

Б.В. Висленев, Д.В. Кузьменко

Теория авиации

Четвертое исправленное издание

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
Б11

Б11 **Б.В. Висленев**
Теория авиации: Четвертое исправленное издание / Б.В. Висленев, Д.В. Кузьменко – М.: Книга по Требованию, 2013. – 384 с.

ISBN 978-5-458-29165-1

В книге даны основные сведения по аэродинамике и рассмотрены законы, знание которых необходимо для осуществления полета самолета. Книга может служить учебным пособием для училищ, школ и строевых частей ВВС РККА.

ISBN 978-5-458-29165-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

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

Если одновременно изменяются давление и температура, то весовая плотность определится по следующей формуле:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{288}{273 + t}.$$

Для нахождения плотности воздуха при условиях, не отличающихся от нормальных, обычно пользуются готовыми таблицами.

Изменения влажности воздуха и его химического состава настолько мало сказываются на изменении плотности, что ими можно пренебречь.

Колебания в плотности воздуха от состояния погоды могут быть весьма значительны и достигать примерно 20%. Вообще надо считать, что зимой и при высоком барометрическом давлении плотность воздуха больше нормальной, а в жару и при низком барометрическом давлении плотность воздуха меньше нормальной.

Если сравнить плотность воздуха и воды, то окажется, что вода почти в 815 раз плотнее.

4. Инертность воздуха

Второе основное свойство воздуха, без которого был бы невозможен полет на аппаратах тяжелее воздуха,—это его *инертность*.

Из физики известно, что всякая масса (твердая, жидкая или газообразная) стремится сохранить состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения. Если какая-либо внешняя сила нарушает эти состояния, то масса оказывает этому сопротивление, развивая инерционные силы.

Давление ветра на неподвижные тела и силы сопротивления, которые развиваются при движении тел в воздухе, имеют своей основной причиной инертность воздуха.

5. Техническая единица массы

В технике нередки случаи решения задач на нахождение инерционных сил или тех ускорений, которые приобретает масса под действием свободной силы. При решении этих задач приходится сталкиваться, с одной стороны, с избыточными законами природы, а с другой—оперировать мерами, произвольно установленными человеком.

Второй закон Ньютона гласит: *ускорение, приобретаемое массой под действием некоторой силы, прямо пропорционально величине действующей силы и обратно пропорционально массе тела*. Можно выработать такую систему мер массы, силы и ускорения, при пользовании которой будет иметь место следующее простое соотношение: масса, равная единице, под дей-

ствием силы, также равной единице, будет иметь ускорение, равное единице.

В технике твердо установленной единицей силы является сила в 1 кг, т. е. сила притяжения 1 дм^3 воды при 4°С к центру земли на широте 45° . Единицей ускорения является приращение скорости на 1 м/сек^2 . *Технической единицей массы является такое количество вещества, которое под действием силы в 1 кг приобретает ускорение, равное 1 м/сек^2 .*

Посмотрим, в каком соотношении должны находиться техническая единица массы и масса 1 дм^3 воды при наибольшей ее плотности; для этого предоставим возможность массе тела весом в 1 кг совершать свободное падение. При свободном падении такое тело находится под действием силы земного притяжения, равной 1 кг, и имеет, как известно, ускорение, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$, т. е. ускорение данного тела в 9,81 раза более технической единицы ускорения, равной 1 м/сек^2 .

Увеличивая массу, но оставляя действующую силу неизменной, можно уменьшить ускорение в любое число раз. Легче всего такой опыт произвести на машине Атвуда, представляющей собою блок с перекинутой через него ниткой с двумя неуравновешенными грузами (рис. 1).

