

О ВЛИЯНИИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СТВОЛА ОРУЖИЯ НА НАЧАЛЬНУЮ СКОРОСТЬ ПУЛИ

А.И. Биленко

(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

В статье исследован вопрос о влиянии нагрева стволов оружия на начальную скорость пули. Найдена регрессионная зависимость между средней температурой ствола и начальной скоростью пули на примере конкретного образца оружия. Предложен способ расчета средней температуры ствола при его нагреве от стрельбы.

Для успешного выполнения боевой задачи воинские подразделения должны быть оснащены образцами вооружения, которые соответствуют необходимым тактико - техническим требованиям.

Для оружия важнейшим боевым свойством является меткость стрельбы. Значительное влияние на меткость стрельбы оказывает одинаковость начальных скоростей пуль. При увеличении или уменьшении начальной скорости пули средняя точка попадания будет смещаться относительно контрольной точки соответственно вверх или вниз. Поэтому одним из требований к стволам оружия является обеспечение заданной начальной скорости пули [1].

Непрерывное совершенствование стрелкового оружия сопровождается повышением начальной скорости пули, максимального давления пороховых газов, повышением темпа стрельбы, что ведет к интенсивному разогреву стенок ствола во время стрельбы.

Нагрев стволов оказывает отрицательное влияние на результаты стрельбы, вызывая падения начальной скорости пули, ухудшая кучность и точность стрельбы, утрудняя экстракцию гильз.

Падение дальности стрельбы определяется по изменению начальной скорости пули, которое отвечает величине “сползания” траектории [2]. Так, по данным профессора А.А. Благодравова [3] снижение начальной скорости пули на 2 % для легкой винтовочной пули калибра 7,62 мм влечет за собой смещение точки попадания на 9,5 см на расстоянии 500 м и 8,6 м на расстоянии 2500 м.

Вследствие нагрева ствола изменяются условия ведения пули по наредам, увеличивается зазор между стенками ствола и ведущими частями пули. Так при нагреве ствола до 400 °С зазор между центрующим углощением снаряда и вершинами полей нарезов может возрасти больше чем в два раза. Опытными данными установлено, что при нагреве ствола в дульной части до 300 – 400 °С кучность стрельбы падает в два-три раза [2].

Такие выдающиеся ученые, как А.А. Благодоров, М.Е. Серебряков, Э.К. Ларман, Б.В. Орлов, отмечали в своих работах, что одним из существенных факторов, влияющих на начальную скорость пули, является нагрев ствола. Однако в существующей на данный момент литературе не описаны аналитические или эмпирические зависимости начальной скорости пули от температуры ствола.

Для исследования влияния теплового состояния ствола на начальную скорость пули были проведены экспериментальные исследования, в результате которых получена регрессионная модель, описывающая зависимость начальной скорости пули от средней температуры ствола.

Так, например, для пулемета Калашникова модернизированного уравнение регрессии V на T имеет вид

$$V(T) = 851,93 + 0,01 \cdot T - 9,33 \cdot 10^{-5} \cdot T^2, \quad (1)$$

где V [м/с] - начальная скорость пули; T [K] - средняя температура ствола.

На рис. 1 указанная зависимость отображена графически.

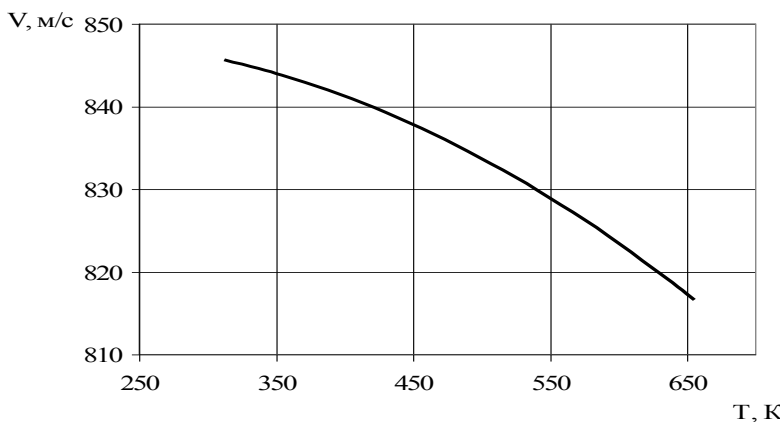


Рис. 1. Зависимость начальной скорости пули от средней температуры ствола для 7,62 мм пулемета ПКМ

Уравнение (1) позволяет прогнозировать падение начальной скорости пули в результате нагрева ствола от стрельбы и, следовательно, снижение траектории пули и смещение средней точки попадания относительно контрольной точки цели.

