

УДК: 623.442.424

DOI: 10.53816/23061456\_2021\_11-12\_157

**О ХАРАКТЕРИСТИКАХ МАТЕРИАЛОВ ГИЛЬЗ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
ПРИ РАСЧЕТАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ  
С ИНЕРЦИОННЫМ ЗАПИРАНИЕМ КАНАЛА СТВОЛА**

**ON THE CHARACTERISTICS OF THE CASE MATERIALS USED  
IN CALCULATING THE FUNCTIONING OF AUTOMATIC WEAPONS  
WITH INERTIAL LOCKING OF THE BARREL BORE**

*Канд. техн. наук Д.В. Чирков, канд. техн. наук В.Е. Останин,  
канд. техн. наук А.Н. Скворцов, Е.А. Федорова*

*Ph.D. D.V. Chirckov, Ph.D. V.E. Ostanin, Ph.D. A.N. Skvortsov, E.A. Fedorova*

*ИжГТУ им. М.Т. Калашникова*

В статье рассматривается вопрос о характеристиках материалов гильз, применяемых при проведении расчетов функционирования стрелкового оружия с отдачей свободного (полусвободного) затвора. Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод, что материал гильзы в процессе выстрела меняет свои свойства в сторону увеличения пластичности с одновременным снижением прочности. Изменение характеристик связано с процессом деформирования гильзы, сопровождающимся значительным нагревом, как конвективным, так и диссипативным. На основе проведения комплекса экспериментально-расчетных работ определены характеристики материала гильзы, позволяющие согласовать расчетные и экспериментальные данные.

**Ключевые слова:** стрелковое оружие, автоматика, свободный затвор, полусвободный затвор, патрон, гильза.

The article discusses the question of the characteristics of the shell materials used in the calculations of the functioning of small arms with the recoil of a free (semi-free) bolt. The experimental data obtained made it possible to conclude that the material of the liner in the process of firing changes its properties towards an increase in plasticity with a simultaneous decrease in strength. The change in characteristics is associated with the process of deformation of the sleeve, accompanied by significant heating, both convective and dissipative. On the basis of a complex of experimental and computational work, the characteristics of the liner material were determined, which made it possible to agree the computational and experimental data.

**Keywords:** small arms, automation, free breechblock, semi-free breechblock, cartridge, sleeve.

При проектировании оружия со свободным (полусвободным) затвором ключевым вопросом является определение оптимальной массы затвора из условия обеспечения прочности гильзы и необходимой энергии для надежной работы ав-

томатики оружия [1–3, 11–13]. Прочность гильзы определяется из условия отсутствия её поперечного разрыва, который может наблюдаться при заклинивании гильзы в патроннике под действием расширяющихся пороховых газов. Усло-

вие обеспечения прочности гильзы выражается неравенством

$$[X_{3[p]}] \leq [\Delta l] = \frac{3 \cdot [\sigma] \cdot m}{8 \cdot \psi}, \quad (1)$$

где  $[X_{3[p]}]$  — перемещение затвора к моменту достижения допустимого давления в канале ствола для извлечения гильзы, м;  $[\Delta l]$  — предельно допустимая деформация гильзы до разрыва, м;  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение материала гильзы, Па;  $m$  — длина защемления гильзы в патроннике, м;  $\psi$  — модуль пластичности материала гильзы, Па.

$$[M] = \frac{(\phi_1 \cdot q + \lambda_1 \cdot \omega) \cdot l_d + (\phi_1 \cdot q + \lambda_1 \cdot \omega) \cdot V_d \cdot t_{[p]} + I_{\text{ин}} \cdot \left( t_{[p]} + \frac{e^{-b(t_{[p]})}}{b} - \frac{1}{b} \right)}{\phi_3 \cdot X_{3[p]}}, \quad (3)$$

где  $\phi_1$  — составной коэффициент фиктивности массы пули, учитывающий работу по сопротивлению движению пули по каналу ствола;  $q$  — масса пули, кг;  $\lambda_1$  — первый коэффициент Пиобера;  $\omega$  — масса порохового заряда, кг;  $l_d$  — путь пули по каналу ствола, м;  $V_d$  — скорость пули в момент вылета из канала ствола, м/с;  $t_{[p]}$  — время периода последействия в котором достигается допустимое давление извлечения гильзы из патронника, с;  $I_{\text{ин}}$  — импульс силы давления пороховых газов на дно канала ствола за период последействия, Н·с;  $b$  — коэффициент профессора Бравина;  $\phi_3$  — коэффициент фиктивности массы свободного затвора.

