

ГЛАВА III

БАЛЛИСТИКА

Баллистика — военно-техническая наука, основывающаяся на комплексе физико-математических дисциплин, рассматривающая движение артиллерийских снарядов, пуль, мин и т. п.

1. ВНУТРЕННЯЯ БАЛЛИСТИКА

Основная задача внутренней баллистики заключается в определении давления пороховых газов и скорости движения пули в различных точках канала ствола, которые необходимы для расчета параметров ствола, веса пули и величины порохового заряда, чтобы получить требуемые результаты при выстреле.

Понятие выстрела

Выстрелом называется выбрасывание пули из канала ствола оружия энергией пороховых газов.

Процесс выстрела заключается в следующем. Ударник, получив энергию от курка или непосредственно от бое-

Процессы, протекающие внутри канала ствола при выстреле, изучает внутренняя баллистика. Внешняя баллистика занимается процессами, которые протекают от момента вылета пули из канала ствола до момента ее встречи с целью.

вой пружины, ударяет бойком по капсюлю-воспламенителю патрона и сжимает ударный состав между колпачком капсюля-воспламенителя и наковальной гильзы. От удара бойка взрывается ударный состав капсюля-воспламенителя и возникает пламя, которое через затрабочные отверстия в дне гильзы проникает к пороховому заряду и воспламеняет его.

Сгорая, пороховой заряд образует большое количество сильно нагретых газов, которые создают в канале ствола высокое давление на стенки ствола, стенки и дно гильзы и дно пули. При сгорании пороха объем газов примерно в 900 раз превышает объем порохового заряда. Увеличение объема пороховых газов повышает давление.

Под давлением пороховых газов на дно пули сдвигается с места и врезается в нарезы канала ствола; вращаясь по ним, продвигается по каналу ствола с непрерывно возрастающей скоростью и выбрасывается наружу по направлению оси канала ствола.

Одновременно возникает противоположная сила от давления пороховых газов на дно гильзы, которая вызывает движение оружия назад. Эта сила называется *силой отдачи*.

В неавтоматическом оружии эта сила гасится рукой или плечом стрелка. В автоматическом оружии часть этой силы используется для работы автоматики.

От давления газов на стенки гильзы и ствола происходит растяжение (упругая деформация), и гильза, плотно прижимаясь к стенкам патронника, препятствует прорыву пороховых газов в сторону затвора, т. е. создается полная obturation газов.

Одновременно возникает колебательное движение (вибрация) ствола и происходит его нагревание.

Раскаленные газы, истекающие из канала ствола вслед за пулей, мгновенно расширяются и при встрече с воздухом порождают пламя и ударную волну, которая является источником звука при выстреле.

На основании всего вышесказанного можно заключить, что стрелковое оружие с физической точки зрения представляет собой термодинамическую машину, в которой химическая энергия порохового заряда преобразуется в тепловую энергию пороховых газов, а затем в кинетическую энергию системы «пуля — оружие».

Преобразование происходит за весь ма короткий промежуток времени

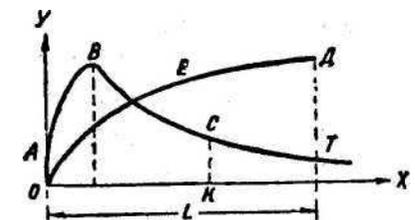
(1—10 мс) и сопровождается высокой температурой (до 3000 °С) и давлением (до 3000 кг/см² и более) пороховых газов.

Кривые давления и скорости

Если взять прямоугольную систему координат и вдоль оси x откладывать перемещения пули в канале ствола, а в направлении оси y для каждого значения пути пули откладывать в определенном масштабе величину соответствующего давления пороховых газов, то мы получим график *ABT*, изображающий зависимость давления газов от пути пули в канале ствола. Кривая этого графика называется *кривой давления*.

Если тем же способом для каждого положения пули построить ее скорость, соответствующую данному положению, то получим кривую *ОЕД*, называемую *кривой скоростей* пули в канале.

По этой кривой можно заметить, что скорость возрастает по мере увеличения длины канала ствола, причем это увеличение идет быстрее в начале движения. Увеличивая длину ствола, можно достичь предельного значения скорости пули в тот момент, когда



Кривые давления и скорости движения пули

уменьшающееся давление пороховых газов на дно пули сравняется по величине с сопротивлениями, испытываемые пулей при ее движении в канале (трение). Дальнейшее увеличение длины канала ствола, очевидно, является излишним.

При правильно подобранном заряде полное сгорание пороха должно закончиться к моменту вылета пули из канала ствола. На практике это осуществить трудно, и бывают случаи, когда не весь заряд в канале ствола успевает сгореть к моменту вылета пули.

Периоды выстрела

В явлении выстрела различают следующие периоды.

Предварительный период, или период форсирования

Воспламенившийся порох начинает свое горение, которое протекает в постоянном объеме. Он длится от момента воспламенения порохового за-

ряда до начала движения пули, ее врезания в нарезы направляющей части ствола.

За этот период давление газов P характеризуется нарастанием давления в камере от θ до величины P_0 , достаточным для того, чтобы сдвинуть пулю с места. Она своей оболочкой врезается в нарезы канала ствола на полную глубину. Давление P_0 называется **давлением форсирования**.

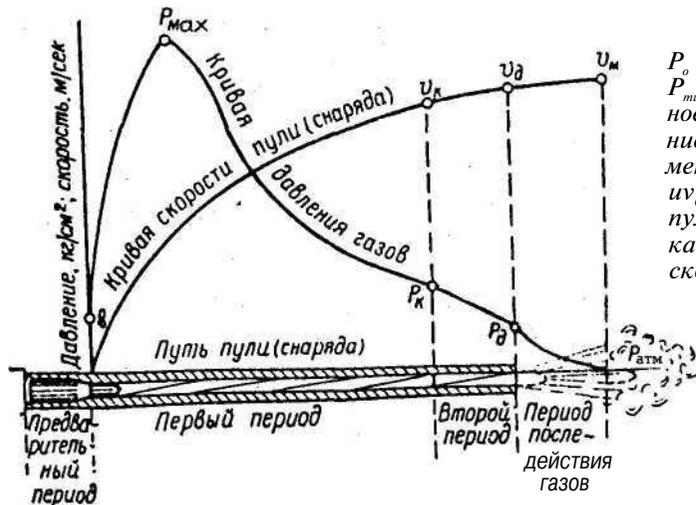
Величина сгоревшего пороха за этот период в постоянном объеме определяется по общей формуле пиротехники:

$$w_0 = \frac{c_0}{\omega} \frac{1/D^* - 1/8}{//P_0 + a - 1/5}$$

где c_0 — исходная масса заряда пороха; c_0 — масса сгоревшего пороха; $//, \delta, a$ — характеристики пороха: сила, плотность; L^* — плотность заряжания после выхода пули из дульца гильзы

$$D^* = 0,97D,$$

где D — исходная плотность заряжания,



Периоды выстрела:

P_0 — давление форсирования; P_{max} — наибольшее (максимальное давление); P_K и v_K — давление газов и скорость пули в момент конца горения пороха; P_a и v_a — давление газов и скорость пули в момент вылета ее из канала ствола; v_M — наибольшая скорость пули; $P_{атм}$ — давление, равное атмосферному

w

где w — свободный объем камеры заряжания гильзы.

