

УДК 623.522

О.Б. Анипко¹, О.Д. Черкашин¹, Д.С. Баулин¹, П.Д. Гончаренко²¹ Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков² Академия ВМС Украины им. П.С. Нахимова, Севастополь

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА СТВОЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ, ВЫЗВАННЫХ ГЕРОНТОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ЗАРЯДА

В статье проводится анализ соотношений для определения ресурса ствола. Предложено соотношение расчета живучести ствола, связывающее рост максимального давления и падения начальной скорости.

Ключевые слова: послегарантийные сроки хранения, живучесть ствола, геронтологические свойства заряда.

Введение

В Украине на складах боеприпасов хранится большое количество боеприпасов, которые были произведены в период существования СССР. Наиболее свежими являются партии боеприпасов, произведенные в период 1988 – 1991 годов. Этим партиям боеприпасов в настоящий момент более 20 лет. Однако есть огромное количество боеприпасов, которые были выпущены более 30 – 40 и даже 50 лет. В связи с этим практически важным представляется изучение влияния изменившихся свойств боеприпасов длительных сроков хранения на живучесть стволов артиллерийского вооружения, находящегося на вооружении всех видов ВС Украины.

Длительное хранение боеприпасов приводит к изменению физико-химических характеристик порохов [3]. Поэтому возникает необходимость проведения анализа соотношений для определения ресурса ствола при изменении показателей внутренней баллистики, вызванных геронтологическими свойствами заряда.

Основной раздел

Известен ряд зависимостей полуэмпирического характера. Так, Юстров [9] предлагает пользоваться формулой

$$N_e = \frac{xy}{d^2} \cdot \frac{C_q}{\lambda} \cdot \frac{\sigma \varepsilon}{\mu k_1}, \quad (1)$$

где $x = f_1(p_{\max}, R, k, Q_{\text{ж}})$; $y = f_2(d, n)$; n – темпы стрельбы; $\lambda = L_2 / d$, L_c – длина ствола; σ – временное сопротивление материала ствола; ε – относительная тангенциальная деформация стеной ствола; μ – коэффициент трения ведущего пояса о стенки ствола; k_1 – временное сопротивление сжатия материала ведущего пояса; C_q имеет размерность $\text{гс}/\text{см}^3$, d – см. живучесть ствола, N определяется падением начальной скорости снаряда V_0 на 10%.

Соотношение Линте учитывает темп стрельбы и начальную скорость. Линте [12] получил зависимость для оценки живучести по критерию падения V_0 в следующем виде:

$$N = 350 \cdot \frac{n_0}{n} \cdot \frac{d^2 \sigma_B}{\sigma_e W}, \quad (2)$$

где n_0, n – темп стрельбы регламентированный и действительный соответственно; σ_B, σ_e – временное сопротивление и категория прочности материала соответственно; $\text{кгс}/\text{см}^2$; d – калибр, см;

$$W = \frac{qV_0}{2g} \quad \text{кгс с.}$$

В исходном виде соотношение Габо вообще не учитывает ни начальную скорость, ни максимальное давление в канале ствола.

Габо [11] дал свое толкование «материального износа орудий», близкое к гипотезе Шарбонье, и получил формулу

$$N = N_0 e^{-\beta t}, \quad \beta = \frac{k(1-\lambda)}{\theta}, \quad (3)$$

где N_0 и λ – коэффициенты, зависящие от свойств металла, сорта пороха и условий заряжания; k – постоянный коэффициент; θ – температура перехода металла в вязкое состояние; t – температура поверхности канала ствола.

Приведенные соотношения (1), (2), (3) имеют полуэмпирический характер. В этих соотношениях не присутствует в явном виде начальная скорость и максимальное давление в канале ствола.

