

**М.П. Соловьев**

# **Основы бомбометания**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 030  
ББК 92  
М11

М11 **М.П. Соловьев**  
Основы бомбометания / М.П. Соловьев – М.: Книга по Требованию, 2016. – 456 с.

**ISBN 978-5-458-29598-7**

Учебник для высших военных учебных заведений. Предназначен для слушателей старших курсов высших военных учебных заведений РККА и для инженеров, работающих в области авиации, а также в большей своей части и для начальствующего состава ВВС РККА. В книге излагаются основные сведения по всем вопросам, связанным с выполнением бомбометания. В главах I, II, III и IV помещены сведения из баллистики бомбы: рассмотрены прицельные схемы для горизонтально летящего самолета, а также способы наведения самолета на цель и способы определения момента сбрасывания бомбы. В главах V, VI и VII описаны способы определения исходных данных для бомбометания, разобраны ошибки бомбометания, даны способы обработки данных о рассеивании при бомбометании. В главе VIII изложены способы определения вероятностей поражения различных целей. В главах IX и X рассмотрены вопросы серийного и группового серийного бомбометания строем самолетов и вопросы определения рациональных элементов искусственного, «управляемого», рассеивания. В главе XI изложены основы выполнения бомбардировочного расчета. В главе XII приведены практические способы бомбометания и описаны основные прицельные приборы. В виде приложения дается специальная глава- «Краткие сведения из теории вероятностей». Кроме того, в приложениях помещен ряд необходимых таблиц и графиков. Главы I, II, III, IV, V, VI и XII написаны М. П. Соловьевым. Главы VII, VIII, IX, X, XI, а также «Краткие сведения из теории вероятностей» написаны А. И. Арбузовым. Основное содержание всей книги разработано авторами совместно.

**ISBN 978-5-458-29598-7**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2016

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2016

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](http://www.samizday.ru/reprint)



Время падения бомбы можно получить из уравнения (5), если вместо текущей координаты  $y$  подставить высоту  $H$ :

$$H = \frac{gT^2}{2},$$

откуда

$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (7)$$

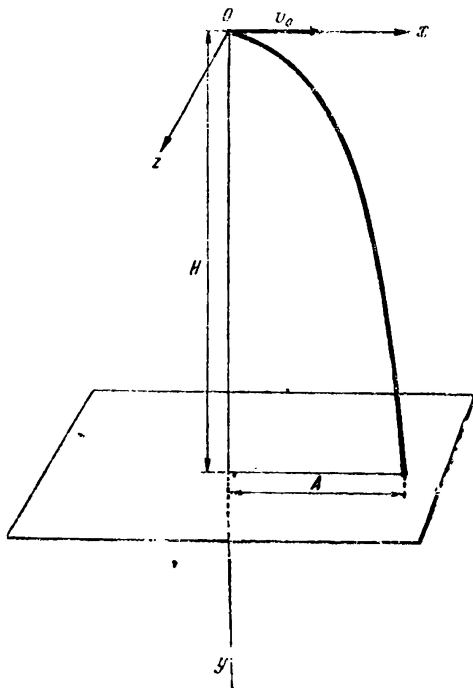


Рис. 2

Таблица времени падения бомб в пустоте приведена в приложении 1.

Относ бомбы можно получить из уравнения (4), если в него подставить время падения бомбы  $T$ :

$$A = v_0 T = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (8)$$

Горизонтальная скорость бомбы, как это следует из равенства (2), постоянна и равна начальной скорости  $v_0$ .

Если предположить, что бомба сброшена с самолета, который после сбрасывания продолжает перемещаться горизон-

тально со скоростью  $v_0$ , то самолет и бомба будут находиться на одной вертикальной прямой (рис. 3) до момента падения бомбы на землю. При этом никакого отставания бомбы от самолета по направлению оси  $x$  не будет.