Давление форсирования тем выше, чем более прочно сидит пуля в гильзе. Это способствует более полному сгоранию порохового заряда (что важно для короткоствольного оружия), а более полное сгорание порохового заряда способствует получению большей скорости пуле. Это очень хорошо учтено в револьверных патронах «наган».

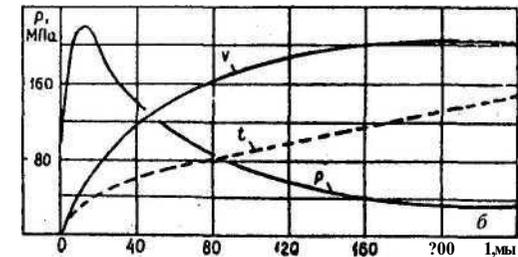
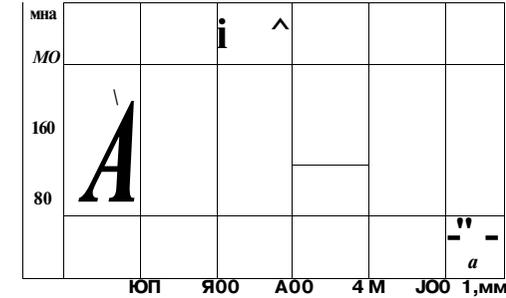
Первый, штосновной, термодинамический период характеризуется движением пули по нарезам до момента полного сгорания порохового заряда, т. е. $\gamma = 1$.

Из теории порохов известно, что чем больше давление, тем быстрее сгорают зерна пороха.

В этот период горение порохового заряда идет в быстро изменяющемся объеме. В начале периода, когда скорость движения пули по каналу ствола невелика, количество газов растет быстрее, чем объем запульного пространства, давление газов быстро повышается и достигает наибольшей величины P_{max} . Это давление называется **максимальным давлением**. В стрелковом оружии оно достигает до 3000 кг/см^2 и более.

Для конструктора максимальное значение давления имеет важное значение. По нему рассчитывают прочность всего оружия, а ствол в этом участке делают утолщенным.

После достижения максимального давления вследствие быстрого увеличения скорости движения пули объем за-



Параметры внутриваллистического процесса для пистолетных патронов калибра 9 мм (а) и 7,62 мм (б)

пульного пространства увеличивается быстрее притока новых газов и давление начинает падать, достигая значения P_K , а скорость значения — v_K .

$$\Phi \quad X$$

где $S = n_s d^2$ — площадь канала ствола с учетом нарезов; d — калибр канала ствола; J_K — полный импульс давления пороховых газов к концу горения заряда; $\%$ — геометрическая характеристика пороха; q — масса пули; n_s — коэффициент, учитывающий глубину нарезки n_s ; Φ' — коэффициент фиктивности массы пули

$$\Phi = a \quad 3 q$$

Поступая аналогично, получим следующую таблицу данных:

<i>L</i> , дм	0,20	0,40	0,645	0,80	1,20	2,60
<i>P</i> , кг/см ²	1934	2450	2850	2804	2487	1413
<i>v</i> , м/с	139	245	361	414	518	694
<i>L</i> , дм	3,40	4,20	5,00	5,80	6,76	
<i>P</i> , кг/см ²	1056	812	640	520	416	
<i>v</i> , м/с	751	792	823	847	870	

По этим данным можно графически построить кривые давлений и скорости пули.

Для определения элементов движения пули в канале ствола существуют таблицы и формулы Гейденрейха [61]. Для того чтобы работать с этими, формулами необходимо иметь следующие данные:

m — массу пули; *M* — массу заряда; *V₀* — начальную скорость пули; *d* — калибр; *L* — полную длину пути пули по

Таблица 3.1

Таблица Гейденрейха

	ад	ГОД	Ф(П)	0(11)	T(r)
0,05	0,0046	—	—	0,033	—
0,10	0,0104	0,200	0,288	0,069	0,646
0,15	0,0177	0,240	0,306	0,108	0,695
0,20	0,0262	0,274	0,322	0,150	0,744
0,25	0,0360	0,306	0,377	0,196	0,792
0,30	0,0471	0,338	0,352	0,246	0,842
0,35	0,0597	0,368	0,367	0,300	0,893
0,40	0,0740	0,400	0,383	0,358	0,946
0,45	0,0903	0,432	0,399	0,420	1,000
0,50	0,1090	0,465	0,416	0,487	1,056
0,55	0,132	0,501	0,435	0,560	1,116
0,60	0,160	0,541	0,457	0,642	1,180
0,65	0,192	0,585	0,482	0,743	1,249
0,70	0,231	0,635	0,511	0,835	1,322
0,75	0,283	0,697	0,546	0,958	1,406
0,80	0,360	0,779	0,592	1,115	1,507
0,825	0,422	0,838	0,636	1,225	1,575
0,85	0,605	1,000	0,747	1,485	1,715
0,825	0,855	1,181	0,908	1,735	1,815
0,80	0,980	1,254	0,987	1,835	1,845
0,79	1,000	1,266	1,000	1,850	1,850

каналу ствола; *P_{тах}* — максимальное давление.

Для вычисления характерных точек: *I_{мм}* — путь пули в канале к моменту достижения *P_{гаах}*; *P_о* — давление в канале в момент вылета пули; *v_{мак}* — скорость пули в момент достижения *P_{мак}*; *t_{тах}* — время от начала движения пули до момента нарастания *P_{тах}*; *t_р* — среднее время движения пули по каналу.

Гейденрейх дает табл.3.1, имеющую следующие функции:

$$= \sim \begin{matrix} \circ \\ \phi \\ \circ \end{matrix}$$

Для определения элементов движения пули по каналу, отвечающих промежуточному моменту, служит таблица 3.2, имеющая следующие функции:

$$O(A) > Z(A, t); A = \frac{J}{i}$$

Пример. Дано

S = 0,5 см²; *L* = 0,775 м; *P_{мм}* = 3245 кг/см²; *v₀* = 1000 м/с; *?* = 0,0096 кг; *co* = 0,00325 кг.

Найти элементы движения пули в канале и построить кривую скоростей, давлений и времени.

