

УДК: 623.52; 623.4

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_90

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТАБЛИЦ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ
И БОЕПРИПАСОВ К НИМ**

**RELEVANCE OF THE APPLICATION OF EXTERNAL BALLISTICS TABLES
IN THE DESIGN OF MODERN ARTILLERY GUNS AND THEIR AMMUNITION**

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

А.С. Алешин^{1,2}, В.А. Чубасов^{2,3}

¹АО «НПО Спецматериалов», ²БГТУ «Военмех»,

³Михайловская военная артиллерийская академия

A.S. Aleshin, V.A. Chubasov

В статье рассматривается практическая возможность применения в современных условиях Таблиц внешней баллистики при проектировании перспективных артиллерийских систем. Приведены примеры использования Таблиц внешней баллистики при расчетах основных элементов траектории артиллерийского снаряда и начальной скорости, необходимой для получения заданной дальности полета снаряда. Подтверждена возможность проводить баллистические расчеты при проектировании современных (перспективных) систем артиллерийских орудий и боеприпасов к ним простыми и доступными способами широкому кругу конструкторов и проектировщиков современных артиллерийских систем.

Ключевые слова: расчет элементов траектории, баллистические расчеты, таблицы внешней баллистики, численное интегрирование, баллистический коэффициент.

The article deals with the practical possibility of using the External Ballistics Tables in the design of modern artillery systems. Examples of the use of External Ballistics Tables in calculating the main elements of the trajectory of an artillery projectile and the initial velocity required to obtain a given range of the projectile are given. The possibility of carrying out ballistic calculations in the design of modern artillery gun systems and ammunition is confirmed by simple and accessible methods for a wide range of designers and planners of modern artillery systems.

Keywords: calculation of trajectory elements, ballistic calculations, external ballistics tables, numerical integration, ballistic coefficient.

Введение

Изданные в 1933–1940 гг. баллистические таблицы АНИИ были первыми таблицами, позволявшими по входным величинам V_0 , θ_0 и s находить непосредственно основные элементы траектории: дальность, время полета,

угол падения снаряда, высоту и окончательную скорость. Представленные таблицы обладали рядом существенных недостатков, таких как отсутствие обоснованных интервалов входных величин в таблицы. Сами таблицы были плохо выровнены и имели излишнюю громоздкость.

В 1943 году Артиллерийской академией по заданию Артиллерийского комитета была проведена работа по выбору форм и интервалов входных величин для таблиц внешней баллистики, предназначенных взамен таблиц АНИИ.

При составлении новых Таблиц внешней баллистики на основании проведенных отечественных опытов по изучению сопротивления воздуха и на основании многочисленных стрельб, необходимо было установить новый закон сопротивления воздуха для снарядов дальнобойной формы. Поведение снаряда на начальном участке траектории отличается от его поведения на всей траектории, и, как правило, сопротивление воздуха полету снаряда на начальном участке траектории больше, чем на последующих участках траектории.

Основная часть

Таблицы внешней баллистики представляют собой сборник [1–3]:

а) основных элементов траектории — дальностей, углов падения, окончательных скоростей, времен полета, высот (первая часть книги Таблицы внешней баллистики);

б) основных и вспомогательных функций и поправочных коэффициентов на изменение полной дальности (вторая часть книги Таблицы внешней баллистики).

Входными величинами в таблицах основных элементов траектории служат углы бросания, начальные скорости и баллистические коэффициенты.

Интервалы для входных величин установлены такие, чтобы при интерполяции между ними

по прямой, дальности определялись с точностью не меньше 0,2 %. Пределы для входных величин установлены следующие:

- начальные скорости от 50 до 2000 м/с;
- баллистические коэффициенты от 0 до 6,0;
- углы бросания от 5 до 85 градусов, причем верхний предел углов бросания различный для различных скоростей.

Во второй части книги Таблицы внешней баллистики даны поправочные коэффициенты на изменение полной дальности вследствие изменения следующих величин:

- начальной скорости на 1 м/с;
- баллистического коэффициента на 1 %;
- температуры воздуха на 1 градус;
- продольного ветра на 1 м/с;
- бокового отклонения снаряда вследствие бокового ветра в 1 м/с.

Дополнение ко второй части Таблиц внешней баллистики представляет собой таблицы поправочного коэффициента Q_0 — изменение полной дальности вследствие изменения угла бросания на 1 минуту для закона сопротивления воздуха 1943 года. Настоящими таблицами поправочного коэффициента Q_0 можно пользоваться во всех случаях, когда изменение угла бросания не превышает 30 минут. При этом сохраняется практически необходимая во всех видах вычислений точность определения дальности. При расчетах, допускающих меньшую точность, этими таблицами можно пользоваться в пределах изменения угла бросания до 1 градуса.

В табл. 1 приведены интервалы и пределы входных величин, принятые для Таблиц внешней баллистики.