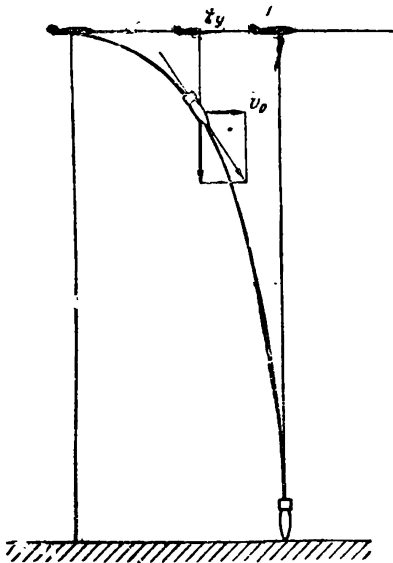


Рис. 3

Движение центра массы бомбы в воздухе отличается от движения в пустоте, так как на бомбу, помимо силы тяжести, действует сила сопротивления воздуха.

Прежде чем перейти к изучению движения центра массы в воздухе, рассмотрим силу сопротивления воздуха.

### 3. Сила сопротивления воздуха

Общее выражение для силы сопротивления воздуха

При падении бомба гонит перед собой частицы воздуха и, таким образом, создает впереди себя уплотнение воздуха. Воздух обтекает бомбу, вследствие чего

создается трение частиц воздуха о поверхность бомбы. Струйки воздуха, обтекающие бомбу, срываются в тыльной части бомбы и образуют завихрения. Все это вместе взятое создает сопротивление движению бомбы.

Примем, что сила сопротивления пропорциональна площади наибольшего поперечного сечения бомбы и скоростному напору:

$$R = kS \frac{\rho v^2}{2}, \quad (9)$$

где  $R$  — сила сопротивления воздуха;

$S$  — площадь наибольшего поперечного сечения бомбы;

$\rho$  — массовая плотность воздуха;

$v$  — скорость бомбы;

$k$  — безразмерный коэффициент лобового сопротивления бомбы.

Коэффициент  $k$ , в свою очередь, зависит от скорости бомбы. Вопрос изучения силы сопротивления воздуха сводится к определению зависимости коэффициента  $k$  от скорости бомбы. Коэффициент  $k$  называется *коэффициентом сопротивления бомбы*.

#### Коэффициент сопротивления

Коэффициент сопротивления определяется из опыта. Бомбу помещают в аэродинамическую трубу и на аэродинамических

весах определяют давление  $K$  потока воздуха на бомбу. Если известны площадь  $S$  наибольшего поперечного сечения бомбы, плотность воздуха  $\rho$  в трубе и его скорость  $V$ , то коэффициент  $k$  можно вычислить по формуле:

Зависимость  $k$  от  $v$  для бомб представлена на рис. 4.

$$k = \frac{R}{\frac{\rho S V^2}{2}}$$

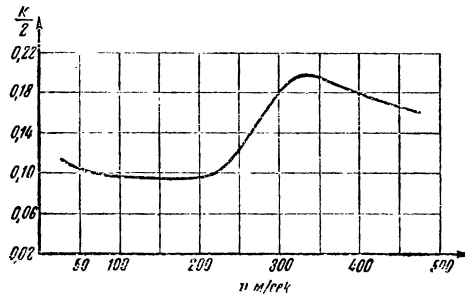


Рис. 4

Как видно из рисунка, коэффициент  $k$  при скоростях бомбы, меньших 220 м/сек, очень мало зависит от скорости  $v$  и почти постоянен. Так как скорости потока в аэродинамических трубах невелики, то обычно зависимость  $k$  от  $V$  исследуется при малых скоростях.

Зависимость коэффициента  $k$  от скорости  $V$  во всем ее диапазоне подробно изучена для артиллерийских снарядов. Характер этой зависимости приведен на рис. 5\*.

График составлен по данным русских, голландских, немецких и английских опытов. Из рис. 5 видно, что при малых скоростях снаряда коэффициент  $k$  почти постоянен и не зависит от скорости.

