

Расчёты внешней баллистики в исследованиях эффективности стрельбы

09, сентябрь 2015

Степанов А. А.^{1,*}, Лебединец А. Н.¹

УДК: 531.552

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

* staffbay@mail.ru

Введение

Расчётами внешней баллистики с учетом сопротивления воздуха ученые занимаются уже около ста лет. Рывок в развитии внешней баллистики в начале XX века был обусловлен одновременным прогрессом ствольного оружия, вычислительной математики, аэродинамики и физики обтекания тел. Одновременно военные выдвигали требования по повышению меткости стрельбы и более прогнозируемому расходу боеприпасов при воздействии на цель, для выполнения которых используются математические модели внешней баллистики снаряда.

Математическая модель внешней баллистики, в которой снаряд представлен в виде материальной точки, используется достаточно давно [1, 2, 3, 4]. Полигонные исследования показали, что переходить к более сложным моделям, в которых снаряд представлен в виде твердого тела, нецелесообразно. В модели, в которой снаряд представлен в виде материальной точки, для учета движения снаряда вокруг центра масс используется параметр формы для разных дальностей стрельбы.

Модель внешней баллистики снаряда используется в двух видах расчетов: во-первых, расчет траекторий при известном угле бросания; во-вторых, расчет таблиц стрельбы при известных дальностях. Расчет таблиц стрельбы более сложный и более востребованный в практике вид расчетов.

1. Расчёты таблиц стрельбы

Таблицы стрельбы – сборники параметров, характеризующих стрельбу из определенного образца оружия, содержащие данные о прицеливании, траектории и результативности стрельбы [5]. Таблицы стрельбы используются для расчета установок прицела полевой артиллерии, проектировании прицельных приспособлений стрелкового оружия, расчета поправок и прогнозирования результативности стрельбы.

Наиболее важной частью таблицы стрельбы с точки зрения внешней баллистики является основная таблица, содержащая данные об элементах траектории и о параметрах полета снаряда к цели для разных дальностей (рис. 1).

Таблица 18

Снаряд _____
 Заряд _____
 Начальная скорость _____
 Изменение установки взрывателя ΔN_{cp} _____

Шкала прицела _____

Дальность Д	Установка прицела	Высота траектории Y	Поправки													Узкая вилка (4B _д) В	Угол прицеливания α	Угол падения θ _с	Окончательная скорость v _с	Время полета t _с	Средние отклонения			Дальность Д
			По направлению		По дальности																по дальности B _д	по высоте B _в	боковые B _б	
			На деривацию Z	На боковой ветер скоростью 10 м/с ΔZ _в	На изменение																			
					Для дымовых снарядов ΔX _д	На колышек взрывателей ΔX _к	На продольный ветер скоростью 10 м/с ΔX _в	барометрического давления на 10 мм рт. ст. ΔX _п	температуры воздуха на 10°С ΔX _т	начальной скорости на 1% ΔX _{в.т}	температуры заряда на 10°С ΔX _{тз}	массы снаряда q на один знак ΔX _q	Изменение дальности при изменении угла прицеливания на 1 тыс. ΔX _{тыс}	м	тыс.						град × мин	град	м/с	
5000	100	97	167	1	8	-26	+47	72	26	70	63	63	-3	30	4	5,49	9,5	315	11	28	4,7	1,6	5000	

Рис. 1. Содержание основной таблицы стрельбы для артиллерийского орудия

Таблицы рассчитывают для нормальных метеорологических и баллистических условий стрельбы. При этом кривизна Земли и ее вращение не учитываются, ускорение силы тяжести принимается постоянным. Нормальные баллистические условия предполагают также, что начальная скорость снаряда равна табличному значению, температура воздуха у земли и температура заряда постоянны и равны +15 °С.

В таблицах стрельбы стрелкового оружия характеристики рассеивания и поправки исключены из основной таблицы и приводятся отдельными таблицами. А в основной таблице приводится важнейшая характеристика – угол вылета, получаемая путем отстрела очередью характерной длины.

