,0004

По весу воздух состоит из 21% кислорода и 79% всех остальных газов.

Кроме указанных газов, в воздухе содержится водяной пар. Количество его является переменным и на малых высотах может доходить до 4% веса воздуха. В нижних слоях атмосферы находится также множество примесей в виде мельчайших твердых частиц, носящих общее название пыли. Водяной пар и пыль уменьшают прозрачность воздуха, в результате чего уменьшается и видимость.

С подъемом на высоты, лежащие выше тропосферы, падение температуры практически прекращается и она остается постоянной, равной — 56°,5 С. Постоянство температуры в средних широтах (порядка 45°) начинается с высоты 11 км (на полюсе — 8 км, на экваторе — 17 км) и наблюдается в среднем до высоты 32 км. На высотах примерно от 30 до 55 км температура повышается до +75° С, что объясняется увеличением количества озона в воздухе. Озон обладает способностью поглощать энергию солнечных лучей, и поэтому воздух нагревается. На высотах 55—80 км количество озона уменьшается и температура падает до — 50° С.

Этот второй слой, лежащий непосредственно над тропосферой, называется стратосферой. Для стратосферы характерно почти полное отсутствие облаков и наличие сильных ветров, отличающихся постоянством скорости и направления.

За стратосферой следует ионосфера, в которой воздух сильно нагревается вследствие присутствия большого количества космической пыли.

Давление и плотность воздуха с увеличением высоты во всех трех слоях атмосферы уменьшаются.

§ 2. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА. АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

В тропосфере на каждые 1000 м высоты температура падает примерно на $6^{\circ},5\text{C}$. Поэтому если известна температура воздуха у поверхности земли (в данном пункте), то нетрудно приблизительно определить температуру воздуха на любой высоте до 11 км над этим пунктом. Например, если температура у земли равна $+18^{\circ}$, то на высоте 4 км она равна:

$$t_n = 18 - 6,5 \cdot 4 = -8^{\circ},$$

или, в общем виде,

$$t_n = t_0 - 6,5H.$$

Абсолютная температура. Температура воздуха измеряется в градусах Цельсия. За нулевую температуру принимают температуру тающего льда (нуль на шкале Цельсия) или температуру -273°C , которую считают абсолютным нулем, поскольку при такой температуре тепловое движение молекул прекращается. Температура, отсчитываемая от абсолютного нуля, называется абсолютной температурой (обозначается буквой T).

Если известна температура воздуха t° по шкале Цельсия, то абсолютную температуру можно найти из равенства:

$$T^0 = 273^0 + t^0,$$

в которое температура t° подставляется со своим знаком (плюс или минус). Например, при $t = -15^{\circ}$

$$T^0 = 273^0 + (-15^0) = 258^0.$$

§ 3. ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА УМЕНЬШЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С ВЫСОТОЙ

Всякое тело, находящееся в воздухе, испытывает со стороны последнего давление, причем сила давления всегда направлена перпендикулярно к каждой элементарной площади поверхности тела. Атмосферное давление объясняется тем, что воздух, подобно всем другим веществам, обладает весомостью, т. е. притягивается Землей. Атмосферное давление можно измерить барометром (от греческого слова «барос» — тяжесть и

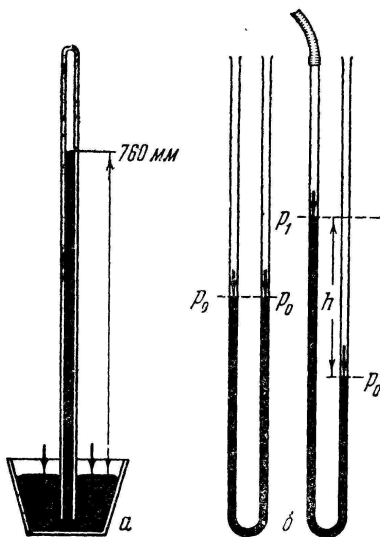


Рис. 1. а — простейший ртутный барометр; б — простейший манометр

«метрон» — мера). Принцип действия его состоит в том, что давление воздуха уравновешивается весом столба ртути в трубке (рис. 1,а). При этом диаметр трубки не играет роли, так как с увеличением диаметра ртутного столба соответственно увеличивается и сила давления воздуха на ртуть в трубке.