В той области, где скорость снаряда близка к скорости звука (340 м/сек), коэффициент  $k$  резко увеличивается, а при дальнейшем увеличении скорости снаряда — незначительно уменьшается. Резкое увеличение коэффициента  $k$ , а вместе с ним и сопротивления воздуха, при скорости снаряда, равной скорости звука, объясняется тем, что в этот момент зарождается головная ударная волна.

При определении коэффициента сопротивления ставятся подробные опыты для одного типа снарядов, и полученный коэффициент принимается за эталон для всех снарядов этого типа. Таким образом, коэффициент сопротивления снаряда  $k$  опреде-

\* Проф. Д. А. Вентцель, Внешняя баллистика, изд. Артиллерийской академии, 1934.

#### ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
7	4 сверху	вычислить по формуле:	вычислить по формуле: $k = \frac{R}{\frac{\rho S V^2}{2}}$

ляется по коэффициенту сопротивления  $k_{этр}$ , умноженному на некоторый поправочный коэффициент  $i$ , который принимается постоянным:

$$k = ik_{этр}. \quad (10)$$

Коэффициент  $i$  называется *коэффициентом формы*. Для определения коэффициента формы делаются контрольные стрельбы по рамам-мишеням при нескольких скоростях снаряда.

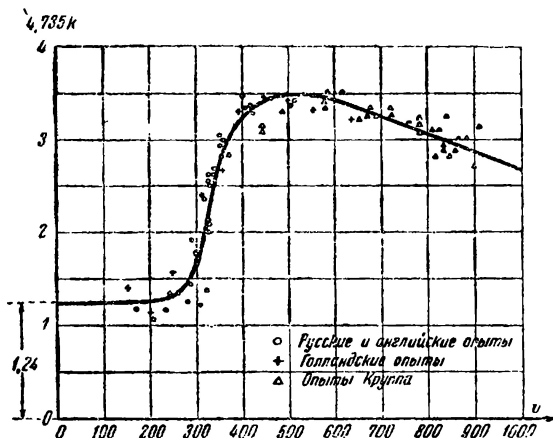


Рис. 5

### Ускорение силы сопротивления воздуха

В дифференциальные уравнения движения центра массы бомбы входит величина ускорения силы сопротивления воздуха

$$j = \frac{R}{m} = \frac{g}{q} R,$$

где  $q$  — вес бомбы.

Вычислим, чему равно ускорение силы сопротивления. Для этого в приведенное выражение введем  $R$  по формуле (9) и  $k$  — по формуле (10). Получим:

$$i = \frac{g}{q} ik_{этр} S \frac{v^2}{2}.$$

Обозначим

$$g_2 = \Pi = \Pi_0 \cdot H(H - y),$$

где  $\Pi_0$  — весовая плотность воздуха у земли, а функция  $H(H - y)$  есть отношение плотности воздуха на высоте  $(H - y)$  к плотности воздуха у земли.

Выразим площадь  $S$  через диаметр  $d$ :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Введя значения  $g$  и  $S$ , получим:

$$i = \frac{ik_{эг} \frac{\pi d^2}{4} \Pi_0 \cdot H(H-y) v^2}{2q}$$

Введем в числитель и знаменатель этого выражения величину нормальной плотности у земли  $\Pi_{0N} = 1,206 \text{ кг/м}^3$  и множитель  $10^3$ :

$$i = \frac{id^2}{q} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} 10^3 \frac{\Pi_{0N} \frac{\pi}{4} k_{эг} v^2}{2 \cdot 10^3} \cdot H(H-y).$$

Обозначим

$$\frac{id^2}{q} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} 10^3 = c \quad (11)$$

и

$$\frac{\Pi_{0N} \frac{\pi}{4} k_{эг} v^2}{2 \cdot 10^3} = 4,735 \cdot 10^{-1} k_{эг} v^2 = F_{эг}(v). \quad (12)$$

Тогда окончательно получим:

$$i = c \cdot H(H-y) \cdot F_{эг}(v). \quad (13)$$

### Закон сопротивления

Функция  $F_{эг}(v)$ , определяемая формулой (12), выражает зависимость ускорения силы сопротивления от скорости. Она называется *законом сопротивления*. Индекс „эг“ указывает, что вид этой функции подробно исследуется для снарядов, принимаемых в качестве эталона.