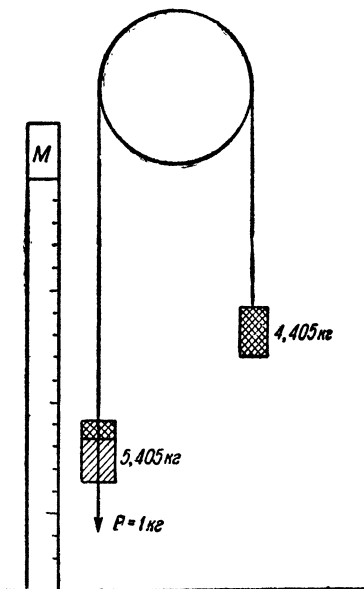


Рис. 1. Схема машины Атвуда.

На рисунке взяты массы грузов весом 5,405 и 4,405 кг. Общий вес, следовательно, 9,81 кг, а сила P , вызывающая ускорение, равна 1 кг.

Согласно закону Ньютона, ускорение при нашем опыте должно быть в 9,81 раза меньше, чем при свободном падении; так оно и получается в действительности. Произведя подобный опыт, мы нашли бы ускорение равным 1 м/сек^2 .

Теперь мы можем утверждать, что техническая единица массы, согласно определению и опыту, в 9,81 раза больше массы тела, весящего 1 кг.

Итак, если вес тела дан в килограммах, а нужно выразить его в технических единицах массы, то для этого число килограммов нужно разделить на 9,81.

Пример. Вес самолета 1000 кг. Сколько это составит технических единиц массы?

Ответ: $\frac{1000}{9,81} \approx 102$ техн. ед. массы.

Во многие технические формулы, никак не связанные со свободным падением, приходится вводить число 9,81.

Делать это приходится для перехода от практической единицы массы 1 кг, определяемой простым взвешиванием, к технической единице массы, более удобной для расчетов в тех случаях, когда приходится искать ускорение по силам или силы по производимому ими ускорению.

6. Массовая плотность

При расчетах в теории авиации обычно пользуются не весовой, а массовой плотностью воздуха. Массовая плотность воздуха измеряется числом технических единиц массы, заключенных в 1 м³. Для перехода от весовой плотности к массовой необходимо весовую плотность γ разделить на 9,81. Обозначение массовой плотности ρ :

$$\rho = \frac{\gamma}{9,81} \frac{\text{техн. ед. массы}}{\text{м}^3} \text{ или } \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}^4},$$

так как размерность технической единицы массы выражается в $\frac{\text{кг}}{\text{м/сек}^2}$.

Посмотрим, чему равна массовая плотность воздуха при нормальных условиях:

$$\rho_0 = \frac{1,225}{9,81};$$

произведя сокращение, почти в точности получаем:

$$\rho_0 = \frac{1}{8} \text{ или } 0,125.$$

Таким образом, мы будем считать, что *при нормальных условиях в каждом кубическом метре воздуха содержится $\frac{1}{8}$ технической единицы массы*. При изменении давления и температуры массовая плотность изменяется по тем же законам, что и весовая.

Для любых значений давления температуры массовая плотность воздуха может быть определена по формуле:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{288}{273 + t}.$$

Например, если дано $p = 750$ мм и $t = 27^\circ$, то массовая плотность, согласно приведенной формуле, будет равна:

$$\rho = 0,125 \cdot \frac{750}{760} \cdot \frac{288}{273 + 27} = 0,118.$$

7. Состав воздуха

По своему составу воздух является механической смесью нескольких газов.

По объему в воздухе содержится: азота 78,03%, кислорода 20,99% и других газов (аргон, углекислота, гелий, неон, ксенон, криптон) — 0,98%.

По весу в воздухе содержится: азота 75,53%, кислорода 23,02% и других газов 1,45%.

Кроме этого, атмосферный воздух содержит водяной пар, количество которого зависит от степени насыщения и температуры.

8. Атмосферное давление. Высотомер

Следствием весомости воздуха является атмосферное, или барометрическое, давление, принимаемое в среднем на уровне моря равным давлению ртутного столба высотой 760 мм. С поднятием в верхние слои атмосферы барометрическое давление уменьшается. Для небольших высот можно считать, что с поднятием на каждые 10 м давление уменьшается на



Рис. 2.