При уменьшении атмосферного давления высота столба ртути уменьшается, при увеличении — увеличивается (над поверхностью ртути в трубке — безвоздушное пространство). Измеряя высоту столба ртути, можем измерять и величину атмосферного давления. На

уровне моря высота столба ртути в зависимости от температуры и влажности воздуха колеблется от 700 до 800 мм и в среднем равна 760 мм. Такое давление принято считать стандартным, или нормальным. Атмосферное давление, измеренное в миллиметрах ртутного столба (барометрическое давление), принято обозначать буквой B , а на уровне моря — B_0 .

Давление воздуха можно измерять и силой, приходящейся на единицу площади, т. е. в килограммах на квадратный метр ($кг/м^2$). В этом случае давление воздуха принято обозначать буквой p , а на уровне моря — p_0 .

Давление 760 мм рт. ст. равнозначно (эквивалентно) давлению $10\,336\,кг/м^2$. Если разделить второе число на первое, то получится, что давление в 1 мм рт. ст. эквивалентно давлению $13,6\,кг/м^2$.

При аэродинамических исследованиях часто приходится измерять разность давлений. Для этого служит манометр. Простейший жидкостный манометр (рис. 1,б) представляет собой изогнутую открытую трубку, частично наполненную жидкостью, например

ртутью. На поверхность ртути в обоих коленах трубки действует атмосферное давление (обозначим его p_0), поэтому ртуть в обоих коленах стоит на одном уровне. Если же одно колено трубки, например левое, соединить с пространством, в котором давление p_1 меньше атмосферного, то уровень ртути в левом колене повысится, так как на поверхность ртути в правом колене воздух давит сильнее, чем в левом. Разность уровней h и покажет разность давлений в мм рт. ст.

$$h = p_0 - p_1.$$

Манометр позволяет определить не только разность давлений, но и неизвестное давление p_1 , так как из написанного выше равенства следует, что $p_1 = p_0 - h$ (атмосферное давление всегда можно взять по показанию барометра).

Для определения очень малых разностей давлений применяют более чувствительный манометр, который называется микроманометром. Он отличается от манометра тем, что наполнен более легкой жидкостью, чем ртуть, например водой. Вода легче ртути в 13,6 раза; следовательно, давление 1 мм водяного столба эквивалентно только 1 кг/м².

Уменьшение давления с высотой. Атмосферное давление на одной и той же высоте может изменяться в зависимости от температуры и влажности воздуха. Однако эти изменения в общем незначительны в сравнении с изменением давления при подъеме на высоту.

При подъеме на высоту атмосферное давление падает. Причиной этого является весомость воздуха. Чем ниже находится слой воздуха, тем более он сжат вышележащими слоями, тем больше и атмосферное давление. На высоте 5000 м давление почти в два раза меньше, чем на уровне моря.

§ 4. ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА. ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Очень важным физическим свойством воздуха является его плотность. Различают весовую плотность и массовую плотность воздуха. Разница между ними ста-

нет ясной, если вспомнить, что такое вес и масса тела и какими единицами они измеряются.

Вес тела есть сила, с которой данное тело притягивается Землей.

Масса тела есть количество вещества, заключенное в данном теле.

Масса тела — величина постоянная, тогда как вес меняется.

Вес зависит от географической широты; вследствие сжатия Земли у полюсов и силы инерции, возникающей благодаря вращению Земли, он примерно на 5% больше на полюсах, чем на экваторе.

Однако между массой и весом есть определенная зависимость.

За единицу массы принята масса гири из иридийной платины, хранящейся в Международной палате мер и весов в Париже. Эта единица названа килограммом. Сила же, с которой килограмм-масса притягивается Землей (на широте Парижа и на уровне моря), называется килограмм-весом. Эта сила и принята за единицу силы.

Итак, важным свойством массы является ее весомость. Другим еще более важным свойством массы является ее инертность.

Масса обладает способностью «сопротивляться» действию силы. При одной и той же силе сообщаемое телу ускорение будет тем меньше, чем больше масса тела. Поэтому можно сказать, что масса есть «мера инерции» тела. Это дает возможность измерять массу так называемой технической единицей массы. Найти ее нетрудно, поскольку из второго закона Ньютона следует, что масса тела равна силе, деленной на сообщаемое ей ускорение, т. е.

$$m = \frac{F}{j} \frac{\text{кг}}{\text{м/сек}^2} = \frac{F}{j} \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}}.$$

Эта размерность и есть, следовательно, техническая единица массы.

Обратимся теперь к весовой и массовой плотности воздуха.

Весовой плотностью воздуха называется вес воздуха в объеме 1 м³. И если некоторый объем воздуха обозначить буквой *W*, а вес воздуха в этом объеме бук-