Если допустить, что  $k_{эг}$  не зависит от скорости, то, как показывает формула (12), функция  $F_{эг}(v)$  пропорциональна квадрату скорости. В этом случае справедлив *квадратичный закон сопротивления*.

В зависимости от тех результатов, которые получались при обработке опытных данных, различные исследователи принимали различные законы сопротивления воздуха (Сиаичи, Гарнье, Маиевский и другие). Для авиабомб часто берут закон Сиаичи, который выражается следующей эмпирической формулой:

$$F(v) = 0,2002 v - 48,05 + \sqrt{(0,1648 v - 47,95)^2 + 9,6 + \frac{0,0442 v (v - 300)}{371 \left(\frac{v}{200}\right)^{10}}}. \quad (14)$$

График  $F(v)$  Сиаччи приведен на рис. 6. Значения функции Сиаччи для малых скоростей бомб ненадежны.

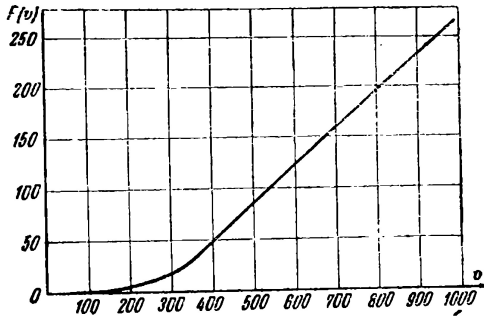


Рис. 6

Обычно для авиабомб принимается *составной закон сопротивления воздуха*:

1) *квадратичный* — для скоростей бомбы, меньших 218 м/сек:

$$F(v) = 4,735 \cdot 10^{-4} k_{\text{эТ}} v^2,$$

или, полагая  $k_{\text{эТ}} = 0,2619$  (см. рис. 5),

$$F(v) = 1,24 \cdot 10^{-4} v^2; \quad (15)$$

2) *закон Сиаччи* — для скоростей бомбы, больших 218 м/сек.

### Балистический коэффициент авиабомб

Коэффициент  $c$ , определяемый формулой (11), называется *балистическим коэффициентом бомбы*. Введение балистического коэффициента в выражение (13) для ускорения силы сопротивления воздуха объясняется исключительно удобствами вычислительной работы при расчете траекторий авиабомб. Балистический коэффициент характеризует влияние качеств бомбы на ее траекторию.

Так как траектории бомб рассчитываются для стандартной атмосферы, то

$$\Pi_0 = \Pi_{0N}.$$

Поэтому балистический коэффициент равен:

$$c = \frac{id^3}{q} 10^3 = \frac{k}{k_{\text{эТ}}} \cdot \frac{d^3}{q} 10^3. \quad (11')$$

Балистический коэффициент зависит от следующих величин:

- а) коэффициента формы  $i$ ;
- б) диаметра наибольшего поперечного сечения бомбы  $d$ ;
- в) веса бомбы  $q$ .

В качестве эталона для авиабомб коэффициент  $k_{эт}$  будем брать по данным опытов, приведенных на рис. 5:

$$k_{эт} = \frac{1,24}{4,735} = 0,2619.$$

Для  $k_{эт} = 0,2619$  балистический коэффициент можно написать через  $k_{ср}$ , взятый из продувок:

$$c = \frac{k_{ср}}{0,2619} \cdot \frac{d^3}{q} 10^3 = 3816 \frac{d^2}{q} k_{ср}. \quad (11'')$$

По этой формуле и определяется балистический коэффициент  $c$  при продувке бомбы в аэродинамической трубе. Сначала продувкой определяется коэффициент сопротивления  $k$ , а затем по  $k_{ср}$  находится балистический коэффициент  $c$ . Принимается, что полученный таким образом балистический коэффициент постоянен и от скорости бомбы не зависит.