Таким образом, допустимая масса свободного затвора из условия обеспечения прочности гильзы определяется параметрами внутренней и промежуточной баллистики оружия, геометрическими размерами гильзы применяемого патрона и характеристиками её материала. При этом характеристики материала гильзы оказывают превалирующее влияние на правильное назначение необходимой массы затвора, обеспечивающей прочность гильзы при выстреле.

В работе [4, с. 12] представлены некоторые характеристики материалов гильз для патронов стрелкового оружия (табл. 1).

На рис. 1 приведены опытные диаграммы напряженно-деформированного состояния материала гильз (сталь 18ЮА) патронов 5,45×39

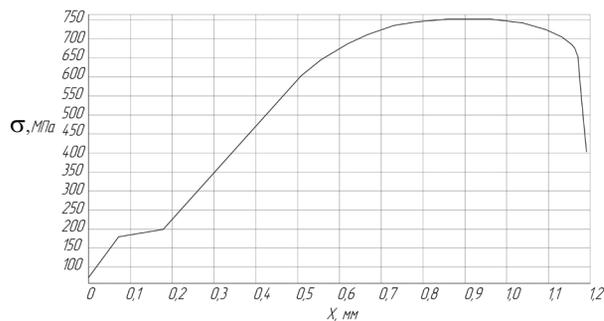
Допускаемое напряжение материала гильзы с учетом её одноразового использования:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n}, \quad (2)$$

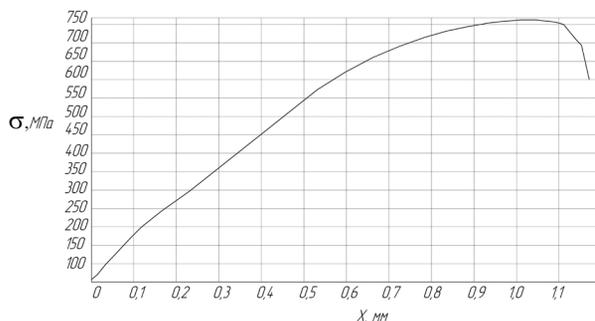
где  $\sigma_b$  — предел прочности материала гильзы, Па;  $n$  — запас прочности гильзы, 1,2...1,3.

Масса затвора из условия обеспечения прочности гильзы при допустимом давлении для извлечения гильзы из патронника в периоде последействия пороховых газов определяется согласно зависимости

(7Н6) и 7,62×39 (57-Н-233). Данные получены на основе растяжения пластинок, вырезанных из гильзы, шириной от 5 до 10 мм и длиной 30 мм при использовании машины для испытания конструкционных материалов УТС111.2-50,0-К.



а



б

Рис. 1. Опытные диаграммы напряженно-деформированного состояния материала гильз (сталь 18ЮА) патронов: а — 5,45×39 (7Н6); б — 7,62×39 (57-Н-233)

Характеристики материалов гильз в соответствии с работой [4]

Наименование материала гильзы	Предел упругости ( $\sigma_c$ ), МПа	Модуль упругости ( $E$ ), ГПа	Модуль упрочнения ( $D$ ), МПа
Биметалл	600	200	2500
Латунь Л-68	400	80	1050

Полученные экспериментальные данные хорошо соотносятся с данными табл. 1, но не соответствуют деформациям, полученным на основе экспериментальных работ, связанных с исследованием функционирования свободного затвора под промежуточные патроны 5,45×39 и 7,62×39. На рис. 2 представлены стенды отдачи свободного затвора для оружия под патроны 5,45×39 (масса затвора 0,480 кг) и 7,62×39 (масса затвора 0,9 кг). На рис. 3 представлены фотографии деформированных в процессе выстрела гильз.

Из представленных данных следует, что деформации дульца гильзы достигают практически 30 % от начальных размеров, что при исходных характеристиках материала гильз получить невозможно.

На основе программного комплекса «Ansys»[5] выполнены расчеты динамики движения свободного затвора для указанных стендов с учетом деформации гильзы. Коэффициент трения между гильзой и патронником принят 0,1. Расчетная схема представлена на рис. 4.