1. Вычислим *P_{рп}*:

$$\frac{2SL}{(0,0096+0,001625)1000^2} = 2gSL$$

$$2-9,810,5 \cdot 0,775$$

Таблица 3.2

Таблица вычислений

	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
lgX	1,3979	1,6990	1,8751	0,0000	0,0969	0,1761	0,2430
lg /max	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531
lg/	2,2510	2,5521	2,8531	2,9500	1,0292	1,0292	1,0961
/, М	0,01782	0,03566	0,05348	0,07131	0,08913	0,1069	0,1247
igTO	1,8388	1,9494	1,9868	0,0000	1,9850	1,9509	1,9180
lg /max	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112
lg/»	3,3500	3,4606	3,4980	3,5112	3,4962	3,4621	3,4292
<i>P</i> , кг/см ²	2239	2888	3148	3245	3134	3898	2686
lg Q(k)	1,5740	1,7952	1,9180	0,0000	0,0598	0,1031	0,1374
lgVmax ^2	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029
Igv	2,1769	2,3981	2,5209	2,6029	2,6627	2,7060	2,7403
<i>v</i> , м/с	150,3	250,1	331,8	400,7	459,9	508,2	549,9
lgZ(b)	1,8382	1,7952	1,9180	0,0000	0,0598	0,1031	0,1374
lg fmax	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197
lg?	4,6581	4,7388	4,7854	4,8197	4,8462	4,8685	4,8879
<i>t</i> , м/с	0,0004551	0,000548	0,0006101	0,0006603	0,0007018	0,0007387	0,0007725
<i>X</i>	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0	10,0	ЛдунН.
lgX	0,3010	0,4771	0,6532	0,7782	0,9031	1,000	
lg /max	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	2,8531	
lg/	1,1541	1,3302	1,5063	1,6313	1,7562	2,8531	
/, М	0,1426	0,2139	0,3208	0,4279	0,5705	0,7131	0,775
lg TO	1,8859	1,7709	1,7218	1,5315	1,4200	1,3284	
lg -Pmax	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	3,5112	
lgP	3,3961	3,2821	3,2330	3,0427	2,9312	2,8396	
<i>P</i> , кг/см ²	2490	1914	1710	1104	853,5	691,1	642
lgQt(f.)	0,1644	0,2370	0,2969	0,3340	0,3670	0,3897	
igVmax	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	2,6029	
Igv	2,7673	2,8399	2,8998	2,9369	2,9699	2,9926	
<i>v</i> , м/с	585,2	691,6	793,9	864,8	933,0	- 983,1	1000
lgZ(A)	0,0856	0,1421	0,2057	0,2555	0,3100	0,3555	
*6 'max	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	4,8197	
lg'	4,9053	П.9618	3,0254	0,3752	3,1297	3,1752	

Пользуемся четырехзначными таблицами логарифмов

$$\begin{aligned} \lg v_0^2 &= 6,0000 \\ \lg\left(q + \frac{\omega}{2}\right) &= 2,0500 \\ -) &= 2,0500 \\ c \lg 2 &= 1,6990 \\ c \lg 5 &= 0,3010 \\ c \lg L &= 0,1107 \\ c \lg g &= 1,0083 \\ \lg / \% &\gg 3,1690 \\ P_{cp} &= 1,476 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

В тех случаях, когда требуется произвести прикладочные расчеты при составлении проекта, вместо фиктивной массы ($m + -$), можно взять массу $u > m$,

$$c_{-pp} \quad 2SL$$

2. Находим z

$$z \setminus = \frac{1476}{3245}$$

$$\begin{aligned} \lg / \%_{cp} &= 3,1690 \\ c \lg P_{cp} &= 4,4888 \end{aligned}$$

$$\lg u = 1,6578$$

$z \setminus = 0,4547$, когда давление задано в кг/см^2 или

$$^m \quad 2,0666 - S - L - P^{\wedge}$$

когда давление задано в атмосферах.

3. В табл. 1 находим интерполированием $Z(r) = 0,0920$, тогда

$$\begin{aligned} /_{\text{юц}} = \text{Шу} \setminus &= 0,775 \cdot 0,0920 \\ \lg Z &= 1,8893 \\ \lg \text{ЦтО} &= 2,9638 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lg /_{\text{max}} &= 2,8531 \\ /_{\text{max}} &= 0,0713 \text{ м.} \end{aligned}$$

4. Из таблицы находим интерполированием $\Pi(r) = 0,435$, тогда

$$\begin{aligned} P_a = / > \Pi(T1) &= 1476 \cdot 0,435 \\ \lg / \% &= 3,Д690 \\ \lg \Pi(T1) &= 1,6385 \\ 1_{\text{E}} P_{\text{я}} &= 2,8075 \\ P_a &= 642 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

5. Находим $\Phi(r)$ и вычисляем v_{max}

$$v_{\text{max}} = v_0 O(Ti) = 1000 \cdot 0,4007 = 400,7 \text{ м/сек.}$$

6. Находим t_{cp}

$$\begin{aligned} IL_{-} - \frac{2-0,775}{v_n} &= 0,00155 \text{ с.} \\ v_n &\sim 1000 \end{aligned}$$

7. Из таблицы $8(r) = 0,426$, тогда

$$\begin{aligned} \text{Ч}^{\text{TM}} = ',6(11) &= 0,00155 \quad 0,426 \\ \lg t_a &= 3,1903 \\ \lg q(i1) &= 1,6294 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lg'_{\text{ra}} \ll &= 4,8197 \\ f_{\text{max}} &= 0,0006603. \end{aligned}$$

8. Время продолжительности выстрела

$$\begin{aligned} f, = fepT(Ti) &= 0,00155 - 1,005 \\ \lg t_v &= 3,1903 \\ \lg T(Ti) &= 0,0021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lg i; &- 3,1924 \\ /, &= 0,001557. \end{aligned}$$

9. Вычисления элементов движения

Задаваясь рядом значений $L < X_a =$
 $= - -$, сведем в таблицу.

Так как у нас $X - \frac{L}{\text{тах}} = 10,9$, то зада-
 емся следующими значениями A (см.
 табл. 3.2).

Факторы, влияющие на баллистические кривые

Работа пороховых газов

Знание значения той работы, которую производит порох в канале ствола, помогает правильно выбрать характеристики оружия, боеприпаса и пороха.

Имея кривые давления и скорости, попробуем, не прибегая к высшей математике, определить работу, произведенную пороховыми газами в канале ствола.

Для этого путь движения пули разделим на n равных участков. Давление пороховых газов в начале участка принимаем за силу, действующую на элементарном участке. Работа равна произведению силы на путь, т. е.

$$A = FL,$$

где F — сила; L — путь.

Обозначив силу в начале каждого участка F_1, F_2, \dots, F_n , а длину участка l , получим элементарные работы

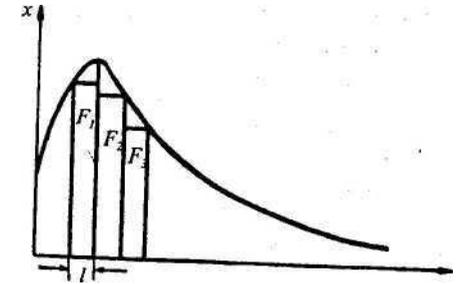
$$A_i = F_i l,$$

где $l = l$ -и

С другой стороны, эта формула выражает площадь элементарного прямоугольника.

Если будем уменьшать длины участков, то сумма участков будет приближаться к площади, ограниченной кривой давления и осями x и y при достаточно большом числе прямоугольников. Следовательно, эта площадь будет выражать работу пороховых газов в канале ствола.