Нагрев ствола от стрельбы может быть рассчитан численно или аналитически. Вариант расчета теплового состояния ствола оружия приведен в статье [4]. В указанном источнике при создании модели нагрева ствола было сделано допущение, о незначительности охлаждения ствола в промежутки времени между очередями. Кроме того, не было учтено перераспределение температуры по толщине стенок ствола в промежутки времени между выстрелами, а это, как показали расчеты, в значи-

тельной мере влияет на соответствие модели реальному процессу. Предлагается модель, учитывающая эти недостатки.

Задача о нагреве гладкого цилиндрического ствола пороховыми газами описывается уравнением

$$\frac{\partial T(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T(\mathbf{r}, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(\mathbf{r}, \tau)}{\partial r} \right). \quad (2)$$

При решении этого уравнения применительно к стволу стрелкового оружия граничные условия обычно записываются в следующем виде [5]:

$$\lambda \frac{\partial T(\mathbf{r}_1, \tau)}{\partial r} = \alpha_{\Gamma} (T_1 - T_{\Gamma}); \quad \lambda \frac{\partial T(\mathbf{r}_2, \tau)}{\partial r} = -\alpha_{\mathbf{B}} (T_2 - T_{\mathbf{B}}). \quad (3)$$

на внутренней и наружной поверхностях ствола соответственно.

Начальные условия при равномерном распределении температуры по толщине стенок ствола имеют вид

$$T(\mathbf{r}, 0) = T_0, \quad (4)$$

где r_1 [м] – радиус канала ствола; r_2 [м] – наружный радиус ствола; τ [с] – время теплового воздействия; a [м²/с] – коэффициент температуропроводности материала, из которого изготовлен ствол; λ [Вт/м·К] – коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлен ствол; α_{Γ} [Вт/м²·К] – коэффициент теплоотдачи пороховых газов; $\alpha_{\mathbf{B}}$ [Вт/м²·К] – коэффициент теплоотдачи воздуха; T [К] – температура в точке ствола, соответствующая окружности радиуса r ; T_1 [К] – температура на внутренней поверхности ствола; T_2 [К] – температура на наружной поверхности ствола; T_{Γ} [К] – температура пороховых газов; T_0 [К] – температура ствола до начала нагрева.

В результате решения уравнения (2) с краевыми условиями (3), (4) методом конечных разностей при помощи ЭВМ [5] получены таблицы и графики зависимости температуры в любой точке поперечного сечения ствола от координаты этой точки при различных условиях. К числу этих условий относятся: температуры пороховых газов и воздуха, коэффициенты теплоотдачи пороховых газов и воздуха, время воздействия пороховых газов на поверхность канала ствола, время между выстрелами в очереди и между очередями, наружный и внутренний радиусы ствола, а также плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлен ствол.

На рис. 2 отображено тепловое состояние сечения ствола 7,62 мм пулемета ПКМ после 1, 30, 60 и 90 выстрелов. Исходными данными были:

$$T_{\Gamma} = 2460 \text{ К}; \quad T_0 = 300 \text{ К}; \quad T_{\mathbf{B}} = 300 \text{ К}; \quad \lambda = 41,8 \text{ Вт/м}\cdot\text{К};$$

$$c = 500 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}; \quad \rho = 8000 \text{ кг/м}^3; \quad \alpha_{\Gamma} = 11400 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К} [2]; \quad \alpha_{\mathbf{B}} = 1000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}.$$

Толщина стенки ствола в рассматриваемом сечении равна 11,2 мм, но для наглядности на рисунке показан характер изменения температуры на глубину 0,8 мм. Кривая 1 соответствует нагреву ствола от одного выстрела

при $\tau = 1,37 \cdot 10^{-3}$ с. Темп стрельбы пулемета ПКМ равен шестистам выстрелам в минуту. Время между выстрелами τ_1 , когда ствол не подвержен тепловому воздействию пороховых газов, рассчитывается по формуле

$$\tau_1 = 60/n_T - \tau,$$

где n_T [выстр./мин.] – техническая скорострельность оружия; τ [с] – время теплового воздействия пороховых газов на стенку ствола.

