А. Д. Блинов

Курс артиллерии

Книга 3. Внешняя баллистика. Метеорология в артиллерии

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 030
ББК 92
А11

А. Д. Блинов
А11 Курс артиллерии: Книга 3. Внешняя баллистика. Метеорология в артиллерии / А. Д. Блинов – М.: Книга по Требованию, 2019. – 292 с.

ISBN 978-5-458-30510-5

Книга состоит из трех разделов. Разделы написаны:I. Внешняя балистика — генерал-майором инженерно-артиллерийской службы Блиновым А. Д.II. Метеорология в артиллерии — полковником Михайловским А. В.III. Полная подготовка данных для стрельбы: §63—70, 79—83 и § 72 — полковником Михайловским А. В.; § 71 и 73—77 — полковником Никифоровым Н. Н. и §78 — генерал-майором артиллерии Малофеевым А. И.Книга предназначена в качестве учебника для курсантов артиллерийских училищ и может служить пособием для офицеров артиллерии Советской Армии при их самостоятельной работе.

ISBN 978-5-458-30510-5

2) расчетной траектории, рассчитанной теоретически.

Б. Элементы у точки вылета:

1. Точкой вылета O называется положение центра тяжести снаряда в момент прохождения дна снаряда через дульный срез ствола. Она находится на незначительном расстоянии впереди дульного среза, но для упрощения рассуждений можно принимать центр дульного среза за точку вылета, так как по сравнению с дальностью стрельбы расстояние от дульного среза до точки вылета очень мало.

2. Начальной скоростью v_0 называется скорость поступательного движения снаряда v в точке вылета; она измеряется в *м/сек*. Учитывая последействие пороховых газов, величину v_0 берут несколько больше, чем она бывает у дульного среза.

3. Горизонтом орудия называется горизонтальная плоскость, проходящая через точку вылета.

4. Линией выстрела называется направление оси канала ствола наведенного орудия.

5. Углом возвышения φ называется угол, составленный линией выстрела с горизонтом орудия.

6. Линией бросания называется продолжение оси канала ствола в момент вылета снаряда. Она является касательной к траектории в точке вылета.

7. Углом бросания θ_0 называется угол, составленный линией бросания с горизонтом орудия.

8. Углом вылета γ называется угол, образующийся (вследствие отдачи, вибрации ствола и пр.) в момент вылета снаряда из ствола между линией бросания и линией выстрела. Очевидно, что $\gamma = \theta_0 - \varphi$, т. е. алгебраическая сумма углов возвышения и вылета равна углу бросания:

$$\varphi + \gamma = \theta_0.$$

9. Плоскостью бросания называется вертикальная плоскость, проходящая через линию бросания.

В. Элементы любой точки траектории:

1. Временем t полета называется промежуток времени движения снаряда от момента вылета до момента достижения рассматриваемой точки траектории.

2. Углом наклона касательной θ называется угол, составленный касательной к траектории в рассматриваемой точке с горизонтом орудия. Всегда берется острый угол, т. е. менее 90°.

3. Горизонтальной дальностью x называется абсцисса точки траектории или расстояние по горизонту орудия в плоскости бросания от точки вылета до рассматриваемой точки траектории A.

4. Ординатой y точки траектории называется превышение рассматриваемой точки A над горизонтом орудия.

5. Вершиной траектории S называется точка траектории, имеющая наибольшую ординату.

6. Высотой траектории y_s называется ордината вершины траектории.

7. Деривацией z называется величина бокового отклонения точки траектории от плоскости бросания, происшедшего от вращательного движения продолговатого снаряда около его оси при полете в воздухе.

Г. Элементы у точки падения:

1. Точкой падения C называется точка пересечения траектории с горизонтом орудия.

2. Углом падения θ_c называется угол наклона касательной в точке падения.

3. Окончательной скоростью v_c называется скорость снаряда в точке падения.

4. Полной горизонтальной дальностью x_c называется горизонтальная дальность точки падения, или абсцисса точки падения.

5. Полной деривацией z_c называется деривация точки падения.

6. Полным временем полета t_c называется время полета до точки падения.

Д. Атмосфера:

1. Плотность воздуха (П) измеряют весом 1 *м*³ в *кг*.

Плотность воздуха на поверхности земли обозначают через Π_0; плотность воздуха при нормальных атмосферных условиях — через Π_N; плотность воздуха на поверхности земли при нормальных атмосферных условиях — через Π_{0N}.