Вызывает интерес соотношение Габо-Слухотского, которое учитывает дульную скорость. В.Е. Слухотский [7], опираясь на гипотезу Шарбонье [10] об износе каналов орудий большого могущества за счет вихреобразования и механического воздействия вихрей на поверхность металла, развил формулу Габо. В окончательной редакции формула В.Е. Слухотского имеет вид

$$N = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot q \frac{d_{в.ч.}^2 - d^2}{0,0022p_0 \frac{d}{\varepsilon} 10^{-3} + 0,002t_1} \times \frac{\lambda_d + 1}{\omega V_d^2 \left[\lambda_d \left(\frac{V_1}{V_d} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_d} \right)^2 \right]}, \quad (4)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, зависящие от калибра, орудия, крутизны и глубины нарезков; $\lambda_d = l_d / l_0$ – относительный путь снаряда в канале ствола; q – ударная вязкость металла ствола, кгс/см²; $d_{в.ч.}$ – наибольший диаметр ведущего пояска снаряда, мм; ε – толщина поверхностного слоя металла ствола, мм; t_1 – температура горения пороха, °С; V_1, V_2 – средние скорости газов в горловине камеры за время движения снаряда по каналу ствола и период последействия, соответственно, м/с; p_0 – давление форсирования, кг/см².

В этой зависимости рекомендуется принимать $k_2 = k_3 = 1$, $(d/\varepsilon) \cdot 10^{-3} = 1,28$ для артиллерийских орудий и 1,4 для стрелкового вооружения. Значения k_1 и V_1/V_d определяются по таблицам, приведенным в работе [7] в зависимости от $\lambda_d, \chi_n = l_0 / l_n$, где $\lambda_n = l_{км} + 0,75d, l_{км}$ – длина и приведенная длина камеры.

При расчетах следует полагать $\left(\frac{V_1}{V_d} \right)^2 \ll \lambda_d \left(\frac{V_1}{V_d} \right)^2$ и $\left(\frac{V_2}{V_d} \right)^2 = 0$.

Как известно [3, 8], в процессе хранения меняются свойства порохов. При выстреле это приводит к изменению максимального давления и начальной скорости.

Известно, что при применении кондиционных порохов повышение максимального давления приводит к возрастанию начальной скорости. Однако для боеприпасов послегарантийных сроков хранения, как установлено [1 – 4], наблюдается рост максимального давления в 1,1 – 1,2 раза, который сопровождается снижением начальной скорости, что объясняется потерей энергетической ценности пороха как топлива в результате длительного хранения.

Проведем анализ соотношений (1) – (4) с точки зрения их структуры и соответствия ее физическим представлениям о влиянии различных факторов на износ ствола.

Соотношение Юстрова (1) предполагает, что живучесть ствола прямо пропорционально максимальному давлению, что не вполне правильно потому, что чем выше максимальное давление в канале ствола (P_{max}), тем меньше его живучесть (идет разгар и другие сопутствующие явления).

В соотношении Линте (2) ресурс живучести прямо пропорционален квадрату калибра d^2 , что противоречит физическим представлениям, поскольку, чем больше калибр, тем меньше ресурс ствола, а в этом соотношении калибр d к тому же еще и возведен во вторую степень.

В соотношении Габо-Слухотского (4) изначально в структуру формулы заложено, что ресурс ствола пропорционален разности калибров, хотя как показывает опыт и результаты наблюдений [8], наоборот, живучесть ствола пропорциональна $1/d$, т.е., чем больше калибр d , тем меньше живучесть.

На основе обработки экспериментальных данных [2, 3] установлено соотношение между максимальным давлением и начальной скоростью для боеприпасов длительного хранения

$$\frac{P_{max}}{P_{max}^T} = 1,074 - 3,7 \cdot 10^{-3} \left(\left(\frac{V_0}{V_0^T} \right)^2 + \frac{V_0}{V_0^T} \right), \quad (5)$$

где P_{max}^T – максимальное табличное давление в канале ствола; P_{max} – максимальное давление в канале ствола; V_0 – начальная скорость; V_0^T – начальная скорость табличная.

График функции (5) приведен на рис. 1.

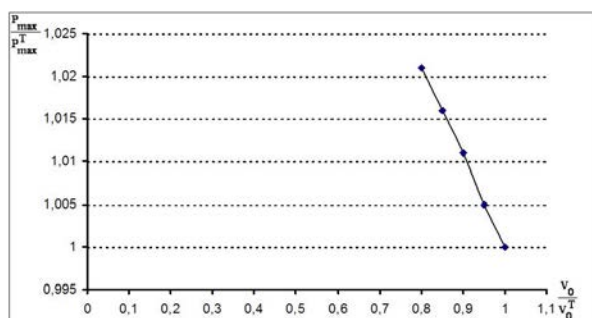


Рис. 1. График функции (5)

Представляет практический интерес проанализировать применимость приведенных соотношений (1) – (4) для оценки живучести ствола, с учетом (5), когда повышение P_{max} приводит к снижению V_0 .