Эта работа расходуется главным образом на сообщение пуле поступа-



Определение работы пороховых газов по кривой давления

тельного движения, так как работа, затраченная на преодоление сопротивления и на сообщение пуле вращательного движения, незначительна.

Поэтому работу пороховых газов в канале ствола можно выразить дульной энергией

где q — вес пули, кг; v_0 — начальная скорость пули, м/с; g — ускорение свободного падения тела, м/с^2 .

Выбор сорта пороха

Работу пороховых газов в канале ствола можно выразить также еще площадью прямоугольника, равновеликого площади, заключенной между кривой давления и осями x и y , основанием которого будет являться длина нарезной части ствола L , а высота — среднее давление P_{cp} .

$$P_{cp} = \frac{A}{L}$$

Зная максимальное и среднее давление, можно определить производительность пороха.

Производительность пороха — это отношение среднего давления к максимальному

$$h = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{max}}}$$

Чем лучше производительность пороха, тем лучшими свойствами обладает система, однако порох может обладать хорошей производительностью, но плохой экономичностью.

Экономичность пороха — это отношение дульной энергии пули к весу заряда

$$W = \frac{qv_0^2}{2g\omega}$$

где ω — вес заряда.

Чем больше дульная энергия при данном весе заряда, тем экономичнее использован порох.

При выборе пороха применяют понятие коэффициента использования пороха.

Коэффициент использования пороха — это произведение экономичности данного пороха на его производительность

1

$$k = nW =$$

На основании этой зависимости можно подобрать наиболее выгодный сорт пороха для данного вида оружия.

Коэффициент полезного действия заряда

Как указывалось выше, при выстреле энергия заряда расходуется не только на сообщение пуле поступательного движения. Чтобы иметь полное представление об этом, приведем результа-

ты распределения энергии, полученные от порохового заряда при выстреле из винтовки.

Энергия, находящаяся в пороховом заряде... 2762 кал = 100 %
 Дульная энергия... 905 кал = 32,8 %
 Энергия вращения пули... 4 кал = 0,1 %
 Отдача тепла стволу, вибрация ствола и другие виды механической энергии, превращающиеся в теплоту... 620 кал = 22,8 %
 Энергия отдачи... 24 кал = 0,9 %
 Теплота и энергия пороховых газов у дула, теплота в выброшенных газах... 1209 кал = 43,4 %

Коэффициент полезного действия заряда — это отношение полезной работы к той работе, которую способен совершить пороховой заряд.

Полезная работа определяется

Работоспособность заряда A ,

$$A = c\omega t,$$

где ω — вес заряда; t — теплотворная способность пороха при сгорании 1 кг; z — работоспособность единицы тепла.

Тогда

$$k = \frac{A}{c\omega t} = \frac{qv_0}{2g\omega t z}$$

Пример. Определить кпд заряда 7,62-мм патрона при следующих исходных данных:

вес заряда $\omega = 3,25$ г пироксилинового пороха; теплотворная способность пороха $t = 900$ б. кал. при сжигании 1 кг; одна большая калория способна совершить работу 427 кгм; начальная скорость пули $v_0 = 870$ м/с.

Заряд 3,25 г может выделить тепла
 $t = 900 \cdot 0,00325 = 2,925$ б. кал,

которое может совершить работу

$$L = 2,925 \cdot 427 = 1249 \text{ кгм.}$$

Полезная работа

$$0,0096 \cdot 870^2 = 37 \text{ (Шгм.)}$$

Тогда кпд заряда

$$= 370$$

Влияние скорости горения пороха

Скорость горения пороха оказывает существенное влияние на характер кривой давления пороховых газов в канале ствола оружия.

Если, например, сообщить пуле одинаковую начальную скорость при быстро и медленно горящем порохе, то при быстро горящем порохе максимально давление будет значительно больше, а дульное давление меньше сравнительно с кривой давления медленно горящего пороха.

Объясняется это тем, что при быстро горящем порохе в меньший проме-

жуток времени успевает сгореть большая часть заряда, чем при медленно горящем порохе, поэтому давление пороховых газов сначала резко поднимается и дает максимум на меньшем пути движения пули.

Благодаря этому медленно горящий порох дает лучшие результаты. Однако желательно, чтобы скорость горения такого пороха смогла бы обеспечить полное сгорание зерен за время движения пули по каналу ствола.

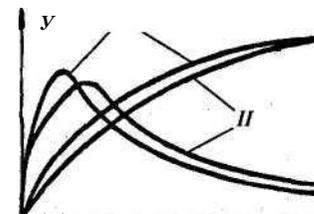
Установлено, что скорость горения пороха находится в прямой зависимости от давления.

Шмитт опытами в манометрической бомбе установил следующую зависимость:

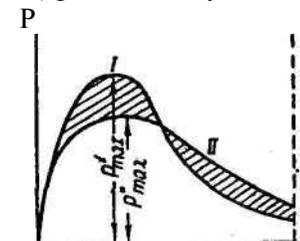
$$V = V_0 \sqrt{P},$$

где V_0 — скорость горения пороха при атмосферном давлении; P — давление, при котором происходит горение пороха.

С другой стороны, рассматривая различные кривые давления пороховых газов, видим, что снаряду можно сообщить одну и ту же начальную скорость при различных максимальных давлениях, если площади, ограниченные этими кривыми, равны между собой. Так как



Кривые давления пороховых газов и скорости снаряда:
 I — при быстро горящем порохе;
 II — при медленно горящем порохе



Кривые давления пороховых газов при горении:
 I — дегрессивного пороха;
 II — прогрессивного пороха

кривые /и //ограничивают равные площади, а следовательно, выражают одинаковую работу пороховых газов при различных максимальных давлениях.

Так как кривая // при меньшем максимальном давлении $P_{\text{зв}}^{\wedge}$, она выражает ту же работу, что и кривая /, имеющая большее значение $P_{\text{зв}}^{\wedge}$, то ей следует использовать стволы с более тонкими стенками.

Влияние плотности заряжения

Величина максимального давления газов в канале ствола и начальная скорость пули зависят от условия заполнения зарядом объема, в котором он помещается. О степени заполнения зарядом объема гильзы судят по плотности заряжения.

Плотность заряжения — это отношение веса заряда к весу воды, заполняющей внутренний объем гильзы позади дна пули (камеры). Удельный вес воды принимается равным единице.

$$\frac{A}{w}$$

где L — плотность заряжения; so — вес заряда; w — вес (объем зарядной камеры) воды.

Зависимость максимального давления газов и начальной скорости пули от плотности заряжения объясняется тем, что при взрыве заряда в небольшом объеме сразу увеличивается давление газов, вместе с тем возрастает скорость горения заряда, а следовательно, и дальнейшее образование газов. Изменение же закона развития давления газов отразится на величине на начальной скорости. Изменение начальной скорости пули и максимального давления газов в зависимости

от плотности заряжения при незначительном ее изменении определяется по следующим приближенным формулам

$$\Delta v_0 = -\frac{1}{3} \frac{\Delta w}{w} v_0$$

$$\Delta P_{\text{max}} = \frac{1}{3} \frac{\Delta w}{w} P_{\text{max}}$$

где v_0 — изменение начальной скорости пули; ΔP_{max} — изменение максимального давления; Δw — изменение объема камеры.

