

УДК: 623.526

**АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СТВОЛОВ
МАЛОКАЛИБЕРНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ**
**ALGORITHM FOR ASSESSING THE THERMAL STATE OF THE BARRELS
OF SMALL-CALIBER AUTOMATIC WEAPONS**

Канд. техн. наук А.М. Пушкарёв, И.И. Ихтисанов

PhD A.M. Pushkarev, I.I. Ikhtisanov

Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации

Рассмотрен вопрос оценки теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия при стрельбе. С этой целью в статье исследуется влияние нагрева стволов автоматического оружия на начальную скорость снаряда. Исходя из этого, предложен алгоритм оценки теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия, основанный на определении тепловых процессов, происходящих в канале ствола при стрельбе. Предложенный алгоритм оценки теплового состояния стволов позволяет анализировать их работоспособность на основе определения изменения температурного поля агрегата ствола, нагреваемого при стрельбе, с учетом режима стрельбы.

Ключевые слова: автоматическое оружие, артиллерийский ствол, тепловое состояние, начальная скорость снаряда, режим стрельбы.

The issue of assessing the thermal state of the barrels of small-caliber automatic weapons during firing is considered. To this end, the article investigates the effect of heating the barrels of automatic weapons on the initial velocity of the projectile. Based on this, an algorithm is proposed for assessing the thermal state of the barrels of small-caliber automatic weapons based on the determination of thermal processes occurring in the barrel bore during firing. The proposed algorithm for assessing the thermal state of barrels makes it possible to analyze their performance based on determining the change in the temperature field of the barrel unit heated during firing, taking into account the firing mode.

Keywords: automatic weapon, artillery barrel, thermal state, initial projectile speed, firing mode.

В укреплении материально-технической базы Российских вооруженных сил значительная роль отводится совершенствованию малокалиберного автоматического оружия, являющегося до сих пор одним из основных средств ближнего боя. Создание новых и модернизация старых конструкций малокалиберного автоматического оружия (наряду с использованием более мощных порохов) направлено на увеличение моще-

ства, технической скорострельности и точности стрельбы современных образцов малокалиберного автоматического оружия. Однако серьезным препятствием при этом может оказаться интенсивный нагрев основной детали автоматического оружия — ствола, вследствие повышения указанных боевых характеристик [1]. С ростом температуры ствола меняются механические и теплофизические свойства его материала, воз-

растают температурные напряжения, увеличивается износ направляющей части канала ствола, падает запас термостойкости боеприпасов и так далее. Это все приводит к снижению баллистических характеристик оружия после непродолжительной эксплуатации, в частности, к падению начальной скорости снаряда [2]. В связи с этим, существует объективная необходимость развития и оптимизации параметров малокалиберного автоматического оружия с учетом изменяющихся условий боевого применения. Важная роль при этом отводится совершенствованию как конструкции малокалиберного автоматического оружия, так и алгоритмам его эффективного функционирования.

Эффективность функционирования малокалиберного автоматического оружия, в частности, малокалиберных автоматических пушек определяется комплексом представительных характеристик, среди которых наиболее значимыми являются: калибр, начальная скорость, баллистический коэффициент снаряда, темп стрельбы, кучность и меткость, временные интервалы между очередями выстрелов [3]. Так, для малокалиберных автоматических пушек установленных на боевых машинах пехоты важнейшим боевым свойством является меткость стрельбы. Значительное влияние на меткость стрельбы оказывает одинаковость начальных скоростей снарядов. При увеличении или уменьшении начальной скорости снаряда средняя точка попадания будет смещаться относительно контрольной точки соответственно вверх или вниз. Поэтому одним из требований к стволам малокалиберных автоматических пушек является обеспечение заданной начальной скорости снаряда [4].

Исследования последних лет показывают, что успешная модернизация существующих и разработка новых образцов малокалиберного автоматического оружия с напряженным режимом стрельбы (высоким темпом, большой длиной очереди и малым временем перерыва между очередями) зависит в большой степени от успешного решения проблемы нагрева агрегата ствола оружия. Интенсивный нагрев материала стволы малокалиберного автоматического оружия является тем явлением, которое существенно ограничивает технические и баллистические характеристики оружия, а также сужает диапазон его боевого применения. Поэтому про-

блема установления закономерностей влияния теплового состояния ствола на баллистические характеристики ствольных систем, в частности, на начальную скорость снаряда в настоящее время остается актуальной. Основой решения этой проблемы является подробное исследование температурных полей агрегата ствола, нагреваемого при стрельбе с учетом режима стрельбы. Здесь необходимо отметить, что начальная скорость снаряда относится к числу важнейших управляемых параметров, существенно влияющих на боевую эффективность малокалиберного автоматического оружия [4, 5].