Нормальные атмосферные условия: температура воздуха $+15°$, давление 750 *мм*, относительная влажность 50% и безветрие.

2. Сопротивление воздуха (R) измеряют в *кг*.

Е. Снаряд:

1. Калибр снаряда обозначают через d.

2. Вес снаряда обозначают через q.

3. Коэфициентом i формы снаряда называют численный множитель, характеризующий изменение величины силы сопротивления воздуха в зависимости от формы снаряда.

4. Поперечной нагрузкой $\frac{q}{\pi d^2/4}$ называют отношение веса снаряда в *кг* к площади наибольшего поперечного сечения снаряда в *см*².

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДНОЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

(Параболическая теория)

3. УРАВНЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ

При полете снаряда в безвоздушном пространстве на снаряд действует только одна внешняя сила — сила тяжести снаряда (вес, сила притяжения земли).

Снаряд, получив при вылете из ствола орудия некоторую начальную скорость, стремится по инерции сохранять величину и направление этой скорости. Сила тяжести сообщает снаряду ускорение g, направленное по вертикали вниз. Величину ускорения g для условий стрельбы можно считать постоянной ($g = 9{,}81$ *м/сек*^{2}).

Для вывода уравнения траектории возьмем прямоугольные оси координат (рис. 2). За начало координат

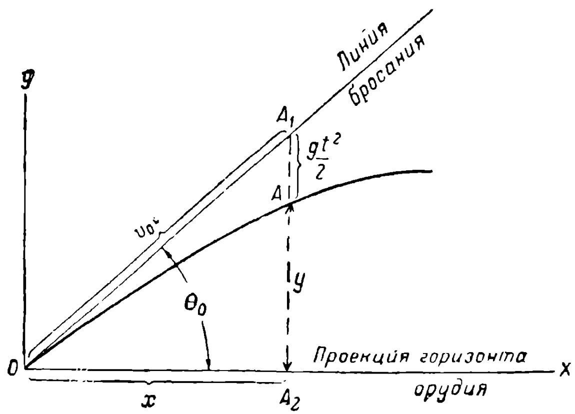

Рис. **2. Движение снаряда под действием силы тяжести в безвоздушном пространстве** примем точку вылета O, за ось X — горизонтальную линию в плоскости бросания (положительное направление в сторону стрельбы), за ось Y — вертикальную линию (положительное направление вверх).

Положим, что выстрел произведен при угле бросания θ_0 и что снаряд получил начальную скорость v_0 *м/сек*.

Пусть время полета снаряда до произвольно взятой точки траектории A равно t секунд. Если бы не было силы тяжести, то снаряд двигался бы только по инерции равномерно и прямолинейно и за t секунд прошел бы по линии бросания путь $OA_1 = v_0 t$. В действительности за t секунд снаряд опустится вниз под действием силы тяжести на величину $A_1A = \frac{gt^2}{2}$ и будет через t секунд не в точке A_1 а в точке A. Координаты точки A (x и y) можно определить из треугольника OA_1A_2:

$$x = OA_2 = OA_1 \cdot \cos\theta_0,$$

или

$$x = v_0 t \cdot \cos\theta_0;$$

$$y = AA_2 = OA_1 \cdot \sin\theta_0 - A_1A,$$

или

$$y = v_0 t \cdot \sin\theta_0 - \frac{gt^2}{2}.$$

Для каждой новой точки траектории будут иные x, y и t. Два полученных уравнения:

$$x = v_0 t \cdot \cos\theta_0;$$

$$y = v_0 t \cdot \sin\theta_0 - \frac{gt^2}{2}$$

выражают зависимость между тремя переменными x, y и t. Исключая t, получаем одно уравнение с переменными x и y.

Из 1-го уравнения имеем:

$$t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos\theta_0}.$$

Подставляя во 2-е уравнение значение t, получаем:

$$y = v_0 \frac{x}{v_0 \cdot \cos\theta_0} \sin\theta_0 - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2\theta_0},$$

или, преобразовывая,

$$y = x \cdot \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2\theta_0}.$$

Это уравнение выражает зависимость между x и y для любой точки траектории и, следовательно, является уравнением траектории.

Параметрами или постоянными величинами в уравнении служат v_0 и θ_0. Если эти параметры заданы, то, принимая произвольные значения для x, можно вычислять соответствующие значения для y и, таким образом, определять положение различных точек траектории. Нанся точки на масштабный чертеж и соединяя их, получим фигуру траектории.