Увеличение объема камеры в соответствующее число раз уменьшает плотность заряжения.

Пример. Определить изменение скорости и давления при следующих условиях:

вес заряда $so = 3,25$ г; плотность заряжения $A = 0,813$; начальная скорость пули при данной плотности $v_0 = 870$ м/с; максимальное давление $P_{\text{max}} = 2800$ кг/см²

Плотность заряжения увеличили на 5%.

$$\Delta v_0 = -870 \cdot 0,05 = -43,5 \text{ м/с, или } 5,0 \%$$

$$\Delta P_{\text{max}} = 2800 \cdot 0,05 = 140 \text{ кг/см}^2, \text{ или } 5,0 \%$$

Из примера видно, что увеличение начальной скорости пули при возрастании плотности заряжения происходит значительно медленнее, чем приращение максимального давления.

Влияние веса заряда

Влияние изменения веса заряда в небольших пределах в неизменном объеме гильзы на приращение начальной скорости пули и максимального

давления определяется по следующим эмпирическим формулам

$$\Delta v_0 = \frac{3}{4} \frac{\Delta w}{w} v_0$$

$$\Delta P_{\text{max}} = \frac{1}{4} \frac{\Delta w}{w} P_{\text{max}}$$

Если при изменении веса заряда плотность заряжения остается неизменной, то формулы другие

$$\Delta v_0 = \frac{1}{2} \frac{\Delta w}{w} v_0$$

Как видим, изменение веса заряда сказывается в большей степени на изменении величины максимального давления, чем на изменении начальной скорости.

Влияние веса пули

Изменение веса пули оказывает своеобразное воздействие на изменение начальной скорости и максимальное давление пороховых газов. Эти изменения резко противоположны. Если при увеличении веса пули начальная скорость пули уменьшается, то максимальное давление увеличивается.

С точки зрения механики увеличение массы тела (пули) при одном и том же воздействии (давлении на дно пули) ведет к уменьшению ускорения, так как сила равна произведению массы тела на приобретаемое под действием этой силы ускорения. Однако изменение ускорения приводит к уменьшению скорости, а следовательно, к меньшему расширению пороховых газов за пулей, чем в случае легкой пули.

Для этого случая существуют следующие формулы

$$\Delta v_0 = -\frac{1}{2} \frac{\Delta w}{w} v_0$$

где q — вес пули.

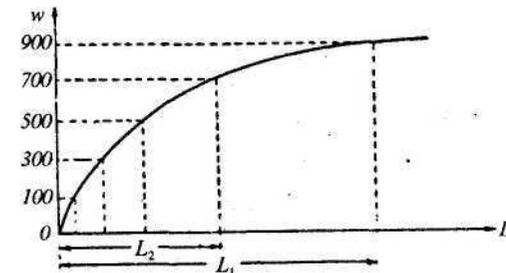
Зависимость начальной скорости пули от длины ствола

По мере прохождения пули по нарезной части канала ствола ее скорость все время быстро растет, достигая к моменту вылета из канала ствола величины начальной скорости.

Начальная скорость пули при прочих равных условиях зависит от длины нарезной части ствола. Скорость пули будет увеличиваться с удлинением ствола до тех пор, пока не сравняются сопротивление движению пули и давление газов на дно пули.

На практике ствол выбирают значительно меньше этого предела, так как в противном случае ствол получился бы очень громоздким.

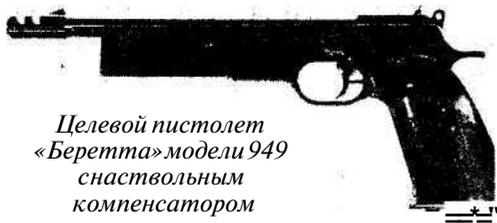
Длина нарезной части ствола определяется величиной выбранной начальной скорости пули и условиями кучности боя.



Кривая скорости движения пули

Имея кривую скорости движения пули в канале ствола, можно определить длину нарезной части ствола, соответствующую заданной начальной скорости пули. Для этого из точки, отвечающей заданной скорости, проводим линию до пересечения с кривой скорости, из точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с осью x . Измерив отрезок от 0 до вертикальной линии, получим в соответствующем масштабе искомую длину нарезной части ствола.

Например, для $v_0 = 900$ м/с будет соответствовать L_1 , а для $v_0 = 700$ м/с длина L_2 .



Целевой пистолет «Беретта» модели 949 снайповым компенсатором



Спортивный пистолет МЦ-3 («рама Шептарского») с опущенным стволом

Отдача оружия

Отдача оружия — это движение оружия назад под воздействием пороховых газов на дно гильзы.

Отдача ставит проблемы и перед конструктором и перед стрелком.

Одна из них заключается в нанесении физических ударов стрелку, что оказывает влияние на его утомляемость. Особенно была ощутима отдача у винтовки обр. 1891/30 г., которая имела мощный патрон, — чем мощнее патрон, тем сильнее отдача.

Другая в том, что если ствол имеет превышение над задней опорой оружия (будь то рука стрелка или его плечо), то возникает подбрасывание ствола вверх, изменяя тем самым положение ствола во время выстрела.

Отклонение ствола вверх при отда-

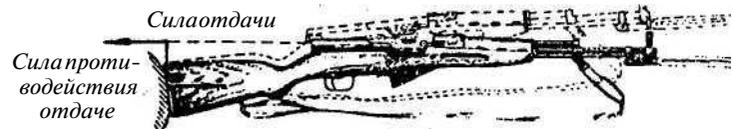
че происходит потому, что сила отдачи и равная ей сила противодействия отдачи (упор приклада, рукоятки) действуют не на одной прямой, а образуют пару сил, которая заставляет отклоняться дульную часть кверху.

Величина отклонения тем больше, чем больше расстояние между осью канала ствола и местом упора.

Чем неудобен подброс? Он отводит ствол от цели. На его возвращение на линию огня и повторное прицеливание уходит время, а его так мало при огневом контакте с противником.

С подбросом оружия борются либо постановкой различных компенсаторов, либо опусканием ствола на такой урочень, чтобы ось канала ствола была продолжением руки стрелка.

Конструкторы придумали, как часть энергии отдачи использовать в автоматическом оружии для работы автоматики.



Сила отдачи
Сила противодействия отдаче

Подбрасывание дульной части ствола вверх при выстреле в результате действия отдачи

Для неавтоматического оружия скорость отдачи и энергию отдачи оружия можно определять по формулам

$$v = \frac{m_0 \cdot v_0}{M} \cdot \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2$$

где q — вес пули; v_0 — начальная скорость пули; m_0 — вес заряда пороха; g — ускорение свободного падения тела; Q — вес оружия.