В настоящее время существует ряд методик и алгоритмов определения температурного поля артиллерийского ствола [6–8]. На их основе проведены исследования с целью определения эффективности основных мероприятий, направленных на снижение нагрева отдельных элементов конструкций стволов. Тем не менее, как показали исследования, их применение к малокалиберному автоматическому оружию, дает не всегда адекватные результаты. Следует отметить, что существующие методы оценки теплового состояния стволов базируются, в основном, на различных полуэмпирических критериях, получение которых связано с необходимостью проведения большого количества экспериментальных исследований. Кроме того, они позволяют воссоздать только такие ситуации, которые носят частный характер, поскольку могут быть использованы лишь для определенного образца оружия. При этом они не учитывают весь процесс боевого применения ствольных комплексов. Начиная от момента начала выстрела до вылета снаряда из канала ствола с учетом условий эффективного применения средств поражения. Поэтому в настоящее время становится особенно актуальным создание методик и алгоритмов, применяемых для инженерной практики, по расчету теплового состояния стволов с учетом условий боевого применения малокалиберного автоматического оружия. Следовательно, для расчетной оценки теплового состояния ствола необходимо знать степень его влияния на режимы функционирования автоматического оружия, а также рассмотреть возможные реакции между режимами стрельбы оружия и тепловыми нагрузками ствола. Очевидно, алгоритм, позволяющий решить данную задачу, не упрощая предельно прибли-

женную к реальному процессу математическую модель теплового состояния артиллерийского ствола при стрельбе, представит возможность более полно и всесторонне исследовать тепловое состояние стволов малокалиберного автоматического оружия с учетом воздействия режимов стрельбы оружия на тепловое состояние ствола.

Таким образом, задача оценки теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия в данной постановке формулируется следующим образом. При заданных режимах стрельбы автоматического оружия (времени длины очереди и количестве выстрелов в очереди) необходимо определить оптимальный закон управления \bar{U}^* процессом боевого применения оружия по критерию минимума теплового нагружения агрегата ствола в процессе применения оружия:

$$\bar{U}^* = \min_{\mathbf{g}^*} \|\mathbf{T}\|, \quad (1)$$

где \mathbf{g}^* — вектор ограничений на условия боевого применения оружия; \mathbf{T} — параметр, определяющий допустимое температурное поле агрегата ствола, которое не должно превышать величины, соответствующей режиму стрельбы с максимальной скорострельностью, при котором обеспечивается минимум теплового нагружения ствола.

Вектор ограничений на условия боевого применения оружия имеет вид:

$$\mathbf{g}^* = \|\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3\|^T,$$

где \mathbf{g}_1 — длина очереди от 1 до N ; \mathbf{g}_2 — число очередей от n до 1; \mathbf{g}_3 — время перерыва при $\Delta t \rightarrow \min \mathbf{g}_3$; Δt — интервал между очередями.

Данный вектор управления должен обеспечить эффективные условия применения при условии, что температурное поле лежит в допустимой области, определяемой техническими требованиями к оружию.

Условие (1) позволяет определить оптимальное значение длительности времени стрельбы и количество выстрелов в очереди с целью минимизировать теплофизические нагрузки на ствол и, тем самым, произвести оценку теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия с учетом режимов стрельбы. При данной постановке вопроса оценки теплового

состояния стволов малокалиберного автоматического оружия можно представить в виде алгоритма, представленного на рисунке.

Работа данного алгоритма заключается в следующем: при заданных физических характеристиках материала ствола, характеристиках свойств пороха и характеристиках ствольного комплекса решается определенная последовательность ряда задач.

Первой задачей, из которых является решение основной задачи внутренней баллистики (ОЗВБ) ствольного комплекса, где определяются граничные условия теплообмена в канале ствола при выстреле.