Пример. $v_0 = 600$ *м/сек* и $\theta_0 = 45°$.

Для упрощения вычислений будем считать, что $g = 10$ *м/сек*^{2}; $\cos^2 45° = 0{,}5$. Тогда для значений x через 3 000 *м* получаем соответствующие значения y в метрах.

x	0	3 000	6 000	9 000	12 000	15 000	18 000
y	0	2 750	5 000	6 750	8 000	8 750	9 000

x	21 000	24 000	27 000	30 000	33 000	36 000	39 000
y	8 750	8 000	6 750	5 000	2 750	0	Отрицательные значения

По этим значениям x и y построена траектория (рис. 3).

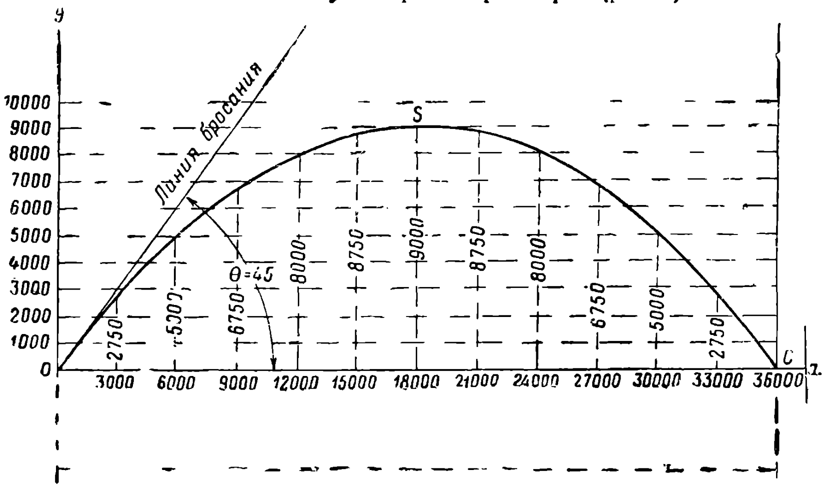

Рис. 3. Параболическая траектория

4. ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ

О виде кривой можно судить по рис. 3, но он выполнен для частного случая, когда $\theta_0 = 45°$, $v_0 = 600$ *м/сек* и число точек ограничено.

Рассматривая уравнение траектории, мы видим, что оно представляет собой уравнение кривой 2-го порядка, в котором одна переменная, а именно, ордината y, является алгебраической функцией абсциссы.

Общий вид уравнения кривой 2-го порядка:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0.$$

Следовательно, в выведенном уравнении траектории

$$A = \frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0};\ B = 0;\ C = 0;\ D = -\operatorname{tg}\theta_0;\ E = 1;\ F = 0.$$

Дискриминант (определитель) уравнения $B^2 - AC$ равен 0. Из аналитической геометрии известно, что если дискриминант равен 0, то уравнение является уравнением параболы и, следовательно, траектория снаряда в безвоздушном пространстве является параболой, т. е. симметричной кривой. Определим положение оси симметрии траектории относительно координатных осей.

Для удобства математических выкладок в уравнении траектории обозначим коэфициенты: $\operatorname{tg}\theta_0$ через a и $\frac{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0}{g}$ через b; тогда уравнение будет иметь вид:

$$y = ax - \frac{x^2}{b}.$$

Найдем точки пересечения траектории с осью X. Для этого положим y равным 0; тогда

$$ax - \frac{x^2}{b} = 0;\ abx - x^2 = 0;\ x\,(ab - x) = 0,$$

откуда

$$x_1 = 0;\ x_2 = ab,$$

где (рис. 4) x_1 отвечает точке вылета O и x_2 — точке падения C.