1 мм ртутного столба. Для измерения атмосферного давления пользуются барометрами. Барометры бывают двух родов: ртутные и металлические; последние носят название aneroidов. Ртутными барометрами пользуются лишь на метеорологических станциях, а на самолетах и аэростатах — всегда anerоидами. Такой барометр-анероид изображен на рис. 2.

В аэродинамике при вычислениях сил принято большей частью исходить из давлений не ртутного столба, а водяного, так как измеряемые давления вообще невелики, и, выражая

их высотой ртутного столба, мы получаем слишком малые величины. Кроме того, для ряда расчетов при выражениях давлений высотой водяного столба отпадает необходимость вводить в расчетные формулы плотность ртути, вследствие чего весь расчет упрощается. Будем иметь все же в виду, что 1 мм ртутного столба эквивалентен 13,6 мм водяного столба и что давление в 1 мм водяного столба эквивалентно 1 кг/м^2 .

Так как между уменьшением давления и набранной самолетом высотой имеется некоторая закономерность, то барометр-анероид можно приспособить для измерения высоты полета. Для этого, вместо шкалы с делениями давления, устанавливается *подвиж-*

ная шкала с делениями высоты. Такой прибор называется альтиметром, или высотомером (рис. 3).

Перед взлетом летчик, вращая шкалу (циферблат), устанавливает нулевое деление на то давление, которое показывает в данный момент стрелка, поэтому *высотомер в полете дает показания высоты относительно точки взлета*. Эти показания обычно не обладают абсолютной точностью и расходятся с действительной высотой в пределах от 2 до 5%; однако такая погрешность особого значения в полете не имеет.

Пользуясь альтиметром, летчик должен учитывать свойство альтиметра показывать высоту полета относительно точки взлета, а также и изменение рельефа местности во время полета, иначе легко впасть в крупные ошибки, особенно опасные при ночных полетах. Сущность происхождения этих ошибок не трудно уяснить из рассмотрения рис. 4.

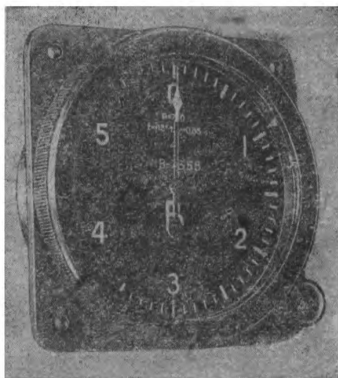


Рис. 3.

Например, если летчик, установив шкалу высотомера на 0, совершил взлет с аэродрома *A*, лежащего на высоте 250 м над уровнем моря, то над точкой *B* местности, лежащей на уровне

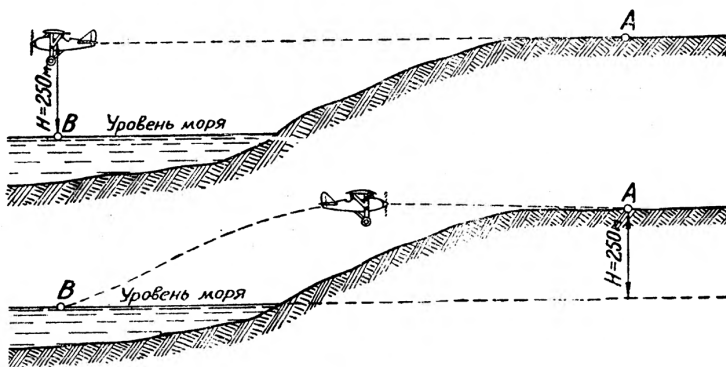


Рис. 4.

моря, высотомер будет показывать 0 высоты, тогда как фактически самолет находится на высоте 250 м над поверхностью земли.