Второй задачей является определение тепловых полей ствола на основе решения уравнения теплопроводности, позволяющее определить изменение текущей температуры в канале ствола. Исходными данными здесь служат: температура в канале ствола (получена на первом этапе) и физические характеристики материала ствола

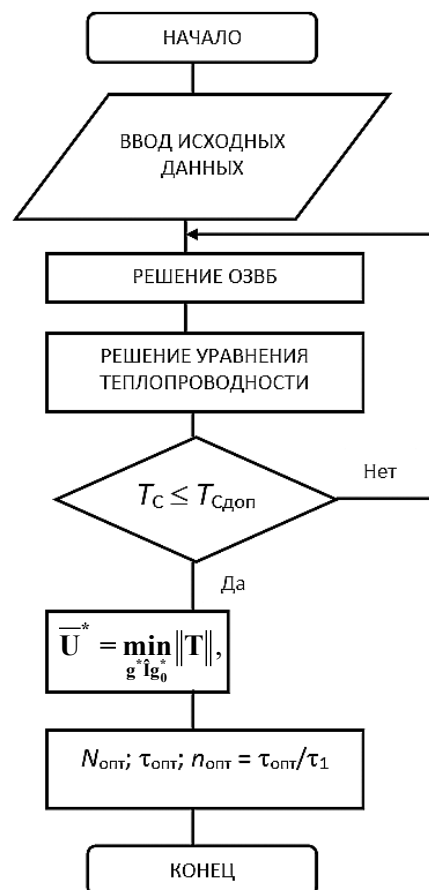


Рис. Алгоритм оценки теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия

(теплоемкость, теплопроводность и др.). Результатом решения этой задачи является массив температур в приканальной области ствола.

Третьей задачей является определение непрерывного времени стрельбы при данных параметрах теплового состояния ствола. Решением этой задачи является определение количества выстрелов (N), при которых значение параметра (T_C), определяющего допустимое температурное поле агрегата ствола не достигнет своего предельного значения ($T_{C\text{доп}}$) [1].

Цикл решения данных задач зависит от длительности времени стрельбы (τ), количества очередей (n), числа выстрелов (N) и будет продолжаться до тех пор, пока значение параметра T_C не достигнет своего предельного значения $T_{C\text{доп}}$. При этом определяется значение непрерывного времени стрельбы при данных параметрах теплового состояния ствола.

Следующим этапом является определение оптимального управления процессом боевого применения оружия по критерию минимума теплового нагружения агрегата ствола (1), на основании которого определяется оптимальное значение количества выстрелов $N_{\text{опт}}$, длительности времени стрельбы $\tau_{\text{опт}}$ и количество выстрелов в очереди $n_{\text{опт}}$ с целью уменьшить тепловое нагружение агрегата ствола при стрельбе.

В рамках проведенных исследований было создано программное обеспечение, которое позволило на основе разработанной методики решения краевой задачи о тепловом нагружении ствола малокалиберного автоматического оружия разработать машинную программу, предназначенную для расчета двумерного температурного поля ствола малокалиберного автоматического оружия [9]. Реализация решения задачи осуществляется на высокоуровневом языке программирования Object Pascal в среде разработки Delphi. Моделирование рабочих процессов выстрела и расчета параметров состояния газового потока реализуется на основе решения системы дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности конечно-разностным методом в сочетании с продольно-поперечной схемой прогонки по равномерной сетке [10]. Программа включает головной модуль, выполняющий основные функции решения ОЗВБ и периода последствий, аппроксимации параметров пороховых газов, организации

итерационного счета нелинейностей и расчета температурного поля ствола малокалиберного автоматического оружия во время стрельбы и в перерывах между выстрелами. Таким образом, разработанное программное обеспечение для расчета теплового состояния стволов определяет возможность его реализации в работах по исследованию температурного поля канала ствола перспективного малокалиберного автоматического оружия, как на стадии проектирования, так и при боевой эксплуатации.