Для учета влияния последействия газов на величину отдачи оружия вводится коэффициент последействия газов P

$$2g-Q$$

Для определения величины P имеет- ся целый ряд эмпирических формул

$$\frac{1275}{v_0}$$

Для начальных скоростей от 600 и выше

$$P = 1300$$

$$2g-Q$$

$$\cdot 870^2 = 1,080 \text{ кгм};$$

$$2 \cdot 9,81 \cdot 4,5$$

$$2gQ$$

$$\frac{(0,0096 + 1,4940 \cdot 0,00325)^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 4,5} \cdot 870 = 1,8 \text{ кгм}.$$

Последний результат значительно ближе к действительности.

Пример. Определить энергию отдачи для винтовки 1891ШО г. при условии:

вес пули $q = 9,6$ г; начальная скорость пули $v_0 = 870$ м/с; вес винтовки $Q = 4,5$ кг; ускорение силы тяжести $g = 9,81$ м/с².

Найдем коэффициент последействия газов P

$$P = 1,494$$

Энергию отдачи определим по упрощенной формуле и с учетом коэффициента последействия P

2. ВНЕШНЯЯ БАЛЛИСТИКА

Основные определения

Приступая к изложению вопросов, относящихся к движению пули в воздухе, прежде всего установим необходимые определения.

Траектория — это путь, по которому движется центр тяжести пули. За начало траектории принимают центр

Внешняя баллистика основывается на законах механики, тесно связана с аэродинамикой, гравиметрией и теорией фигуры Земли.

Баллистический расчет дает все основные данные о траектории и характеристиках движения пули, исходя из которых можно судить о необходимых параметрах для личного оружия.



Элементы траектории полета пули:

1 — мушка; 2 — точка вылета; α — угол возвышения; 3 — угол бросания; ω — угол прицеливания; ω_0 — угол места цели; χ — угол вылета; ϕ — угол падения; 5 — угол встречи; 3 — превышение траектории; 4 — линия возвышения; 5 — линия бросания; 6 — высота траектории; 7 — вершина траектории; 8 — цель; 9 — точка встречи; 10 — точка падения; 11 — точка прицеливания

дульного среза в момент вылета пули из канала ствола.

Точка вылета — пересечение оси канала ствола с дульной плоскостью.

Горизонт оружия — горизонтальная плоскость, проходящая через точку вылета.

Линия возвышения — это линия, являющаяся продолжением оси канала ствола.

Угол возвышения — угол между линией возвышения и горизонтом оружия.

Линия бросания — прямая, служащая продолжением оси канала ствола в момент вылета пули.

Угол бросания — угол между линией бросания и горизонтом оружия.

Угол вылета — угол между линией возвышения и линией бросания.

Точка падения — точка пересечения траектории с горизонтом оружия.

Вершина траектории — наивысшая точка траектории.

Высота траектории — расстояние от вершины траектории до горизонта оружия.

Восходящая ветвь траектории — часть траектории, которая заключена

между точкой вылета и вершиной траектории.

Нисходящая ветвь траектории — часть траектории, заключенная между вершиной траектории и точкой встречи.

Точка прицеливания — точку, в которую наводят прицельные приспособления.

Линия прицеливания — прямая, проходящая через глаз стрелка, мушку и точку прицеливания.

Угол места цели — угол между линией прицеливания и горизонтом оружия.

Точка встречи — точка пересечения траектории с поверхностью цели.

Угол встречи — угол между касательной к траектории и касательной к поверхности цели в точке встречи.

Прямой выстрел — выстрел, при котором траектория полета пули не поднимается над линией прицеливания выше цели на всем своем протяжении. Прямой выстрел позволяет использовать постоянный прицел. Именно в зоне прямого выстрела используется личное оружие.

Полет пули

Рассмотрим теперь, что происходит с пулей после того, как она покинет канал ствола.

На пулю, вылетевшую из канала ствола, действуют три силы:

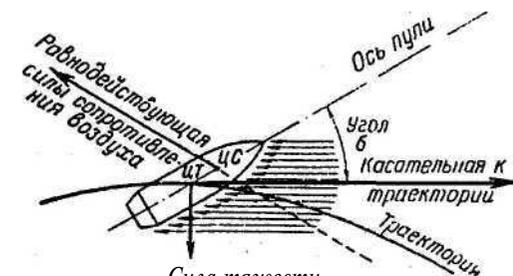
- сила инерции, полученная от порохового заряда, которая придала пуле определенную начальную скорость;
- сила земного притяжения, которая зависит от величины массы пули — силы тяжести пули;
- сила сопротивления воздуха.

Сила тяжести направлена вертикально вниз и постепенно снижает траекторию пули.

Воздушная среда оказывает сопротивление движению пули, отражающееся на ее скорости. Причины, вызывающие появление силы сопротивления:

- пуля при движении раздвигает частицы воздуха, следовательно, часть ее энергии расходуется на преодоление сил сцепления частиц воздуха;
- при движении пули часть ее энергии расходуется на приведение в движение частиц воздуха впереди головной части пули;
- частицы воздуха во время движения пули скользят по ее поверхности; при этом возникает сила трения, на преодоление которой тоже расходуется часть энергии пули;
- позади пули во время ее движения получается разреженное пространство, увеличивающее силу сопротивления воздуха.

Совокупность влияний на пулю перечисленных факторов составляет силу сопротивления воздуха, действующую на пулю во время полета.

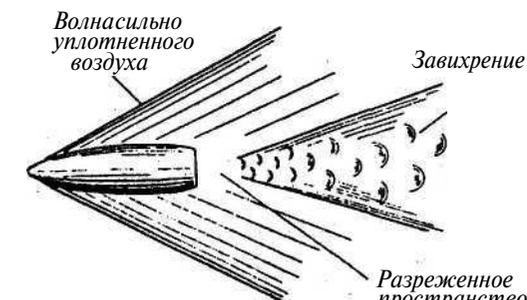


Действие силы сопротивления воздуха на полет пули:

ЦТ — центр тяжести пули;
ЦС — центр сопротивления воздуха

Для нас вызывает интерес второй фактор. При полете пуля сталкивается с частицами воздуха и заставляет их колебаться. Это вызывает уплотнение воздуха перед пулей и образование *звуковых волн*. Напомним, что скорость звука в сухом воздухе составляет 330 м/с. Если скорость пули меньше скорости звука, эти волны незначительно влияют на полет пули, но если она выше, то от набегания волн друг на друга создается *баллистическая волна* сильно уплотненного воздуха. Вот она-то значительно замедляет полет пули.

Сила сопротивления воздуха зависит от скорости полета пули; от ее формы; массы; калибра; поверхности; плотности воздуха.



Аэродинамические явления, сопровождающие полет пули в воздухе



Медленное коническое движение пули

Плоскость стрельбы

Деривация (вид траектории сверху)

j

От увеличения плотности воздуха, калибра пули и ее скорости сопротивление воздуха возрастает, а чем глаже поверхность пули, тем меньше сила трения и сила сопротивления воздуха.