Если же, наоборот, взлет произведен на уровне точки *B*, то в точке *A* самолет в действительности будет находиться у самой поверхности земли, а высотомер будет показывать 250 м.

При длительных полетах и дальних перелетах на показаниях альтиметра может сказаться изменение давления в зависимости от погоды, а также от географического изменения местоположения самолета.

В случае слепой посадки поправка показания высотомера является обязательной, поэтому летчик по радио запрашивает давление на уровне аэродрома, на котором он будет совершать посадку.

Обычным барометром-анероидом или ртутным можно воспользоваться для определения высот, используя формулу Пуассона:

$$H = 18\,395 \lg \frac{p_0}{p_H} \left(1 + \frac{t_0 + t_H}{546} \right),$$

где H — высота над землей, p_0 — давление у земли, p_H — давление на высоте, t_0 и t_H — температура воздуха у земли и на высоте.

9. Изменение температуры

Верхние слои атмосферы имеют меньшую температуру, чем нижние. На основании наблюдений установлено, что с поднятием на высоту до 11 км на каждые 100 м температура уменьшается приблизительно на 0,65° С. Поэтому при полетах на больших высотах наблюдается весьма низкая температура (значительно меньше 0°), в то время как у земли стоит жаркая погода. Принимая нормальные температурные условия на уровне моря 15° С, для любой высоты до 11 км температуру можно подсчитать по следующей, весьма простой формуле:

$$t_H = 15 - 0,65 \frac{H}{100}.$$

Летом, в вечерние часы и при отсутствии ветра, который перемешивает слои воздуха, температура с поднятием до известной высоты не уменьшается, а увеличивается. Объясняется это тем, что нагретый за день воздух, имеющий малую плотность, поднимается вверх и заменяется у земли более холодным. Это явление носит название *инверсии*¹.

В прилагаемой ниже таблице дан один из случаев инверсии.

Высота в м	0	100	200	300	400	500	600	700	800
Температура . . .	15°	17,4°	17,9°	17,5°	17°	16°	16°	15,6°	15°

Из этой таблицы видно, что температура до высоты 200 м повышается, а затем падает, и на высоте 800 м становится такой же, как у земли.

¹ От латинского *inverso* — обращаю.

Инверсия, наблюдаемая в вечерние часы,—явление случайное, не носящее характера закономерности. Исследование высоких слоев атмосферы, произведенное с помощью шаров-зондов и другими способами, показывает, что до некоторой высоты, лежащей в наших широтах на уровне около 11 000 м, температура падает по закону, указанному выше. Начиная с высот порядка 11 000 м и несколько выше, температура держится на постоянном уровне, близком к -56°C , а на еще больших высотах наблюдается неуклонное повышение температуры. Эта инверсия носит характер постоянного явления, связанного с физическими особенностями высоких слоев атмосферы.

Слои воздуха, имеющие постоянную инверсию, носят название стратосферы.

10. Международная стандартная атмосфера

Так как барометрическое давление, температура, весовая и массовая плотности довольно значительно меняют свою величину в зависимости от высоты, широты и долготы места наблюдения, от времени года и от метеорологических условий, то данные различных проектов и результаты летных испытаний самолетов, производимых в разных атмосферных условиях, получаются также непостоянными, что затрудняет проведение всяких сравнений. Поэтому пришли к необходимости в основу вычислений принять вполне определенные атмосферные условия на уровне моря, называемые нормальными ($p = 760 \text{ мм}$, $t = 15^{\circ}\text{C}$, $\gamma = 1,225 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_0 = 0,125 \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}^4}$), к которым приводятся действительные атмосферные условия.

Таблица среднегодовых значений давления температуры, весовой и массовой плотности для различных высот, приведенных к нормальным условиям, называется *стандартной атмосферой*, принятой во всех государствах (см. таблицу на стр. 13).