Для анализа применимости такого подхода рассмотрим живучесть ствола по Орлову [6].

$$N = \frac{K_T}{C_q^x V_0^y d^z}, \quad (6)$$

где $K_T \approx 7 \cdot 10^{24}$ (для орудий среднего калибра), $K_T \approx 10^{24}$ (для стрелкового оружия); C_q^x – коэффициент веса снаряда; V_0^y – начальная скорость; d^z – калибр, мм.

На рис. 2 приведен график изменения живучести при повышении давления в канале ствола, полученный прямым использованием формулы Орлова (6).

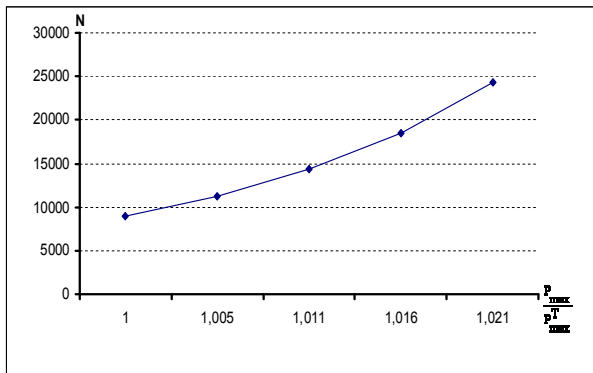


Рис. 2. График изменения живучести при повышении давления в канале ствола

Повышение P_{max} приводит к увеличению живучести канала ствола, что не соответствует физическим представлениям о процессе износа ствола и факторам, влияющим на него. В то же время, снижение начальной скорости (рис. 3) соответствует физическим представлениям износа ствола.

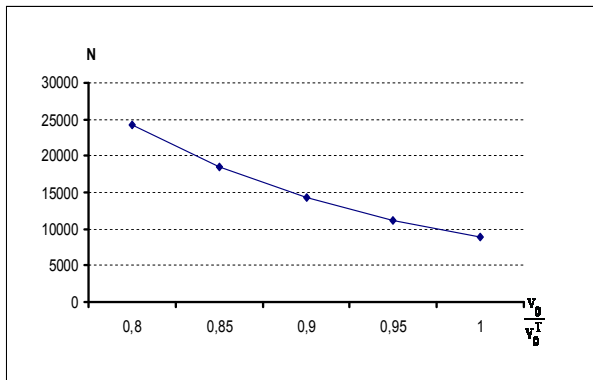


Рис. 3. График соотношения живучести и скорости (по Орлову)

Но противоречие заключается в том, что для боеприпасов длительных сроков хранения повышение давления P_{max} сопровождается падением начальной скорости V_0 .

Выражение (5) учитывает указанное противоречие, и поэтому использование соотношения Орлова для оценки живучести ствола при стрельбе боеприпасами послегарантийных сроков хранения возможно с учетом соотношения (5) (рис. 4).

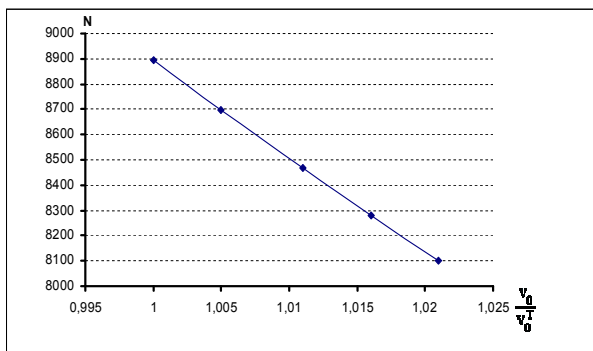


Рис. 4. График соотношения живучести и скорости (по Орлову) с учетом (5)

Выводы

Проведенный анализ показывает, что разработанные ранее и имеющиеся в публикациях формулы по оценке живучести (1) – (4) имеют ограниченное применение, а для боеприпасов послегарантийных сроков хранения вообще непригодны. Применение этих формул для указанной категории боеприпасов, где рост давления сопровождается падением начальной скорости, возможно, как было показано на примере формулы Орлова, но с применением соотношения (5), которое для этих боеприпасов связывает рост максимального давления и падения начальной скорости.