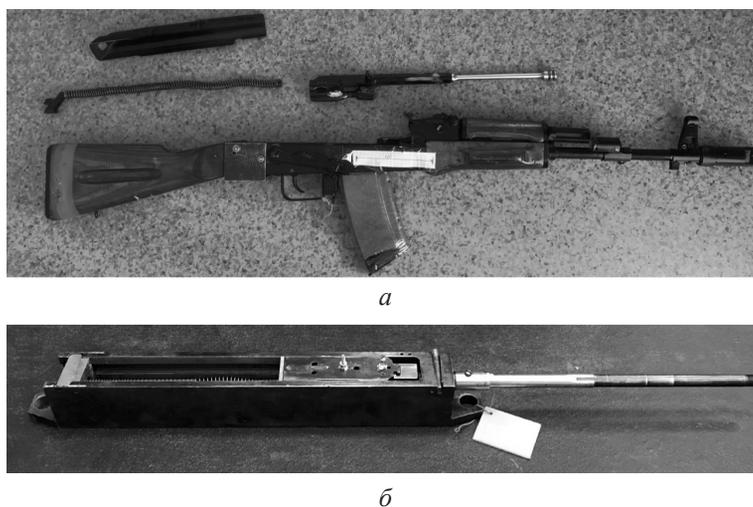


Рис. 2. Фотографии стендов отдачи свободного затвора под патроны:  
а — 5,45×39 (7Н6); б — 7,62×39 (57-Н-233)



Рис. 3. Фотографии гильз до и после выстрела в стендах отдачи свободного затвора:  
а — 5,45×39 (7Н6); б — 7,62×39 (57-Н-233)

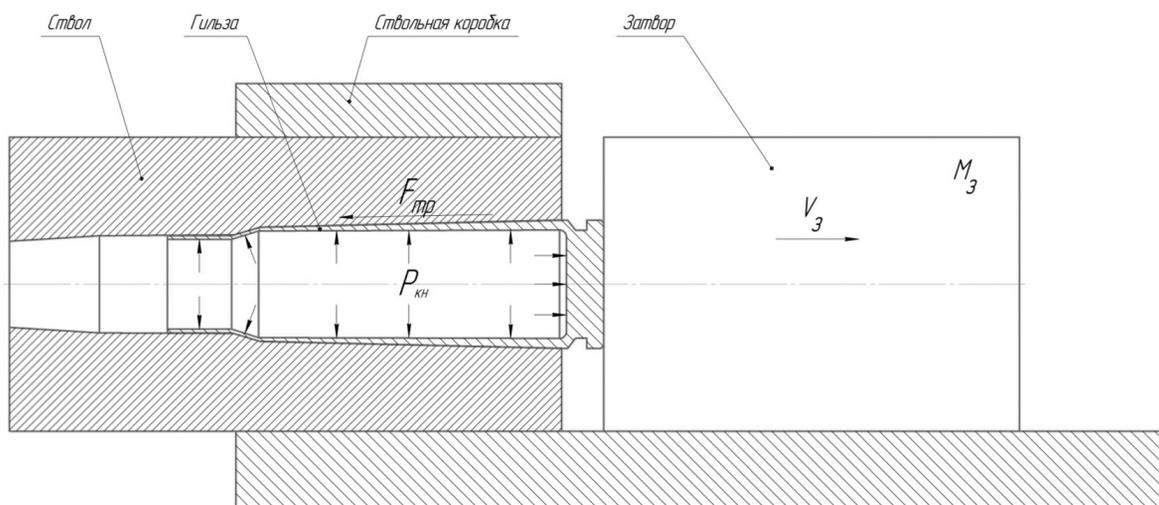


Рис. 4. Расчетная схема динамики движения свободного затвора с учетом деформации гильзы:  $P_{кн}$  — давление пороховых газов у дна канала ствола;  $M_з$  — масса затвора;  $V_з$  — скорость затвора;  $F_{тр}$  — сила трения между поверхностью гильзы и патронника

Давление пороховых газов у дна канала ствола определено на основе решения основной задачи внутренней баллистики с использованием классического термодинамического подхода [6]. На рис. 5 представлены расчетные зависимости давления у дна канала ствола по времени для рассматриваемых систем.