Летные характеристики самолетов, полученные при испытаниях в самых различных атмосферных условиях, всегда приводятся к условиям стандартной атмосферы (нормальным условиям), что дает большие удобства при сравнении качеств самолетов. Если летные показатели самолета даны для действительных атмосферных условий, то при этом обычно отмечаются значения барометрического давления и температуры для высоты, на которой производился данный полет.

Влияние атмосферного фактора на скорость полета, скороподъемность, работу винтомоторной группы (ВМГ) и т. д. определяется главным образом величиной массовой плотности воздуха.

Летчикам при изучении летных показателей своего самолета, на основе теории и практических испытаний, весьма важно уметь переводить действительные атмосферные условия в стандартные, и наоборот. Для решения такой задачи нужно знать давление и температуру, при которых производился полет.

Пусть, например, в действительной обстановке на высоте 2000 м давление $p = 590$ мм и температура $t = 20^\circ\text{C}$; посмотрим, какие значения массовой плотности и высоты соответствуют этому по стандартной атмосфере.

Находим массовую плотность для данных условий:

$$\rho_H = 0,125 \frac{590 \cdot 288}{760 (273 + 20)} = 0,095 \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}^4}.$$

По стандартной атмосфере этому значению массовой плотности будет соответствовать высота около 2750 м.

Таким образом, высота 2750 м по стандартной атмосфере эквивалентна (равнозначна) высоте 2000 м в действительных условиях, и поэтому ее называют *эквивалентной высотой*.

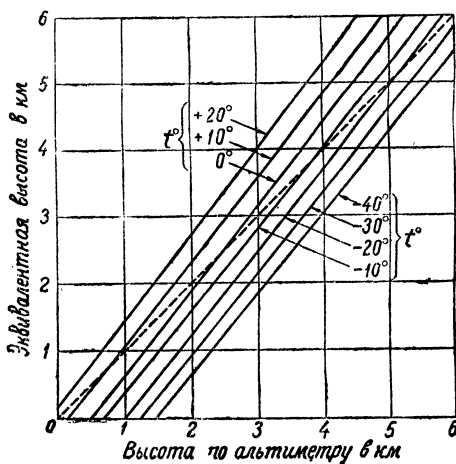


Рис. 5.

Эквивалентная высота может быть больше или меньше действительной. Например, зимой на высоте 2000 м при $p = 590$ мм и $t = -30^\circ\text{C}$ эквивалентная высота равна всего лишь 800 м. На рис. 5 дана диаграмма, по которой, зная высоту, показанную высотомером, и температуру окружающего воздуха, можно быстро найти эквивалентную высоту. Пунктирная линия на диаграмме соответствует стандартным условиям, при которых действительная и эквивалентная высоты равны друг другу. Например, в стандартных условиях показанию высотомера 3500 м соответствует такая же эквивалентная высота, но при температуре -20°C эквивалентная высота снижается до 3200 м, а при $+20^\circ\text{C}$ увеличивается до 4700 м. Уменьшение эквивалентной высоты по сравнению с действительной благоприятно для полета, а увеличение неблагоприятно.