В процессе разработки оружия и патронов таблицы стрельбы получают экспериментально-аналитическим путем. Более старые таблицы стрельбы содержат большую долю экспериментально полученных данных, что не гарантирует большей точности. В ходе решения исследовательских и проектных задач таблицы стрельбы получают аналитическим путем.

Исходными данными для расчетов таблиц стрельбы являются: калибр оружия d ; начальная скорость пули V_0 ; масса пули q ; параметр формы i или c ; дальность стрельбы X ; шаг таблиц по дальности ΔX .

Результатами расчетов для каждой дальности являются: угол бросания θ_0 ; угол падения θ_c ; полетное время T ; высота траектории (над горизонтом оружия) Y_{max} ; окончательная скорость V_c при условии, что высота траектории в точке падения Y_c равна нулю.

Однако и в такой упрощенной постановке правильного решения задачи добиться удается редко. Причин этому несколько.

1. Снаряды являются неуправляемыми, а значит требования к точности рассчитанных параметров полета высокие. Погрешности ничем не исправляются.

2. Проверить расчеты можно только стрельбой. Проведение исследовательских стрельб на дальностях около километра требует колоссальных трудозатрат даже для достаточно простых стрельб стрелковым оружием. Точности можно добиться лишь при согласованной концентрации усилий геодезистов, метрологов, испытателей, наличии аттестованного оборудования, избытка патронов и оружия со стабильными свойствами, избытка времени для повторных стрельб. В 40 – 70 гг. XX столетия в нашей стране отстрелом таблиц стрельбы занимались военные полигоны. Параллельно разрабатывались и дорабатывались методики отстрела таблиц стрельбы. Поскольку полигонные стрельбы в исследовательских целях давно уже стали невозможны, точность численных расчетов целесообразно определяется сравнением результатов с таблицами стрельбы стрелкового оружия и малокалиберных пушек калибра 5,45 – 45 мм. [5, 6].

3. В принятой физической модели внешней баллистики одним из исходных данных является параметр формы, который неизвестен до проведения расчетов и может быть определен только стрельбой.

4. Как уже отмечалось, требования к точности баллистических расчетов очень высоки. Столь же высокие требования предъявляются и точности исходных данных и условиям проведения стрельб. Чтобы результаты расчетов и стрельбы соответствовали друг другу необходимо исходные данные принимать в совокупности для тех патронов и оружия, которыми производится отстрел балл. коэффициента. Баллистические расчеты не допускают обобщений и заимствований в исходных данных. Для получения соответствия результатов расчетов существующим таблицам стрельбы необходимо брать табличную начальную скорость, табличный баллистический коэффициент, табличную массу пули.

5. Фактором, препятствующим получению правильных результатов, является большое количество физических величин и многократно большее количество их значений на разных дальностях (при расчетах на 1000 – 1500 м). Каждое значение с высокой точностью (1 – 2%) должно соответствовать экспериментальным данным. Малейшее несоответствие в наборе исходных данных приводит к ошибкам.

6. Следует отметить, что ошибки в исходных данных математической модели относительно мало влияют на результаты расчетов. То есть, ошибки в расчетах могут остаться незамеченными.

С точки зрения проектирования оружия и прицелов наибольшей тщательности требует определение трех углов: угла прицеливания (возвышения), угла бросания и угла вылета, обеспечивающих положение точки падения на заданной дальности (рис. 2, 3).