Для нарезного оружия, имеющего сверхзвуковые скорости, у пули оптимальной формой является форма с удлиненной головной частью, а форма хвостовой части не имеет значения. При дозвуковой скорости целесообразно иметь удлиненную хвостовую часть, сужающуюся к концу.

Рассмотрим теперь, как ведет себя пуля при полете в воздушном пространстве. Введем два понятия — *равнодействующую всех сил*, образующих сил сопротивления воздуха, и точку ее приложения к пуле — *центр сопротивления*.

Если бы пуля двигалась все время головной частью вперед, то сила сопротивления была бы направлена по оси пули от головной ее части к хвостовой. Такой случай на практике будет, когда пуля выстрелена вертикально вверх.

Продолговатая невращающаяся пуля при вылете из канала ствола под дей-

ствием вылетающих вслед за ней газов, получив от них толчок, будет двигаться так, что ее ось несколько отклонится от направления движения (от касательной к траектории). В результате одна сторона окажется более подверженной силе сопротивления воздуха, чем другая. Так как центр сопротивления лежит впереди центра тяжести, то пуля будет опрокидываться. Чтобы избежать этого, ей придают вращение с помощью нарезов.

В этом случае происходит следующее. Сила сопротивления воздуха стремится повернуть пулю головной частью вверх и назад. Но головная часть пули в результате быстрого вращения отклонится не вверх, а весьма незначительно в сторону своего вращения под прямым углом к направлению действия силы сопротивления воздуха, т. е. вправо.

Как только головная часть пули отклонится вправо, изменится направление силы сопротивления воздуха — она стремится повернуть головную часть пули вправо и назад, но поворот головной части пули произойдет не вправо, а вниз и т. д.

Так как действие силы сопротивления воздуха непрерывно, а направление ее относительно пули меняется с каждым отклонением оси пули, то головная часть пули описывает окружность, а ее ось — конус вокруг касательной к траектории с вершиной в центре тяжести, и пуля летит головной частью вперед. В результате вращательного движения пули и действия на нее силы сопротивления воздуха и силы тяжести происходит отклонение пули от плоскости стрельбы в сторону ее вращения. Отклонение пули от плоскости стрельбы в сторону ее вращения называется *деривацией*.

Основные свойства траектории

Исследования траектории пули в воздухе показывают:

- восходящая ветвь траектории длиннее и отложе нисходящей ветви;
- угол падения больше угла бросания;
- скорость пули в точке падения меньше начальной;
- наименьшая скорость полета пули при стрельбе под большими углами бросания — на нисходящей ветви траектории, а при стрельбе под небольшими углами бросания — в точке падения;
- угол наибольшей дальности меньше 45° ;
- время движения пули по восходящей ветви меньше времени движения по нисходящей ветви траектории;
- траектория вращающейся пули под действием силы тяжести и деривации представляет собой линию двойной крутизны. В плоскости стрельбы имеет две ветви и первую крутизну, при виде сверху (в плане), в силу деривации — отлогую кривую, обращенную выпуклостью в сторону к плоскости стрельбы;
- при движении пули по восходящей ветви ускорение направлено в обратную сторону движения, а при движении по нисходящей ветви — в сторону движения, и величина его все время увеличивается.

Таблицы стрельбы

На основании законов внешней баллистики составляются таблицы стрельбы, позволяющие правильно установить

оружие для попадания пули в цель на различных дальностях.

Основными данными, входящими в таблицы стрельбы, являются: установка прицела и соответствующая этой установке — дальность, угол прицеливания, угол бросания, угол падения. В подробные таблицы стрельбы, кроме того, вносят время полета пули на данную дальность, скорость пули перед целью, отклонение пули по высоте, дальности и боковые, зависящие от атмосферных условий. Исчисленные на основе внешней баллистики таблицы стрельбы обычно проверяются опытными стрельбами.

Так для составления таблиц высот прицелов практическим путем производят стрельбу на нескольких дальностях, например через каждые 100 м. Результаты обрабатываются и вносятся соответствующие корректировки в таблицы.

Общие выводы

На основании баллистических данных было установлено:

- для одной и той же пули возрастание начальной скорости приводит к увеличению дальности полета, пробивного и убойного действия, а также к уменьшению влияния внешних условий на ее полет;
- величина начальной скорости зависит от длины ствола, веса пули и веса порохового заряда;
- чем длиннее ствол (до известных пределов), тем дольше действует на пулю пороховые газы и тем больше начальная скорость;
- при постоянной длине ствола начальная скорость тем больше, чем

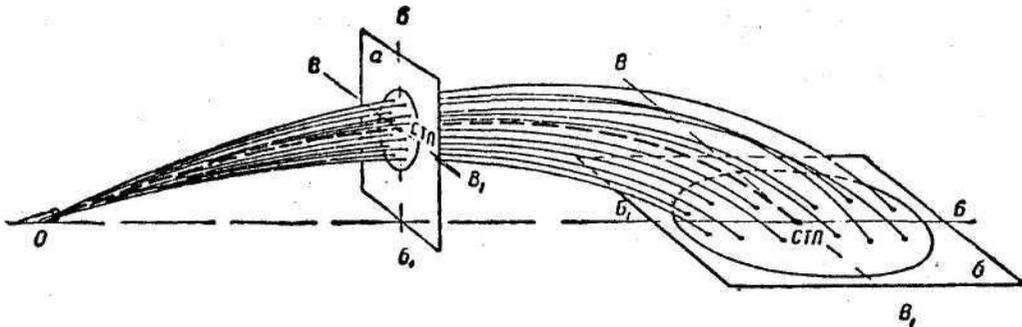
меньше вес, пули (при одном и том же весе заряда) или чем больше вес заряда (при одном и том же весе пули);

- на величину начальной скорости оказывает влияние изменение скорости горения пороха, чем больше скорость горения пороха тем быстрее возрастает давление пороховых газов и скорее движение пули по каналу ствола.

Рассеивание пуль при стрельбе

Рассмотрим явление, которое нельзя отнести к баллистике, но оно в какой-то степени связано с ней.

Если мы будем вести огонь по мишени, обеспечив точность и однообразие производства выстрелов, то обнаружим, что каждая пуля, пролетев по своей траектории, будет иметь свою пробойну. Более того, при очень большом числе выстрелов эти пробойны будут располагаться, подчиняясь какой-то закономерности, независимо от того, будем мы стрелять по вертикальной цели или по площади.



Сноп траекторий, площадь рассеивания, оси рассеивания:

а — на вертикальной плоскости; *б* — на горизонтальной плоскости; средняя траектория обозначена пунктирной линией; *СТП* — средняя точка попадания; *ВВ*, — горизонтальная (поперечная) ось рассеивания; *ББ*, — вертикальная (продольная) ось рассеивания

Явление разбрасывания пуль при стрельбе из одного и того же оружия в одинаковых условиях называется *естественным рассеиванием пуль*, или *рассеиванием траекторий*.

Расшифруем некоторую терминологию, которой пользуются в оружейной литературе, в тире и т. п.