Расчетная модель подбора характеристик материала гильзы была согласована по величинам деформации гильз и скорости движения затвора в момент выхода дульца гильзы из патронника, что связано с отсутствием учета в расчетной модели прорыва пороховых газов в образующийся кольцевой зазор между гильзой и патронником [7]. Наилучшее согласование с опытами получено при характеристиках мате-

риалов гильз, соответствующих исходной стали 18ЮА [8]:  $\sigma_b = 350$  МПа,  $\sigma_t = 250$  МПа,  $\Psi = 1228$  МПа,  $\delta_s = 28,5\%$ . На рис. 6 представлены деформированные гильзы, полученные расчетным и экспериментальным путем.

Как следует из полученных данных, даже при исходных характеристиках гильзовой стали расчетные деформации гильзы несколько ниже экспериментальных при приемлемом совпадении скорости отката затвора к концу выстрела (табл. 2) для рассматриваемых систем.

Причиной падения прочностных свойств и повышения пластичности гильзы может являться её нагрев. Так в работе [9, с. 203] представлена зависимость характеристик материала гильзы от температуры отжига (рис. 7).

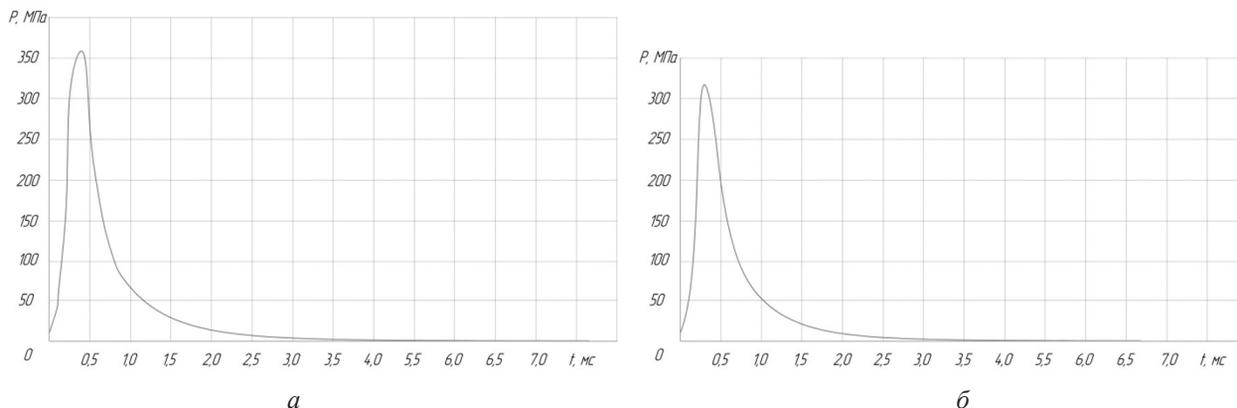


Рис. 5. Графики изменения по времени давления пороховых газов у дна канала ствола: а — для оружия под патрон 5,45×39; б — для оружия под патрон 7,62×39



Рис. 6. Теоретическая и экспериментальная деформация гильз для систем с отдачей свободного затвора в оружии под патроны 5,45×39 и 7,62×39

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения скорости отката свободного затвора к концу выстрела

Патрон	Масса затвора, кг	Экспериментальная скорость затвора при перемещении на 5 мм, м/с	Среднеквадратическое отклонение значений скоростей для группы экспериментов, м/с	Расчетная скорость затвора при перемещении на 5 мм, м/с
5,45×39	0,48	15,07	1,7	13,6
7,62×39	0,9	8,23	0,64	8,89

В соответствии с рис. 7 такое изменение характеристик материала гильзы может быть достигнуто при нагреве гильзы свыше 400 °С.

С целью определения нагрева гильзы в процессе выстрела была решена задача оценки нестационарного температурного поля стенки гильзы в одномерной постановке (в радиальном направлении) численным методом элементар-

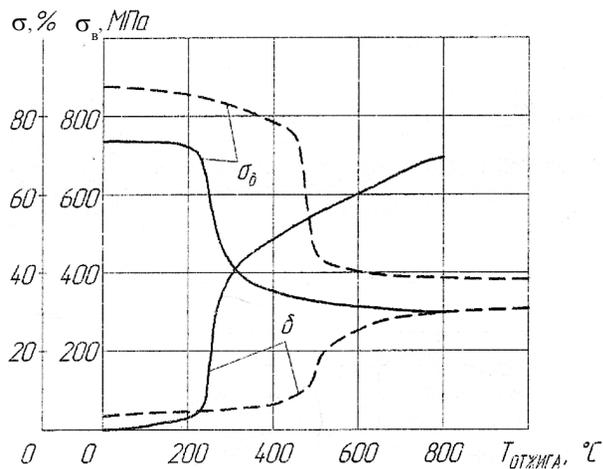


Рис. 7. Зависимость механических характеристик наклепанной латуни (—) и гильзовой стали (---) от температуры отжига