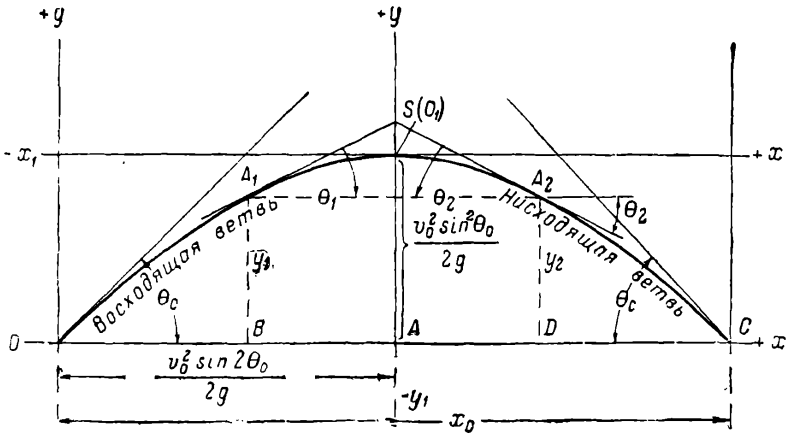

Рис. 4. **Свойства параболической траектории**

Чтобы определить положение оси симметрии, решим уравнение траектории относительно x:

$$y = ax - \frac{x^2}{b};$$

$$by = abx - x^2;$$

$$x^2 - abx + by = 0;$$

$$x = \frac{ab}{2} \pm \sqrt{a^2b^2 - 4\,by}.$$

Так как перед корнем стоит двойной знак, т. е. одному значению y соответствуют два значения x, то можно видеть, что осью симметрии траектории является прямая, уравнение которой

$$x = \frac{ab}{2},$$

ибо каждому значению y соответствуют два значения x, отличающихся от $\frac{ab}{2}$ на одну и ту же величину $\left(\sqrt{a^2b^2-4by}\right)$.

Прямая, выраженная уравнением $x = \frac{ab}{2}$, параллельна оси y, следовательно, ось симметрии параллельна оси y.

При $y = \frac{a^2b}{4}$ подкоренное выражение обращается в 0; следовательно, точка, координаты которой

$$x = \frac{ab}{2} \text{ и } y = \frac{a^2b}{4},$$

является точкой пересечения оси симметрии с траекторией.

При $y > \frac{a^2b}{4}$ подкоренное выражение становится отрицательным, т. е. кривая не имеет точек, лежащих выше прямой $y = \frac{a^2b}{4}$.

Итак, траектория снаряда является параболой, проходящей через начало координат с вершиной в точке:

$$x_s = \frac{ab}{2} \text{ и } y_s = \frac{a^2b}{4}.$$

Изложенное выше исследование достаточно поясняет характер кривой, но так как обыкновенно принято уравнение параболы выражать в виде:

$$y^2 = 2px \text{ или } x^2 = -2py,$$

то приведем уравнение траектории к такому виду. Для этого перенесем начало координат в вершину траектории, в точку $S(O_1)$ (рис. 4), координаты которой x_s и y_s Из уравнения траектории в § 5 и 8 выведены формулы, которые здесь возьмем готовыми.

Из § 5:

$$x_s = \frac{x_c}{2} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g}$$

$\left(x_s = \frac{x_c}{2}\right.$ вследствие симметричности параболы$\left.\right)$.

Из § 8:

$$y_s = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g}.$$

Новые координаты будут выражаться в старых таким образом:

$$x_1 = x - \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g}$$

и

$$y_1 = y - \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g},$$

а следовательно, старые координаты в новых будут:

$$x = x_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g}$$

и

$$y = y_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g}.$$

Подставив новые значения для x и y в уравнение траектории, получаем:

$$y_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g} = \left(x_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g}\right) \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0} \left(x_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g}\right)^2$$

или

$$y_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g} = x_1 \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta_0} + \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g} \cdot \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta_0} - \frac{g x_1^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0} -$$

$$- \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} \cdot \frac{2v_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{2g} \cdot x_1 - \frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0} \cdot \frac{v_0^4 \cdot \sin^2 2\theta_0}{4g^2}.$$

Преобразовывая, получаем:

$$y_1 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g} = x_1 \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta_0} + \frac{v_0^2 \cdot 2 \sin \theta_0 \cdot \cos \theta_0 \cdot \sin \theta_0}{2g \cdot \cos \theta_0} - \frac{g x_1^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} -$$

$$- \frac{g \cdot 2v_0^2 \cdot 2 \sin \theta_0 \cdot \cos \theta_0}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0 \cdot 2g} x_1 - \frac{g v_0^4 \cdot 4 \sin^2 \theta_0 \cdot \cos^2 \theta_0}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0 \cdot 4g^2}$$

или, сокращая,

$$y_1 = \frac{-g x_1^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0},$$

откуда

$$x_1^2 = -\frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g}y_1.$$

Обозначая постоянную положительную величину $\frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g}$ через $2p$, получаем:

$$x_1^2 = -2py_1.$$

На рис. 4 показана траектория относительно старых и новых осей координат.