Список литературы

1. Анипко О.Б. Проблема живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения / О.Б. Анипко, А.О. Муленко, Д.С. Баулин, А.Д. Черкашин // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2010. – №3. – С. 80-83.
2. Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боеприпасів, які знаходяться за межами гарантійних термінів зберігання: навчально-методичний посібник [для вищ. навч. закл.] / О.Б. Аніпко, І.Ю. Бірюков, Д.С. Баулін, В.І. Воробійов. – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. 2008. – 112 с.
3. Анипко О.Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст]: монография / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусьяк, Д.С. Баулин, И.Ю. Бирюков. – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. – 2010. – 320 с.
4. Рекомендації щодо аналізу стану та бойового і навчально-бойового використання боеприпасів, термін експлуатації яких закінчився (більш 15 років) до стрілецької зброї та артилерійського озброєння [Текст]: звіт про НДР / Акад. внутрішніх військ МВС України; керівн. О.Б. Аніпко; викон.: Д.С. Баулін [та ін.]. – Х., 2007.
5. Орлов Б.В. Проектирование ракетных систем / Б.В. Орлов; под ред. В.Б. Орлова. – М.: Машиностроение, 1974.
6. Орлов Б.В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий / Б.В. Орлов, Э.К. Лорман, В.Г. Маликов. – М.: Машиностроение, 1976.
7. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика / М.Е. Серебряков. – М.: Оборонгиз, 1940.
8. Жуков И.И. Артиллерийское вооружение / И.И. Жуков. – М.: Машиностроение, 1974.
9. Justrow. Teortisch Betragungen uber die Lebensdauer unserer Geschutz. Minenwerferrohre Gever – und Pistolenloufe und uber deren Beziehung zur Geschossfuring. Veriag Offence Worte. Charlottenburg. 1923, 4.
10. Charbonner. La Vien Gazeuse. Memorial de L'Artillerie Francaise, 1922, t.1, f.4.
11. Gabeaud. Essai sur la Theoric des Resistenses passives dans la Bouche a Feu. Memorial de L'Artillerie Francaise, 1936, t. XXI, f. 2.
12. Linte. Essai d'une Theorie de l'Usure des Bouches a Feu. Memorial de L'Artillerie Francaise, 1935, t. XIV, f. 1.

Поступила в редколлегию 7.12.2010

Рецензент: д-р воен. наук, проф. Г.А. Дробаха, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.

**АНАЛИЗ СПІВВІДНОШЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ СТВОЛА ПРИ ЗМІНЕННІ ПОКАЗНИКІВ
ВНУТРІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ, ЩО СПРИЧИНЕНІ GERONTOLOGICHNIMI ВЛАСТИВОСТЯМИ ЗАРЯДУ**

О.Б. Аніпко, О.Д. Черкашин, Д.С. Баулін, П.Д. Гончаренко

У статті проведено аналіз співвідношень для визначення ресурсу ствола. Запропоновано співвідношення розрахунку живучості ствола, що зв'язує зростання максимального тиску та падіння початкової швидкості.

Ключові слова: післягарантійні строки зберігання, живучість ствола, геронтологічні властивості заряду.

**ANALYSIS OF CORRELATIONS FOR BARREL RESOURCE ESTIMATION UNDER THE CHANGES OF INDICIES
OF THE INTERIOR BALLISTICS, INDUCED BY THE GERONTOLOGIC PROPERTIES OF THE CHARGE**

O.B. Anipko, A.D. Cherkashyn, D.S. Baulin, P.D. Goncharenko

Analysis of correlations for barrel resource estimation is carried out in the article. The correlation of barrel tenacity binding maximum pressure increase and initial velocity decrease is proposed.

Keywords: out-of-warranty terms of storage, barrel tenacity, gerontologic properties of the charge.