ных тепловых балансов [10, 14, 15]. При этом гильза со стволом в поперечном сечении была разбита по толщине на 10 концентрических слоев. Восемь слоев составляли сечение стенки гильзы. Девятым слоем моделировался воздушный зазор между гильзой и патронником. Десятый слой представлял собой стенку ствола.

При расчете распределения температуры по толщине гильзы толщина первых двух внутренних слоев гильзы составляла 0,02 мм. Остальные слои гильзы были равновелики.

Толщина зазора (9-й слой) принималась равной среднеинтегральному значению за выстрел в диапазоне изменения от величины, соответствующей допускам на изготовление гильзы и патронника, до величины, соответствующей суммарной высоте микронеровностей поверхности гильзы и патронника. При расчете среднеинтегрального значения толщины зазора ее изменение принималось пропорциональным изменению давления газов во времени. Зазор заполнялся пороховым газом. Начальная температура и плотность газа в зазоре принимались равными определенной доле от их среднеинтегральных значений за время выстрела. Эта доля (коэффициент согласования) была определена

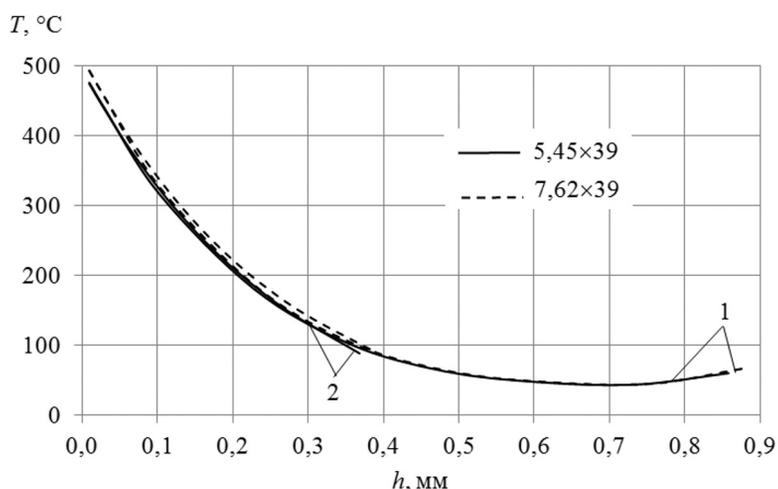


Рис. 8. Распределение максимальных температур по толщине стенки гильзы за 1 выстрел

Таблица 3

**Характеристики материалов гильз, принятые для проведения расчетов допустимой массы свободного затвора**

Вариант	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\Psi$ , МПа	$D$ , МПа	$\delta_s$ , %
1 (исходная гильзовая сталь)	250	350	1228,10	353,36	28,5
2 (исходная гильза)	620	720	18000,00	2631,58	4

путем согласования расчетных и экспериментальных значений температуры на наружной поверхности ствола в сечении патронника при стрельбе из винтовки СВД. Толщина 10-го слоя была равна толщине стенки ствола.

На рис. 8 представлены результаты расчета в виде зависимости распределения максимальной температуры  $T$  по толщине стенки  $h$  гильзы за 1 выстрел (5 мс) в сечениях у дна гильзы (кривая 1) и дульца гильзы (кривая 2).

Как следует из зависимостей на рис. 8, нагрев гильзы является неравномерным, что может приводить к различию характеристик материала гильзы в радиальном направлении. Кроме того, при оценке теплового состояния гильзы не учитывался её нагрев вследствие диссипации энергии при деформациях.

Таким образом, результаты экспериментальных работ, полученных при стрельбе из стенов свободной отдачи затвора, и результаты расчетов с применением современного расчетно-программного комплекса Ansys, позволяют сделать вывод, что при выстреле усредненные характеристики материалов гильз приближаются к ха-

рактеристикам исходной гильзовой стали. При этом в различных сечениях гильзы из-за неравномерности её нагрева характеристики материала могут значительно отличаться.