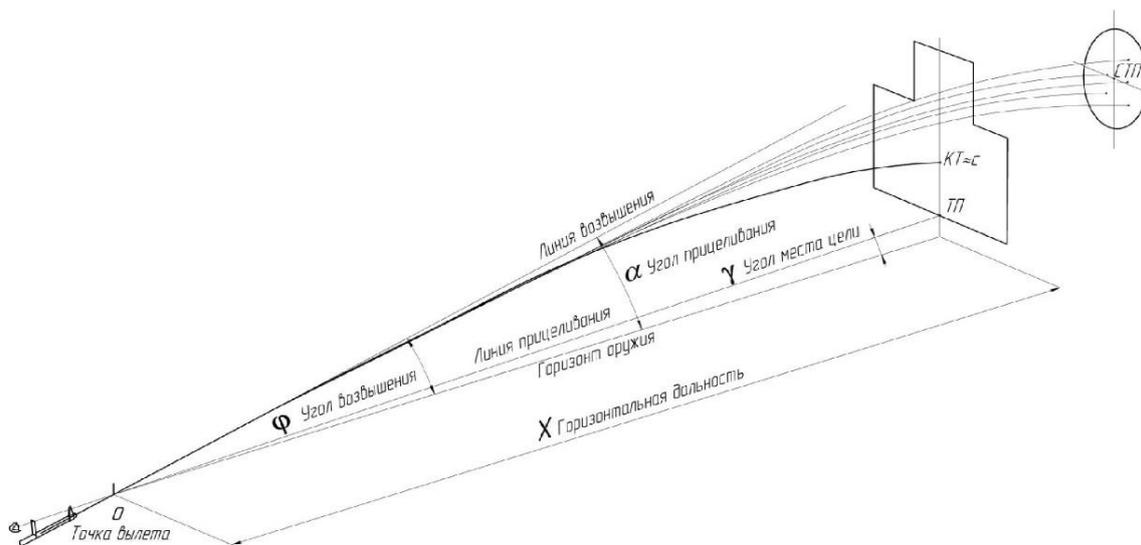


Рис. 2. Идеализированное представление траектории

Обычно ошибки попадания объясняются ландшафтными, климатическими условиями стрельбы, человеческими ошибками прицеливания и качеством оружия. На практике данное обстоятельство приводит к тому, что оружие попадает в цель только при стрельбе на ту дальность, на которую оно приведено к нормальному бою. На других дальностях имеет место гарантированный промах.

Несколько проще обстоит дело с применением результатов расчетов в исследованиях эффективности стрельбы. Математический аппарат теории вероятности еще раз уменьшает степень воздействия баллистических ошибок на конечный результат. При этом наиболее точно должны быть рассчитаны углы падения и полетные времена [2].

2. Математическая модель для расчета внешней баллистики в исследованиях эффективности стрельбы

Описываемая здесь математическая модель [2] используется для расчета таблиц стрельбы. В модели движение снаряда описывается в плоскости OXY земной системы координат (рис. 3).

Система уравнений для расчета внешней баллистики построена при следующих допущениях:

- ускорение силы тяжести постоянно по величине и направлено перпендикулярно горизонту;
- ускорение силы лобового сопротивления воздуха направлено по касательной к траектории метаемого элемента;
- ось метаемого элемента совпадает с касательной к траектории.