Таблица 1

Интервалы и пределы входных величин

Входные величины			Значение остальных входных величин
наименование	шаг	пределы	
Угол бросания, градус	5	5–85	$V_0 = 50 - 2000$ м/с и для всех значений баллистических коэффициентов
Начальные скорости, м/с	10	50–400	Для всех значений баллистических коэффициентов и углов бросания
	20	400–600	
	50	600–2000	
Баллистические коэффициенты	0,1	0,0–0,1	Для всех значений начальных скоростей и углов бросания
	0,02	0,1–0,4	
	0,05	0,4–1,0	
	0,2	1,0–4,0	
	0,5	4,0–6,0	

Основой для Таблиц внешней баллистики послужили траектории, вычисленные численным интегрированием в Математическом институте им. В.А. Стеклова Академии наук СССР. Вычисления производились при законе сопротивления воздуха 1943 года [4, 5].

Используя численное интегрирование, были вычислены траектории для следующих значений: V_0 , θ_0 и c .

Данные, приведенные в табл. 2, были проинтерполированы для углов, кратных 5 градусам и выравнены в трех направлениях, по V_0 , θ_0 и c . При выравнивании допускались отступления от вычисленных элементов траектории на величину, не превышающую 0,1 %.

Тщательно выравненные элементы траектории были распространены по баллистическим коэффициентам и начальным скоростям, приведенным в табл. 1.

Таблицы выравнены до третьих, а иногда и высших разностей. В процессе интерполяций и выравнивания элементов траектории по трем направлениям V_0 , θ_0 и c дальности брались с точностью 1 м, а времена полета с точностью 0,01 с.

Порядок применения Таблиц внешней баллистики для расчета элементов траектории

В настоящее время наиболее точным методом расчета элементов траектории является метод численного интегрирования, но расчет траектории этим методом требует много времени. Для облегчения расчета можно воспользоваться специальными сборниками элементов траектории, которые называются «Таблицы стрельбы»

Таблица 2

Проинтерполированные данные для углов, кратных 5 градусам и выравненных в трех направлениях: V_0 , θ_0 и c

V_0 , м/с	θ_0 , градус	c
От 50 до 400 через 50	5, 10, 15, 20, 30,..., 80, 85	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0
От 400 до 1000 через 100	5, 10, 15, 20, 30,..., 70	
От 1000 до 2000 через 200	5, 10, 15, 20, 30,..., 60	

или «Баллистические сборники». Вид баллистического сборника показан в табл. 3.

Так как элементы траектории в точке падения и в вершине определяются тремя параметрами, то таблицы имеют три входа.

Для каждого элемента траектории можно составить свою таблицу. Угол θ_0 задается через 5 градусов, V_0 через 10–50 м/с, c через 0,05–0,1.

На примере 1 покажем порядок расчета элементов траектории с использованием Таблиц внешней баллистики.

Пример 1.

Дано: начальная скорость снаряда $V_0 = 890$ м/с; угол бросания снаряда $\theta_0 = 43$ градуса; калибр артиллерийской системы $d = 0,152$ м; коэффициент формы снаряда $i = 1,03$; масса снаряда $q = 43,56$ кг.

Определить: X, Y, T, V_c, θ_c .

Рассчитываем баллистический коэффициент:

$$c = \frac{id^2}{q} \cdot 10^3 = \frac{1,03 \cdot 0,152^2}{43,56} \cdot 10^3 = 0,546.$$

Для расчета элементов траектории снаряда удобно составить таблицу, форма которой показана в табл. 4.

Из Таблицы внешней баллистики части первой «Основные элементы траектории» необходимо выписать значения элементов траектории для табличных значений V_0 , θ_0 и c , а затем, интерполируя по V_0 , c и θ_0 определить значения элементов траектории для заданных значений V_0 , θ_0 и c .

Далее необходимо определить интерполирующие множители:

$$\xi_c = \frac{0,546 - 0,550}{0,05} = -0,08;$$

Таблица 3

Вид баллистического сборника для различных углов бросания снаряда

$c \backslash V_0$	V_{01}	V_{02}	...	...	V_{0i}	...	...	...
c_1	X, Y, T, V_c, θ_c							
c_2								
c_3								
...								
...								

Таблица 4

Результаты расчета элементов траектории снаряда

Элемент траектории	θ_0	40°			43°	45°		
	$c \backslash V_0$	850	890	900		850	890	900
X	0,500	22877		24402		23389		24994
	0,546	21724	22821	23095	23208	22174	23325	23613
	0,550	21624		22981		22068		23493
Y	0,500	6821		7397		8116		8812
	0,546	6504	6959	7037	7728	7729	8240	8368
	0,550	6476		7006		7695		8329
T	0,500	73,09		76,33		80,25		83,88
	0,546	71,01	73,4	74,03	77,8	77,96	80,68	81,36
	0,550	70,83		73,83		77,76		81,14
V_c	0,500	335		337		339		342
	0,546	330	332	332	334	333	335	336
	0,550	330		332		333		335
θ_c	0,500	59°04'		60°25'		62°46'		64°00'
	0,546	58°49'	58°49'	60°10'	61°02'	62°39'	62°40'	63°54'
	0,550	58°48'		60°08'		62°39'		63°53'