С целью демонстрации влияния применяемых характеристик гильзы при расчете систем с отдачей свободного (полусвободного) затвора, были произведены расчеты допустимой массы свободного затвора, исключаяющей поперечный обрыв гильзы. Расчеты проводились в соответствии с зависимостями (1)–(3) при использовании известных методологических подходов к расчету систем с инерционным запирающим [1, 2] для оружия под патроны 5,45x39 и 7,62x39. Расчеты выполнены с использованием характеристик материала исходной гильзы (табл. 1) и при значениях материала гильзы, согласованных с экспериментальными данными. Принятые для сравнительных расчетов характеристики материалов гильз представлены в табл. 3, а результаты расчетов — в табл. 4.

Таким образом, результаты расчетов, представленные в табл. 4, наглядно демонстрируют, что принимаемые характеристики материалов

Результаты расчета допустимой массы затвора для оружия под патроны 5,45×39 и 7,62×39 при использовании различных материалов гильз

Характеристики Патрон	Вариант характеристик материала гильзы	$[p]$ , МПа	$[\sigma]$ , МПа	$[\Delta l]$ , мм	$\phi_3$	$V_d$ , м/с	$l_d$ , мм	$I_{mm}$ , Н·с	$t_{[p]}$ , мс	$[M_3]$ , кг
5,45×39 (7Н6)	1	70,89	420	1,83	1,90	900	3,61	1,37	0,98	0,45
	2	181,29	864	0,31	1,90	900	3,61	1,37	0,98	2,67
7,62×39 (57-Н-233)	1	46,36	420	1,80	1,78	715	6,5	1,5	1,08	0,49
	2	116,7	864	0,30	1,78	715	6,5	1,5	1,08	2,90

Гильзы являются ключевыми для правильного назначения параметров автоматики, обеспечивающих надежную работу оружия. Проведенные исследования показали, что в процессе выстрела характеристики материала гильзы изменяются до значений близких к исходным характеристикам гильзовой стали. Представленные результаты расчета допустимой массы затвора, обеспечивающей отсутствие поперечного обрыва гильзы, при характеристиках материала гильзы соответствующих исходной гильзовой стали хорошо согласуются с экспериментальными данными для систем под соответствующие типы патронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в рамках проекта ЧДВ-78-20.

### Литература

- Алферов В.М. Конструкция и расчет автоматического оружия. — М.: Машиностроение. 1977. 248 с.
- Алексеев С.А. Проектирование автоматического оружия с инерционным запираем каналом ствола: учебное пособие. — Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2007. 120 с.
- Галаган Л.А. Методы учета силы сопротивления гильзы при извлечении из патронника // Вестник ИжГТУ. 2012. Т. 54. № 2. С. 29–32.
- Алексеев С.А., Драгунов М.Е., Черный В.Г. Проектирование пистолетов-пулеметов. — М.: Информтехника. 2009. 199 с.
- Омельюк А.В., Шмелев А.В., Кононов А.Г., Рубцов А.В. Определение параметров полилинейной модели материала и моделирование пластического деформирования балочных конструкций машин // Механика машин, механизмов и материалов. 2017. № 2. С. 19–27.
- Баллистика ракетного и ствольного оружия: учебник для вузов / под ред. А.А. Королева, В.А. Комочкова; науч. Конс. В.А. Шурыгин. — Волгоград. 2010. 427 с.
- Писарев С.А., Чирков Д.В., Федорова Е.А. Об экспериментальном определении коэффициента фиктивности массы свободного затвора пистолета-пулемета ППШ-41 с использованием видеокамеры высокоскоростной съемки // Перспективные направления развития артиллерийского вооружения, методов его эксплуатации и ремонта: сборник трудов XIV Всероссийской научно-практической конференции, г. Пермь, 22 мая 2019 г. / Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации. — Пермь: издательство ПВИ войск национальной гвардии РФ. 2020. С. 57–66.
- Агеев Н.П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 1. Технологические основы проектирования патронов / Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб. 2005. 352 с.
- Данилин Г.А. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию: учебник. 3-е изд., испр. и доп. / Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. — СПб: БГТУ. 2017. 368 с.
- Платонов Ю.П. Термогазодинамика автоматического оружия. — М.: Машиностроение. 2009. 356 с.: ил.
- Матасов В.Ф., Ульянов В.П. Проектирование автоматики оружия. — Тула: ТулГУ. 2001. 160 с. ISBN 5-7679-0239-4.
- Кириллов В.М. Теория и расчет автоматического оружия. Учебник. — Пенза: Пензенское высшее артиллерийское инженерное училище им. Н.Н. Воронова (ПВАИУ). 1973. 493 с.
- Воллерт Г., Лидшун Р., Копенхаген В. Принципы действия, способы запираения и затворные механизмы автоматического оружия.