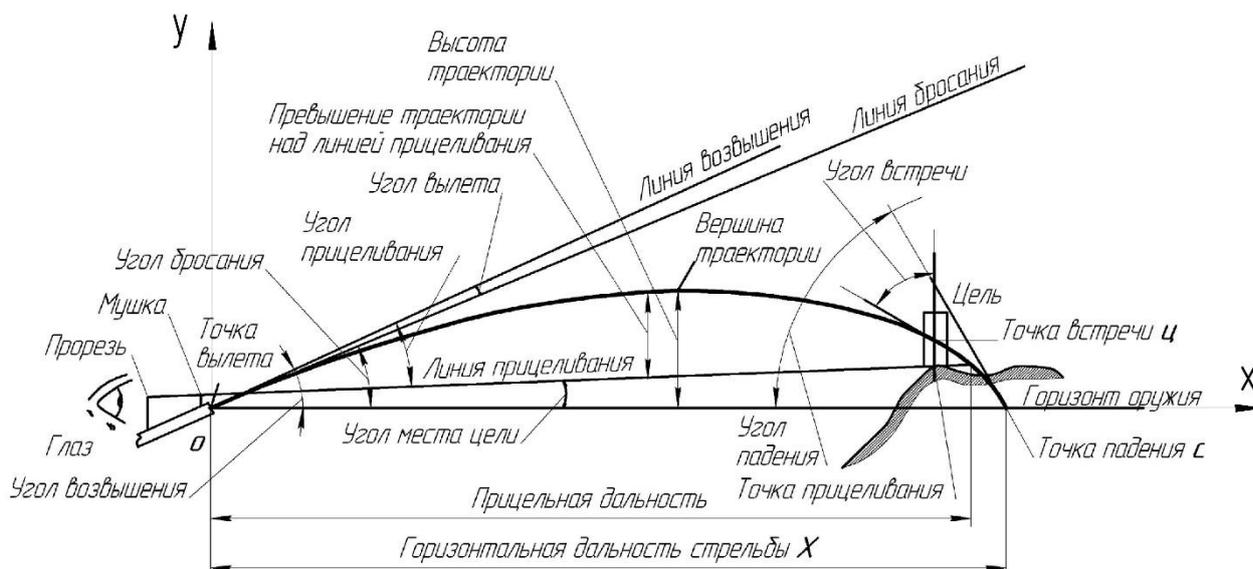


Рис. 3. Элементы траектории в земной системе координат

Исходными данными для расчёта являются:

- V_0 - начальная скорость снаряда;
- d - калибр оружия он же диаметр снаряда;
- q - масса снаряда;
- i - коэффициент формы к закону сопротивления воздуха 1943 г. (или коэффициент формы к закону Сиаччи, приведенный к закону 1943 г.);
- x - горизонтальная дальность.

Результатами расчёта являются:

- $V(x)$ - текущая скорость снаряда;
- $y(x)$ - превышение траектории над горизонтом оружия;
- $t(x)$ - полетное время;
- $\theta(x)$ - угол наклона траектории к горизонту.

Система уравнений для расчета внешней баллистики:

$$\frac{dV}{dx} = \frac{1}{V \cos \Theta} \left(-\frac{F}{q} - g \sin \Theta \right),$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \Theta,$$

$$\frac{d\Theta}{dx} = -\frac{g}{V^2},$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{V \cos \Theta}$$

$$F = \frac{\rho V^2}{2} \frac{\pi d^2}{4} H(y) \cdot C_x(M),$$

$$C_x(M) = C_x(M)_{43} \cdot i,$$

$$C_x(M) = C_x(M)_{\text{сиаччи}} \cdot i_{\text{сиаччи}},$$

$$M = \frac{V}{a},$$

где F - сила аэродинамического сопротивления,

$C_x(M)$ - коэффициент лобового сопротивления,

M - число Маха,

a - скорость звука,

$H(y)$ - функция плотности атмосферы,

ρ - плотность воздуха,

i - коэффициент формы к закону сопротивления воздуха 1943 г.,

$C_x(M)_{43}$, $C_x(M)_{\text{сиаччи}}$ - табличные функции законов сопротивления воздуха 1943 г. и Сиаччи соответственно (рис. 4).

Для расчетов таблиц стрельбы и некоторых других удобнее интегрировать систему уравнений по x , так как расчет параметров траектории необходимо вести до некоторой заданной горизонтальной дальности, поэтому уравнения системы записаны в функциях от x .

Заключение

Приведенная математическая модель внешней баллистики известна давно, однако создание расчетных программ и получение достоверных результатов затруднено. Затруднение возникает из-за отсутствия достоверных комплексов исходных данных для отладки программы и невозможности проведения качественных экспериментов на аттестованном оборудовании. Кроме того, для некоторых расчетов параметров траектории необходимо многократное решение прямой задачи внешней баллистики до необходимой точности.

Список литературы

- [1]. Вентцель Д.А., Шапиро Я.М. Внешняя баллистика. В 3-х ч. Ч. 1. М.; Л.: Оборонгиз. 1939. 210 с.
- [2]. Шапиро Я.М. Внешняя баллистика. М.: Оборонгиз. 1946. 408 с.
- [3]. Коновалов А.А. Николаев Ю.В. Внешняя баллистика. М.: ЦНИИ информации. 1979. 228 с.
- [4]. Левашов В.Ф. Внешняя баллистика и теория стрельбы комплексов РАВ. Ч.2. Основы стрельбы и управления огнем ствольной артиллерии. Пенза: ПАИИ. 2004. 376 с.
- [5]. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибра 5,45 и 7,62мм (ТС ГРАУ №61). 2-е изд., доп. М.: Воениздат. 1977. 263 с.
- [6]. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия под винтовочный патрон (ТС ГАУ №55). М.: Воениздат. 1948. 76 с.