Выводы

На основании рассмотренных в статье результатов исследований можно сделать следующее заключение, что разработанный алгоритм, основываясь в большей степени, чем существующие, на физических представлениях о процессах происходящих в стволе при выстреле, создает методическую основу для разработки общего подхода к анализу работоспособности стволов малокалиберного автоматического оружия, который в большей степени, чем существующие эмпирические зависимости, отражает последствия процессов теплового воздействия выстрела на поверхность канала ствола, точнее учитывает условия боевой эксплуатации оружия. Предлагаемый алгоритм в данной постановке позволяет реализовать более объективные подходы к достоверному определению параметров теплового состояния стволов малокалиберного автоматического оружия при стрельбе, а также рассчитывать тепловое поле ствола на различных режимах стрельбы. Полученные в материалах статьи закономерности теплового нагружения агрегата ствола при выстреле, могут быть использованы в инженерной практике при расчете теплового состояния стволов и влияния его на баллистические характеристики ствольных систем, в частности, на начальную скорость снаряда с учетом условий боевого применения малокалиберного автоматического оружия.

Литература

1. Пушкарёв А.М., Ихтисанов И.И. Прогнозирование износа и живучести стволов малокалиберных автоматических пушек и обоснование выбора режима стрельбы из них // Оборонная техника. 2019. № 9–10. С. 33–37.

2. Пушкарёв А.М., Ихтисанов И.И. К Определению оптимальных характеристик теплового нагружения ствольной системы при различных режимах стрельбы // Сборник научных статей VI Всероссийской научно-практической конференции «Калашниковские чтения». — Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2019. С. 255–264.

3. Шипунов А.Г., Грязев В.П., Березин С.М. Эффективность и надежность стрелково-пушечного вооружения. Учебное пособие. — Тула: Издательство ТулГУ. 2002. 197 с.

4. Пушкарёв А.М., Мещеряков С.М., Ихтисанов И.И. К вопросу об эффективности стрельбы из автоматического артиллерийского оружия // Научный журнал «Естественные и технические науки». 2019. № 2. С. 179–182.

5. Шерешевский М.С., Гонтарев А.Н., Минаев Ю.В. Эффективность стрельбы из автоматического оружия. — М.: ЦНИИ информации. 1979. 328 с.

6. Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. — М.: Машиностроение. 1974. 432 с.

7. Иванова С.А., Романов Р.Б. Расчет двухмерного температурного поля ствола автоматического оружия // Оборонная техника. 1980. № 7. С. 39–41.

8. Шипунов А.Г., Белкин А.М. Математическая модель термопластического износа стволов // Оборонная техника. 1981. № 9. С. 31–33.

9. Ихтисанов И.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа расчета теплового состояния ствола» № 2020616887 от 25.06.2020.

10. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности. — Томск: Изд-во ТПУ. 2007. 172 с.

References

1. Pushkarev A.M., Ikhtisanov I.I. Forecasting the wear and survivability of small-caliber automatic

cannon barrels and substantiating the choice of the firing mode from them // Defense technology. 2019. № 9–10. P. 33–37.

2. Pushkarev A.M., Ikhtisanov I.I. To Determination of the Optimal Characteristics of the Thermal Loading of the Barrel System at Various Firing Modes // Collection of Scientific Articles of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference «Kalashnikov Readings». — Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. 2019. P. 255–264.

3. Shipunov A.G., Gryazev V.P., Berezin S.M. The effectiveness and reliability of small arms and cannon weapons. Manual. — Tula: Publishing office TulGU. 2002. 197 p.

4. Pushkarev A.M., Meshcheryakov S.M., Ikhtisanov I.I. On the question of the effectiveness of firing from automatic artillery weapons // Scientific journal «Natural and technical sciences». 2019. № 2. P. 179–182.

5. Shereshevsky M.S., Gontarev A.N., Minaev Yu.V. The effectiveness of firing from automatic weapons. — Moscow: Central Research Institute of Information. 1979. 328 p.

6. Orlov B.V., Larman E.K., Malikov V.G. Artillery barrels construction and design. — Moscow: Mashinostroenie. 1974. 432 p.

7. Ivanova S.A., Romanov R.B. Calculation of the two-dimensional temperature field of the barrel of automatic weapons // Defense technology. 1980. № 7. P. 39–41.

8. Shipunov A.G., Belkin A.M. Mathematical model of thermoplastic wear of barrels // Defense technology. 1981. № 9. P. 31–33.

9. Ikhtisanov I.I. Certificate of state registration of the computer program «Program for calculating the thermal state of the well» № 2020616887 of 25.06.2020.

10. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Difference methods for solving problems of heat conduction. — Tomsk: TPU Publishing House. 2007. 172 p.