Сноп траекторий — это совокупность траекторий пуль, полученных вследствие их естественного рассеивания.

Особенность этих траекторий заключается в том, что по мере удаления от точки вылета они все больше расходятся, но при этом могут пересекаться друг с другом.

Средняя траектория — траектория, которая проходит в середине снопа траекторий.

Средняя точка попадания, или центр рассеивания, — это точка пересечения средней траектории с поверхностью цели (преграды).

Площадь рассеивания — площадь, на которой располагаются точки встречи (пробойны) пуль, полученные при пересечении снопа траекторий с какой-нибудь ПЛОСКОСТЬЮ.

Как показывают исследования, площадь рассеивания имеет форму эллипса на горизонтальной плоскости и круга на вертикальной.

Оси рассеивания — это взаимно перпендикулярные линии, проведенные через центр рассеивания (среднюю точку попадания).

Отклонение — это расстояние от точки встречи (пробойны) до осей рассеивания.

Причины, вызывающие рассеивание пуль, могут быть сведены в три группы.

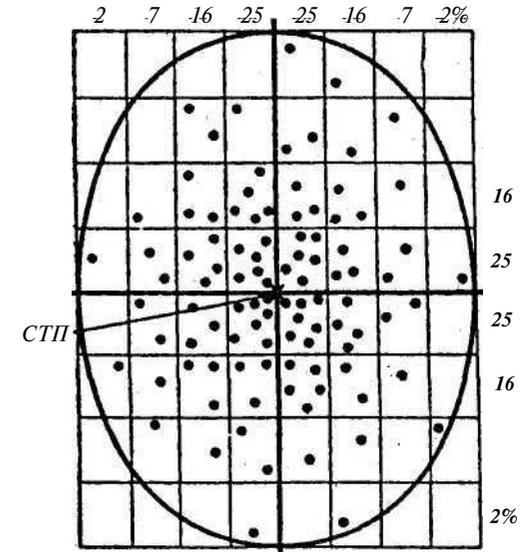
Первая группа — это причины, вызывающие разнообразие начальных скоростей:

- разнообразие в весе боевых зарядов и пуль, в форме и размерах пуль и гильз, в качестве пороха и т. д. как результат неточностей (допусков) при их изготовлении;
- разнообразие температур зарядов, зависящее от температур воздуха и неодинакового времени нахождения патрона в нагретом при стрельбе стволе;
- разнообразие в степени нагрева и в качественном состоянии ствола.

Совокупность этих причин вызывает колебание начальных скоростей, а следовательно, и дальностей полета пуль, т. е. приводят к рассеиванию по дальности и зависят в основном от боеприпасов.

Вторая группа — причины, вызывающие разнообразие углов бросания и направления стрельбы:

- разнообразие в горизонтальной и вертикальной наводке оружия (ошибки в прицеливании);
- разнообразие углов вылета и боковых смещений оружия, получаемых



Закономерность рассеивания

в неоднородной изготовке и использовании упоров, неплавного спуска курка;

- угловые колебания ствола автоматического оружия, возникающие вследствие движения и ударов подвижных частей;
- разнообразие в удержании автоматического оружия, особенно ручного во время стрельбы.

Эти причины связаны с подготовкой стрелка и приводят как к боковому рассеиванию, так и к рассеиванию по дальности. Они оказывают наибольшее влияние на рассеивание.

Третья группа — это причины, вызывающие разнообразие условий полета пули:

- разнообразие в атмосферных условиях, особенно в направлении и скорости ветра;
- разнообразие в весе, форме и размерах пуль, приводящее к колебаниям?

силы сопротивления воздуха, а отсюда — и дальности полета пули.

Все эти причины зависят в основном от внешних условий стрельбы и от боеприпасов. Они приводят к увеличению рассеивания по дальности и по боковому направлению.

Рассеивание пуль подчиняется нормальному закону случайных ошибок. В отношении к рассеиванию пуль его называют *законом рассеивания*, и он гласит:

при достаточно большом числе выстрелов, произведенных в возможно одинаковых условиях, рассеивание пуль неравномерно, симметрично и небеспрельдельно.

На рисунке это отчетливо видно. Точки встречи располагаются гуще к центру рассеивания и реже к краям площади рассеивания, т. е. неравномерно. Число точек встречи по обе стороны от осей рассеивания, заключающихся в равных по абсолютной величине пределах (полосах), одинаково, и каждому отклонению от центра рассеивания в одну сторону отвечает такое же по величине отклонение в противоположную сторону, т. е. симметрично. И, наконец, точки занимают ограниченную площадь, т. е. небеспрельдельно.

В заключение дадим несколько определений, связанных с баллистикой и рассеиванием пуль.

Точность стрельбы характеризуется степенью совмещения эллипса рассеивания пуль с целью. Она зависит как от объективного фактора — свойств оружейного комплекса, т. е. оружия и боеприпасов, так и от субъективного, самого стреляющего.

Кучность стрельбы представляет собой свойства оружейного комплекса

группировать точки попадания на малой площади. Это объективный фактор, не зависящий от стрелка.

Исследования внешней баллистики показали — пули у цели располагаются по эллипсу, вытянутому вдоль траектории полета. На его характеристики влияют:

- колебания начальной скорости пули;
- колебания в весе пули;
- ветер.

Отклонение траектории по высоте в зависимости от изменения начальной скорости полета пули можно определить по формуле

$$dy = j \cdot F(v_0) \cdot I \cdot \cos \theta_c \cdot \cos \alpha - v_l / v_0$$

где F — баллистический коэффициент, зависящий от веса пули; θ_c — ; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Подсчеты позволили сделать вывод: чем больше настильность траектории на данной дистанции, тем меньше влияют колебания начальной скорости пули на рассеивание траектории.

Влияние изменения веса пули на рассеивание траектории определяется из зависимости

$$\langle \text{и}, (8_r - \phi) A_c \rangle \\ \cos \alpha \cos \beta, c$$

где c — баллистический коэффициент, зависящий от веса пули.

Подсчеты по этой формуле показывают, чем настильнее траектория, тем меньше Dy . С изменением веса пули изменяется всегда и начальная скорость пули.

Отсюда можно сделать заключение, чтобы было меньше влияние колебаний веса пули и ее начальной ско-

рости, необходимо стремиться к таким баллистическим данным, которые приводили бы к наиболее настильной траектории.

Ветер влияет как на дальность полета, так и на боковое отклонение пули. Оно наиболее существенно сказывается при стрельбе из оружия малого калибра, изменение дальности определяется по формуле

$$Ax = y_l (T - x) \cdot v_0 \cos(\alpha \pm \beta)$$

рассчитываем боковое отклонение

$$Z = c_0 \sin(T - \alpha) \cdot v_0 \cos(\beta)$$

где v — скорость ветра; c_0 — угол, составленный направлением ветра с плоскостью стрельбы; T — время полета; x — дистанция.

Решающее значение имеет T — время полета.

Расположение центра тяжести относительно оси канала ствола влияет на отклонение ствола от приданного ему положения.