

In this paper, we consider software packages that solve the issues of preliminary assessment of workflow parameters. The paper presents a software package that is problem-oriented for solving problems related to mathematical modeling in gas generators of complex circuits. The convergence of computational experiment results and test results is presented.

Key words: model installation, gas pipeline, diaphragm.

Evlanov Andrey Aleksandrovich, postgraduate, ing. I categories, ewlanow71@mail.ru, Russia, Tula, «JSC «NPO» SPLAV» named after A.N. Ganichev»,

Dunaev Valery Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor, dwa222@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Sladkov Valery Yurievich, doctor of technical sciences, professor, dwa222@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 531.58

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕЛЕТАЛЬНОГО ВЫСТРЕЛА ИЗ БОЕВОГО ОРУЖИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВКЛАДНОГО СТВОЛА

Е.Н. Патрикова, Т.С. Патрикова, А.А. Лосева

Представлены результаты математического моделирования процесса функционирования табельного оружия в дополнительном режиме нелетального действия с использованием специальных устройств, обеспечивающих надежность работы автоматики оружия и выполнение требований по травмобезопасности.

Ключевые слова: специальное устройство, нелетальное действие, травмобезопасность, легкодеформируемая пуля, табельное оружие.

Современная концепция применения огнестрельного оружия сотрудниками силовых структур состоит в нейтрализации (избегая термина уничтожение) атакующего или группы атакующих, в соответствии с текущим законодательством. Закон предусматривает нанесение наименьшего вреда, но никак не смерти нападающего. Данные положения требуют достаточно высокого уровня психологической подготовки и владения навыками производства выстрела.

В настоящее время основной тенденцией в организации стрелковой подготовки личного состава правоохранительных органов является стремление максимально приблизить условия проведения учебно-тренировочных боев к условиям реального огневого контакта. Непременным требованием при этом является возможность ведения стрельбы «на поражение».

Технология моделирования ситуационных задач со стрельбой «на поражение» в процессе огневой подготовки сотрудников силовых структур повышает эффективность и надежность применения оружия в их работе. А использование личного оружия, для учебно-тренировочной стрельбы «на поражение» легкодеформируемыми пулями делает эту технологию обучения наиболее перспективной.

Общий недостаток применяемых в настоящее время учебно-тренировочных средств заключается в том, что используемое оружие не является тем самым оружием, с которым сотрудники силовых структур проводят боевые операции и искусству владения которым их необходимо обучать.

Перспективным способом повышения эффективности огневой подготовки сотрудников силовых структур, является использование личного оружия, оснащенного специальными устройствами и боеприпасами, для учебно-тренировочной стрельбы, а также для оказания психологического и физиологического воздействия на правонарушителей.

Такие специальные устройства и боеприпасы позволяют [2], в зависимости от ситуации, использовать оружие, находящееся на вооружении силовых структур в двух режимах: специального оружия травматического действия, стреляющего легкодеформируемыми пулями, обеспечивающими, с одной стороны, останавливающее действие на правонарушителей а, с другой стороны, проведение учебно-тренировочных боев со стрельбой «на поражение»; боевого оружия. Причем переход с одного режима стрельбы на другой мобилен, а сами специальные устройства просты по конструкции, технологичны и дешёвы в производстве.



Внешний вид вкладного ствола и специальных боеприпасов для табельного оружия

Сложность математического описания процесса выстрела легкодеформируемой пулей при использовании вкладного ствола с диаметром, меньшим калибра пули, является следствием необходимости совместного решения основной задачи внутренней баллистики и задачи по определению параметров напряженно-деформированного состояния материала легкодеформируемой пули. Для решения первой задачи необходимо знать силу сопротивления перемещению пули по каналу вкладного ствола, определяемую из решения второй задачи, а для решения второй задачи необходимо знать перемещение и скорость движения пули, которые являются результатом решения первой задачи.

В основу расчета внутренней баллистики табельного оружия при стрельбе легкодеформируемыми пулями с использованием вкладного ствола была положена термодинамическая модель рабочего процесса, изложенная в [2] .

Однако, ввиду необходимости совместного решения двух задач, поставленных выше, модель пришлось видоизменить и создать новую модель взаимосвязанных процессов, протекающих в канале ствола табельного оружия при стрельбе легкодеформируемыми пулями.

Во-первых, возможность определения силы сопротивления перемещению легкодеформируемой пули по каналу ствола, являющейся результатом решения второй задачи, позволила исключить коэффициент фиктивности, учитывающий действие второстепенных сил, поэтому уравнение движения пули в пиродинамическом периоде несколько изменилось; помимо силы, движущей пулю, в уравнение введена сила, тормозящая пулю.

Во-вторых, исследование систем со свободным затвором привело к необходимости введения в модель уравнения движения затвора.