У большинства современных авиабомб балистический коэффициент колеблется в пределах,

$$0,07 < c < 2,20.$$

Очевидно, что чем больше балистический коэффициент, тем больше ускорение силы сопротивления воздуха.

### Характеристическое время бомбы

На практике в качестве характеристики бомб вместо балистического коэффициента берется *характеристическое время*  $\Theta$ .

Характеристическим временем бомбы называется время ее падения с абсолютной высоты 2000 м при скорости самолета 40 м/сек в условиях стандартной атмосферы.

Характеристическое время определяется в результате расчета траектории бомбы для указанных выше условий при заданном балистическом коэффициенте  $c$ . Обычно оно вычисляется для следующих условий:

- а) абсолютная высота — 2000 м;
- б) скорость самолета — 40 м/сек;
- в) распределение плотности с высотой — по закону Д. А. Вентцеля;

г) закон сопротивления — квадратичный:  $F(v) = 1,24 \cdot 10^{-4} v^2$ .

На основании расчетов траекторий, выполненных для этих

условий, установлена следующая зависимость характеристического времени  $\Theta$  от баллистического коэффициента  $c$ :

$c$	$\Theta$	$c$	$\Theta$
0	20,19	1,902	21,75
0,0705	20,25	2,202	22,00
0,379	20,50	2,501	22,25
0,684	20,75	2,800	22,50
0,998	21,00	3,098	22,75
1,300	21,25	3,396	23,00
1,601	21,50		

По этим данным построен график (рис. 7), из которого видно, что зависимость  $\Theta$  от  $c$  близка к линейной.

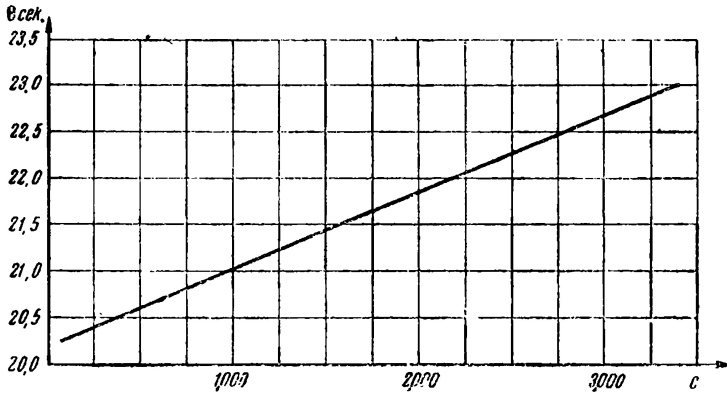


Рис. 7

Для бомб, баллистический коэффициент которых меньше единицы, зависимость  $\Theta$  от  $c$  выражается с достаточной для практики точностью формулой вида:

$$\Theta = 20,19 + 0,809 c. \quad (16)$$

По этой формуле можно, зная баллистический коэффициент, вычислить характеристическое время, не прибегая к расчету траектории.

Характеристическое время можно получить непосредственно из опыта при сбрасывании бомб с высоты 2000 м. Необходимо, однако, иметь в виду, что время падения бомбы, полученное в этом случае, не является характеристическим временем в том определении его, которое дано выше. Поэтому на условия опыта следует вводить поправку.

Характеристическое время применяемых в настоящее время бомб колеблется в пределах

$$20,25 < \Theta < 22,00 \text{ сек.}$$

Чем больше характеристическое время бомбы, тем больше ускорение силы сопротивления воздуха. При падении бомб с высоты 2000 м в пустоте время падения для всех бомб одно и то же и равно 20,193 сек. К этому времени, как к пределу, стремится характеристическое время лучших в баллистическом отношении бомб.

### Предельная скорость авиабомб

В США в качестве характеристики бомбы принимают *предельную скорость бомбы*.