$$\xi_{V_0} = \frac{890 - 850}{50} = 0,8;$$

$$\xi_{\theta_0} = \frac{43 - 40}{5} = 0,6.$$

Установлено, что для всех элементов траектории интерполирующие множители одинаковы. В соответствии с [1] табл. 4 можно было бы не составлять, а расчет дальности полета снаряда X произвести по следующей формуле:

$$X = X_{\theta_0, V_0, c} + \xi_{V_0} \Delta x_{V_0} + \xi_c \Delta x_c + x_{\theta_0}.$$

Величину $X_{\theta_0, V_0, c}$ определяем для следующих значений:

$$\theta_0 = 40^\circ; V_0 = 850 \text{ м/с}; c = 0,550.$$

Следовательно, определяем дальность полета снаряда

$$\begin{aligned} X &= 21624 + 0,8(24402 - 22877) - \\ &- 0,08(21624 - 22877) + 0,6(22068 - 21624) = \\ &= 21624 + 1220 + 100,24 + 266,4 = 23211 \text{ м.} \end{aligned}$$

Небольшое отличие полученного значения дальности полета снаряда X от приведенного

в табл. 4 (23211 вместо 23208) можно объяснить неточностью линейного интерполирования.

Таблицы внешней баллистики можно использовать и для проведения баллистических расчетов при проектировании современных (перспективных) артиллерийских систем. Покажем такую возможность на примере 2.

Пример 2.

Дано: дальность полета снаряда $X = 40\,000$ м; калибр артиллерийской системы $d = 0,152$ м; масса снаряда $q = 48,8$ кг; коэффициент формы снаряда $i = 1,05$.

Необходимо определить начальную скорость снаряда, необходимую для получения заданной дальности стрельбы.

Рассчитываем баллистический коэффициент:

$$c = \frac{id^2}{q} \cdot 10^3 = \frac{1,05 \cdot 0,152^2}{48,8} \cdot 10^3 = 0,497.$$

Для решения данной задачи необходимо произвести обратную интерполяцию.

Максимальная дальность стрельбы будет достигнута при угле бросания, близком к 45 градусам, поэтому расчеты проводим при $\theta_0 = 45^\circ$.

Для расчета начальной скорости снаряда удобно составить таблицу следующего вида (см. табл. 5).

Таблица 5

Результаты расчета начальной скорости снаряда

$c \backslash V_0$	1200	1238	1250
0,450	42179	—	45456
0,497	37926	40000	40688
0,500	37655	—	40384

Значение скорости выбираем с таким расчетом, чтобы после интерполирования по c справа от 40000 (см. табл. 5) получить число, большее этой величины, а слева меньшее.

Заключение

Приведенные в статье примеры расчета основных элементов траектории артиллерийского снаряда X, Y, T, V_c, θ_c и начальной скорости, необходимой для получения заданной дальности полета снаряда с использованием Таблиц внешней баллистики показали актуальность их использования и в настоящее время [6–10].

Использование Таблиц позволяет проводить баллистические расчеты при проектировании современных систем артиллерийских орудий и боеприпасов к ним простыми и доступными способами широкому кругу конструкторов и проектировщиков артиллерийских систем.

Литература

1. Кириченко В.Д. Баллистика (конспект лекций). Ленинград: ЛВАИУ, 1957. 203 с.
2. Таблицы внешней баллистики. Ч. 1. Основные элементы траектории / Главное артилле-

рийское управление Вооруженных Сил Союза ССР. М.: Военное изд-во Министерства Вооруженных Сил Союза ССР, 1949. 608 с.

3. Таблицы внешней баллистики. Ч. 2. Основные и вспомогательные функции и поправочные коэффициенты / Главное артиллерийское управление. М.: Военное изд-во Военного Министерства Союза ССР, 1950. 253 с.

4. Коновалов А.А., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика: учебное пособие для студентов вузов. М., ЦНИИ информации, 1979. 228 с.

5. Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика: учебное пособие. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. 328 с.

6. Алешин А.С., Чубасов В.А. О возможности использования решения обратной задачи внутренней баллистики для проектирования современных артиллерийских систем // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3 (127). С. 76–81.

7. Алексеев В.М., Зайцев А.С. Баллистическое проектирование и разработка конструкции ствола артиллерийского орудия: метод. указания к курсовой работе. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 42 с.

8. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н., Богодистов С.С. Внешняя баллистика. 3-е изд., перераб. и доп. Учебник для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.

9. Зайцев А.С. Разработка конструкции ствола артиллерийского орудия: пособие по курсовому проектированию / А.С.Зайцев; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2019. 36 с.

10. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика: учеб. для вузов. 4-е изд. М.: Машиностроение, 2005. 608 с.