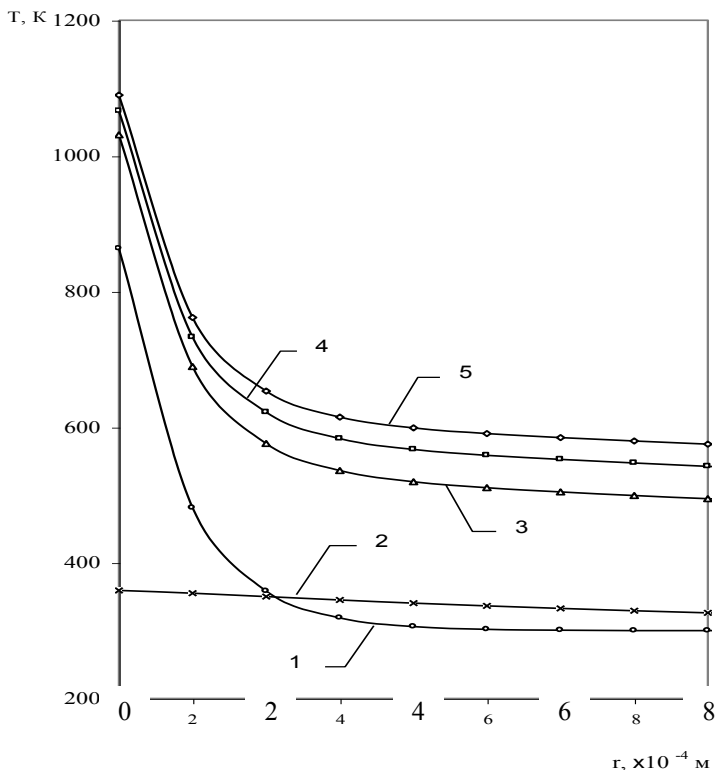


Рис. 2. Распределение температуры по толщине стенки ствола на глубину 0,8 мм для 7,62 мм пулемета ПКМ

В рассматриваемом случае τ_1 составляет $9,87 \cdot 10^{-2}$ с, что в 71,99 раза превышает τ . За это время в результате теплопроводности характер распределения температуры по толщине стенки ствола значительно изменится – кривая 2. Видно, что перепад температуры по толщине стенки стал невелик, температура внутренней поверхности ствола значительно снизилась. Следовательно, в момент следующего выстрела разница ($T_T - T_1$) будет больше, чем в случае расчета теплового состояния ствола без учета перераспределения температуры в период времени τ_1 [4], и ствол получит большее количество

ство тепла. Кривые 3, 4, и 5 на рис. 2 отображают тепловое состояние ствола 7,62 мм пулемета ПКМ после 30, 60 и 90 выстрелов соответственно.

Зная распределение температуры по толщине стенки, можно найти среднюю температуру в сечении, как сумму температур каждого i -го слоя, помноженных на свои массовые коэффициенты k_i :

$$T_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot k_i ,$$

где $T_{\text{ср}}$ [K] – средняя температура сечения; T_i [K] – температура i - го слоя; n – количество слоев; k_i – массовый коэффициент i - го слоя;

$$k_i = \frac{r_{i+1/2}^2 - r_{i-1/2}^2}{r_2^2 - r_1^2} ,$$

где $r_{i+1/2}$ [м] – внешний радиус i - го слоя; $r_{i-1/2}$ [м] – внутренний радиус i - го слоя; r_1 [м] – радиус канала ствола; r_2 [м] – наружный радиус ствола.

При проведении опытов с целью установления зависимости начальной скорости пули от температуры ствола были получены некоторые значения температуры ствола пулемета ПКМ после определенного количества выстрелов. Так, например, в одном из опытов после 120 выстрелов температура ствола составляла 476 К, после 240 выстрелов – 627 К.

При расчете средней температуры предложенным способом получены результаты: для 120 выстрелов – 457 К, для 240 выстрелов – 601 К, которые незначительно отличаются от экспериментальных.

Расчет средней температуры ствола по предложенной методике в сочетании с зависимостью (1) дает возможность прогнозировать падение начальной скорости пули от нагрева ствола при различных режимах стрельбы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голомбовский А.К. и др. *Теория и расчет автоматического оружия*. – Пенза: ПВАИУ, 1973. – 493 с.
2. Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. *Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий*. – М.: Машиностроение, 1976. – 431 с.
3. Благоднаров А.А. *Основы проектирования стрелкового оружия*. – М.: Оборонгиз, 1940. – 487 с.
4. Приходько И. М., Биленко А. И., Черниченко Ю. Н. *Расчет теплового состояния стволов автоматического стрелкового оружия // Интегровані технології та енергозбереження*. – 2000. – №3. – С. 43 - 48.
5. Приходько И.М., Шевченко А.Н., Максименко В.А. *Определение теплового состояния вставки в сопле двигателя*. – Х.: ХАИ, 1989. – 34 с.

Поступила 24.02.2002

БИЛЕНКО Александр Иванович, адъютант Военного института внутренних войск МВД Украины. В 1987 году окончил Харьковское высшее военное училище тыла МВД СССР. Область научных интересов – эксплуатация и ремонт стрелкового оружия.