Таблица международной стандартной атмосферы

Высота H , м	Давление p , мм	Темпера- тура, t° C	Весовая плотность γ кг/м ³	Массовая плотность $\rho \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}^4}$	Относи- тельная плотность $\frac{\rho_H}{\rho_0}$
0	760	15	1,225	0,125	1,000
500	716	11,8	1,168	0,119	0,953
1 000	674	8,5	1,112	0,113	0,907
1 500	634	5,3	1,058	0,108	0,864
2 000	596	2,0	1,007	0,103	0,822
2 500	560	— 1,3	0,957	0,098	0,781
3 000	526	— 4,5	0,909	0,093	0,742
3 500	493	— 7,8	0,863	0,088	0,705
4 000	462	— 11,0	0,819	0,084	0,669
4 500	433	— 14,3	0,777	0,079	0,634
5 000	405	— 17,5	0,736	0,075	0,601
5 500	376	— 20,8	0,693	0,071	0,569
6 000	354	— 24,0	0,660	0,067	0,538
6 500	330	— 27,3	0,624	0,064	0,509
7 000	308	— 30,5	0,590	0,060	0,481
7 500	287	— 33,8	0,557	0,057	0,454
8 000	267	— 37,0	0,525	0,054	0,429
8 500	248	— 40,3	0,495	0,051	0,404
9 000	230	— 43,5	0,466	0,048	0,380
9 500	214	— 46,8	0,439	0,045	0,358
10 000	198	— 50,0	0,413	0,042	0,337
11 000	169	— 56,5	0,364	0,037	0,297
12 000	145	— 56,5	0,310	0,032	0,253
13 000	124	— 56,5	0,265	0,027	0,216
14 000	106	— 56,5	0,226	0,023	0,185
15 000	90	— 56,5	0,193	0,020	0,158

11. Влияние высоты на полет. Потолок летчика

Влияние высоты, вследствие изменения температуры и давления, сильнее всего сказывается на полете самолета; в особенности это заметно при совершении полетов на больших высотах. Уменьшение давления и плотности воздуха, наблюдающееся на высоте, вообще неблагоприятно для полета, так как условия поддержания самолета значительно ухудшаются. Крыло самолета, работая в разреженной среде, требует для создания нужной для

полета подъемной силы больших скоростей. Мотор, не получая достаточного количества кислорода, необходимого для сгорания бензина, начинает уменьшать число оборотов и мощность.

Летчик на больших высотах сильно страдает от холода, и для защиты его требуется специальная теплая одежда, иногда с электрическим обогревом.

Легкие летчика, начиная с 5000 м, получают настолько мало кислорода, что начинается кислородное голодание организма с симптомами так называемой горной болезни.

Горная, или высотная, болезнь проявляется прежде всего общей слабостью, уменьшением мускульной силы, учащенным пульсом и дыханием, замедленной работой всей нервной системы, включая и головной мозг. Под влиянием ее на некоторой высоте летчик становится совершенно беспомощным, теряет сознание и возможность управления аппаратом, — эта высота называется потолком летчика. Обычно потолок летчика лежит на высоте 6000—7000 м. Только исключительно выносливые организмы имеют больший потолок.

Современная тактика применения боевых самолетов стремится к овладению все большими и большими высотами, превышающими естественный потолок летчика. Повышение потолка, необходимое для осуществления тактических заданий на больших высотах, достигается в настоящее время с помощью кислородных приборов, доставляющих летчику недостающий кислород.

Осуществление полета на высоте более 12000—14000 м требует специальных защитных одежд — скафандров или герметически закрытых кабин, предохраняющих летчика от уменьшения атмосферного давления.

12. Движение воздуха

Атмосферный воздух приходит в движение и образует ветер в том случае, если между двумя точками земной поверхности имеется разность барометрических давлений. Ветер всегда на-

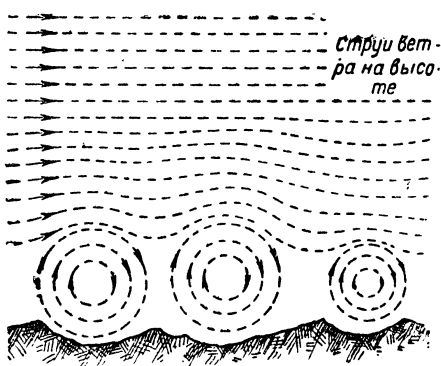


Рис. 6.

правлен от той точки, где давление больше, к той, где давление меньше. Чем больше разность давлений, тем сильнее ветер. Наименьшую скорость имеет ветер у земной поверхности. С увеличением высоты скорость ветра обычно возрастает, и даже тогда, когда у земли наблюдается полный штиль, на высоте ветер все-таки есть. На значительной высоте ветер можно рассматривать как ряд параллельных воздуш-