Уравнение траектории в безвоздушном пространстве имеет вид: при начале координат в точке вылета O

$$y = x\cdot\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0};$$

при начале координат в вершине траектории

$$x^2 = -2py,$$

где

$$2p = \frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g}.$$

Удобнее пользоваться первым видом уравнения, так как в этом случае и абсциссы и ординаты положительны.

Из свойства симметричности параболы (рис. 4) можно сделать следующие заключения о свойствах траектории в безвоздушном пространстве:

1. Ветвь траектории от точки вылета до вершины, называемая *восходящей*, равна и симметрична ветви от вершины до точки падения, называемой *нисходящей*.

2. У точек траектории A_1 и A_2, равноотстоящих от вершины ($AB = AD$), равны ординаты и углы наклона ($y_1 = y_2$ и $\theta_1 = \theta_2$).

3. Горизонтальная дальность до вершины OA равна половине полной горизонтальной дальности OC.

4. Угол бросания равен углу падения ($\theta_0 = \theta_c$).

5. ПОЛНАЯ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ДАЛЬНОСТЬ

Полная горизонтальная дальность есть абсцисса точки падения x_c. На рис. 3 и 4 $x_c = OC$.

При исследовании уравнения траектории было определено значение абсциссы точки падения:

$$x_c = 2x_s = 2\frac{ab}{2} = ab.$$

Подставляя вместо a и b соответственно $\operatorname{tg}\theta_0$ и $\frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g}$ и обозначая абсциссу точки падения через x_c, имеем

$$x_c = \operatorname{tg}\theta_0\cdot\frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g};$$

откуда

$$x_c = \frac{\sin\theta_0}{\cos\theta_0}\cdot\frac{2v_0^2\cdot\cos^2\theta_0}{g} = v_0^2\cdot\frac{2\sin\theta_0\cdot\cos\theta_0}{g} = \frac{v_0^2\cdot\sin 2\theta_0}{g}.$$

Из выведенной формулы

$$x_c = \frac{v_0^2\cdot\sin 2\theta_0}{g}$$

видно, что в безвоздушном пространстве величина полной горизонтальной дальности зависит только от начальной скорости снаряда и угла бросания.

Полная горизонтальная дальность увеличивается пропорционально квадрату увеличения начальной скорости. С увеличением угла бросания дальность увеличивается только до наибольшего значения $\sin 2\theta_0$, которое получается, как известно, при угле, равном 90°. Следовательно, полная горизонтальная дальность в безвоздушном пространстве будет наибольшей, если $2\theta_0 = 90°$, или $\theta_0 = 45°$.

Пример 1. $v_0 = 800$ *м/сек*; $\theta_0 = 15°$; $g \approx 10$ *м/сек²*.
Для безвоздушного пространства

$$x_c = \frac{800^2\cdot\sin 2\cdot 15°}{g} = \frac{640000\cdot 0{,}5}{10} = 32000 = 32 \text{ км}.$$

Пример 2. $v_0 = 800$ *м*; $\theta_0 = 45°$; $g \approx 10$ *м/сек²*.

$$x_c = \frac{800^2\cdot\sin 2\cdot 45°}{g} = \frac{640000}{10} = 64\,000 \text{ м} = 64 \text{ км}.$$

Угол $\theta_0 = 45°$ называется углом наибольшей дальности для безвоздушного пространства. Если стрелять с одинаковыми начальными скоростями при двух разных углах бросания, равноудаленных от угла наибольшей дальности, то полные горизонтальные дальности будут получаться одинаковые.

Пусть: 1) $\theta_0 = 45° - \alpha$ и 2) $\theta_0' = 45° + \alpha$.

В первом случае

$$x_c = \frac{v_0^2\cdot\sin 2(45° - \alpha)}{g} = \frac{v_0^2\cdot\sin(90° - 2\alpha)}{g};$$

во втором случае

$$x_c' = \frac{v_0^2\cdot\sin 2(45° + \alpha)}{g} = \frac{v_0^2\cdot\sin(90° + 2\alpha)}{g}.$$

Но

$$\sin(90° - 2\alpha) = \sin(90° + 2\alpha).$$

Следовательно,

$$x_c = x_c' \text{ (рис. 5)}.$$