<https://www.hunting.ru/articles/view/26673/> (дата обращения: 14.12.2021).

14. Журавлев Г.М., Ле Минь Дык. Влияние напряженного состояния на механические характеристики латуни // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. Ч. 2. 2010. С. 106–110.

15. Агеев Н.П., Зиновкин В.И., Масляев Н.М. Справочник по технологии патронного производства. Справочник в 2-х томах. Том I. — СПб: Балт. гос. техн. ун-т. 2011. 643 с. ISBN 978-5-85546-582-2.

### References

1. Alferov V.M. Design and calculation of automatic weapons. — M.: Mashinostroenie. 1977. 248 p.

2. Alekseev S.A. Designing automatic weapons with inertial locking of the barrel bore: учебное пособие. — Izhevsk: Izd-vo IzhGTU. 2007. 120 p.

3. Galagan L.A. Methods for taking into account the resistance force of the sleeve when removing from the chamber // Vestnik IzhGTU. 2012. Vol. 54. № 2. P. 29–32.

4. Alekseev S.A., Dragunov M.E., Chernii V.G. Design of submachine guns. — Moscow. Informtehnika Publ. 2009. 199 p.

5. Omeljusik A.V., Shmelev A.V., Kononov A.G., Rubtsov A.V. Determining the parameters of a multilinear material model and modeling the plastic deformation of beam structures of machines // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. 2017. № 2. P. 19–27.

6. Korolev A.A., Komochkov V.A. Ballistics of rocket and barrel weapons: textbook for universities. — Volgograd. 2010. 427 p.

7. Pisarev S.A., Chirkov D.V., Fedorova E.A. On the experimental determination of the coefficient of fictitiousness of the mass of the free shutter of the PPSH-41 submachine gun using a high-

speed video camera // Perspektivnye napravleniya razvitiya artillerijskogo voорuzheniya, metodov ego ekspluatatsii i remonta: sbornik trudov XIV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Perm', 22 may 2019. / Permskij voennyj institut vojsk nacional'noj gvardii Rossijskoj Federacii. — Perm': izdatel'stvo PVI vojsk nacional'noj gvardii RF. 2020. P. 57–66.

8. Ageev N.P. Small arms ammunition production technology. Part 1. Technological foundations for the design of cartridges / N.P. Ageev, G.A. Danilin, V.P. Ogorodnikov; Balt. gos. tekhn. un-t. — SPb. 2005. 352 p.

9. Danilin G.A. Basics of designing cartridges for small arms: учебник. 3-e izd., ispr. I dop. / Danilin G.A., Ogorodnikov V.P., Zavolokin A.B. — SPb: BGTU. 2017. 368 p.

10. Platonov Yu.P. Thermogasdynamics of automatic weapons. — M.: Mashinostroenie. 2009. 356 p.

11. Matasov V.F., Ulyantsev V.P. Weapon automation design. — Tula: TulSU. 2001. 160 p. ISBN 5-7679-0239-4.

12. Kirillov V.M. Theory and calculation of automatic weapons. Textbook. — Penza: Penza Higher Artillery Engineering School. N.N. Voronova (PVAIU). 1973. 493 p.

13. Vollert G., Lidshun R., Copenhagen V. Principles of operation, locking methods and bolt mechanisms of automatic weapons. <https://www.hunting.ru/articles/view/26673/> (date of treatment: 12/14/2021).

14. Zhuravlev G.M., Le Minh Duc. The influence of the stress state on the mechanical characteristics of brass // Izvestiya TulGU. Technical science. Issue 2. Part 2. 2010. P. 106–110.

15. Ageev N.P., Zinovkin V.I., Maslyayev N.M. Handbook of cartridge production technology. Handbook in 2 volumes. Volume I. — SPb: Balt. state tech. un-t. 2011. 643 p. ISBN 978-5-85546-582-2.