Предельной скоростью бомбы называется такая скорость, при которой сила сопротивления равна по величине силе тяжести и противоположна ей по направлению (сила сопротивления и сила тяжести взаимно уравновешиваются).

При движении бомбы в среде постоянной плотности действительная скорость стремится к предельной скорости, оставаясь все время меньше ее.

Предельная скорость  $v_{пр}$ , принимаемая в США в качестве характеристики бомбы, определяется из условия:

$$mg = mc \cdot F(v_{пр}). \quad (17)$$

Функция  $F(v)$  есть закон сопротивления, принятый в США.

Ниже приводятся значения  $v_{пр}$  в зависимости от величины баллистического коэффициента  $c$ , вычисленные для закона Сиаччи.

$c$	$v_{пр} \text{ (м/сек)}$	$c$	$v_{пр} \text{ (м/сек)}$
0,0705	644	1,902	203,8
0,379	330	2,202	189,6
0,684	296	2,501	177,7
0,998	271	2,800	168,1
1,300	244	3,098	159,7
1,601	222	3,396	152,6

По этим данным построена кривая предельной скорости. На рис. 8 приведена также вторая кривая, вычисленная для квадратного закона сопротивления воздуха.

Ускорение силы сопротивления воздуха тем больше, чем меньше предельная скорость.

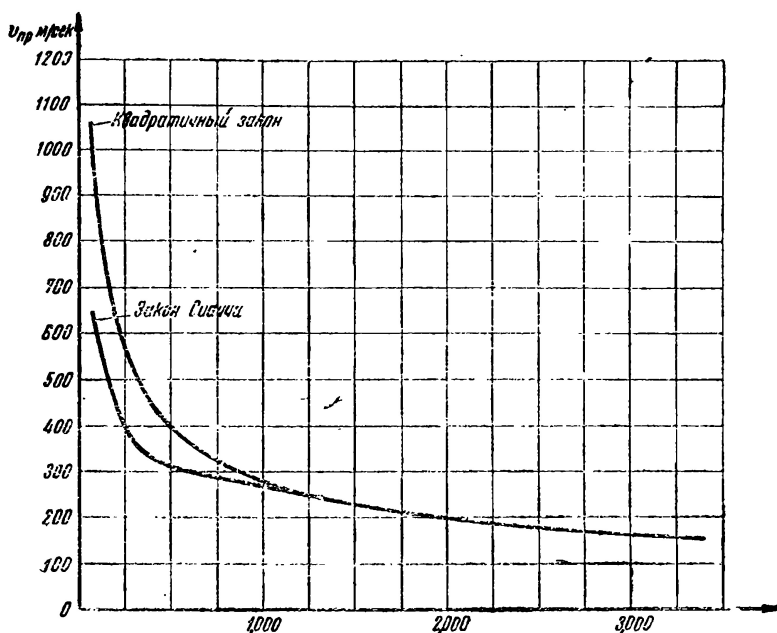


Рис. 8

#### 4. Движение центра массы бомбы в спокойном воздухе

##### Общий характер движения

На бомбу, падающую в воздухе, действуют две силы: сила сопротивления воздуха и сила тяжести.

Вследствие действия силы сопротивления все элементы траектории изменяются по сравнению с элементами траектории в пустоте. В частности, относ бомбы уменьшается и время падения бомбы увеличивается:

$$A = A_0 - \delta A; \quad -$$

$$T = T_0 + \delta T;$$

здесь индексом „нуль“ обозначены величины, отнесенные к случаю падения бомбы в пустоте.

Горизонтальная составляющая скорости центра массы бомбы, вследствие действия силы сопротивления воздуха, уменьшается. Если предположить, что самолет продолжает двигаться с той же скоростью, которую он имел в момент сбрасывания бомбы, то бомба будет отставать от самолета (рис. 9).

Линейное отставание бомбы в любой момент времени равно:

$$\Delta = v_0 t - x.$$