В-третьих, для исследуемого процесса характерно малое давление, при котором происходит выталкивание пули из дульца гильзы, вследствие чего введен учет постепенности воспламенения порохового заряда по объему гильзы и в качестве начального давления берется давление, создаваемое капсулем-воспламенителем в свободном объеме гильзы.

В-четвертых, специфика исследуемого процесса потребовала учета в уравнении сохранения энергии работ по перемещению затвора и газопороховой смеси.

Следствием этого явились соответствующие изменения не только в основной системе уравнений, выражающих законы сохранения массы, количества движения и энергии, но и в начальных условиях и дополнительных соотношениях, применение которых диктуется необходимостью обеспечения адекватности разработанной математической модели исследуемому процессу [3].

Уравнения процесса для периода последействия использовались те же, что и в термодинамической модели.

При построении математической модели внутрибаллистического процесса были приняты следующие допущения.

1. Относительный приход газа в результате горения порохового заряда выражается уравнением, приближенно учитывающим отклонение действительного закона горения от геометрического.

2. Состав продуктов сгорания порохового заряда не меняется во время выстрела, следовательно, показатель адиабаты Пуассона $k=const$.

3. Свободный объем запульного пространства принимается за контрольный объем газа, контрольная поверхность которого проходит по поверхности канала вкладного ствола, гильзы и дна пули.

В периоде последействия контрольным объемом становится объем канала ствола.

4. Продукты горения - пороховые газы и несгоревший порох - равномерно распределены по запульному пространству.

5. Давление p , температура T и плотность ρ газа в запульном пространстве для каждого момента времени t равны их средним по контрольному объему значениям.

6. Процесс теплоотдачи стенкам ствола протекает в соответствии с законом Ньютона-Рихмана и определяется средними параметрами теплообмена.

7. Движение легкодеформируемой пули начинается при достижении давления выталкивания пули из дульца гильзы.

8. Прорыв пороховых газов и выброс несгоревших частиц пороха отсутствует.

9. В периоде последействия скорость движения газа в дульном срезе в первый момент равна скорости пули и в последующие моменты становится равной местной скорости звука по окончании переходного процесса, определяемого законами изменения количества движения и кинетической энергии порохового газа в канале ствола.

Задача определения параметров состояния газа в канале вкладного ствола сводится к численному решению замкнутой системы уравнений, представляющей собой математическую модель взаимосвязанных процессов, протекающих в канале вкладного ствола во время пиростатического и пиродинамического периодов, а также периода последействия. В основу математической модели внутрибаллистического процесса положена следующая система уравнений [3].

Уравнение изменения массы газа:

$$\frac{dm}{dt} = m_{\omega} \frac{d\psi}{dt} - S\rho V(l)N(l), \quad (1)$$

$$\text{где } N(l) = \begin{cases} 1, & \text{если } l \geq l_d \\ 0, & \text{если } l < l_d \end{cases}.$$

Уравнение относительного притока газа при горении заряда:

$$\frac{d\psi}{dt} = \begin{cases} \frac{1 - (1 - \psi_s)^{1-\beta}}{1-\beta} \cdot \frac{(1-\psi)^\beta}{J_k} \cdot p \cdot \Phi_H, & \text{если } \psi \leq 1; \\ 0, & \text{если } \psi > 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\Phi_H = \begin{cases} 1,05 - \exp\left(0,25 \cdot \frac{t}{t - 1,084 \cdot t_{пл}}\right), & \text{при } t < t_{пл}; \\ 1, & \text{при } t \geq t_{пл} \end{cases}$$

где ψ - относительная часть сгоревшего порохового заряда; Φ_H - функция неодновременности воспламенения порохового заряда; β - показатель степени закона изменения поверхности горения; J_k - импульс давления порохового газа к концу горения заряда; $t_{пл}$ - характерное время воспламенения всей поверхности горения порохового заряда.

Уравнение изменения внутренней энергии газа:

$$\frac{dU}{dt} = \Pi m_{\omega} \frac{d\psi}{dt} - p(0)S_3V_3 - p(l)S_nV(l) \cdot [1 - N(l)] - \frac{dQ}{dt} - \frac{dU_{znc}}{dt} - \left[\left(k - 1 + \frac{p(l)}{p} \right) \frac{U}{m} + bp \right] S_{\partial} \rho V(l) N(L). \quad (3)$$

В отличие от аналогичного уравнения термодинамической модели [2], в данном уравнении введен учет расхода энергии газа на работу по перемещению затвора и газопороховой смеси.

Затраты энергии газа на перемещение газопороховой смеси определялись как изменение кинетической энергии газопороховой смеси за шаг интегрирования по времени в предположении о линейном распределении скорости газопороховой смеси по запульному пространству, т.е.

$$\frac{dU_{гпс}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(m_{\omega} \frac{u_{cp}^2}{2} \right) = \frac{m_{\omega}}{2} \frac{d}{dt} (u_{cp}^2) = m_{\omega} u_{cp} \frac{du_{cp}}{dt}, \quad (4)$$

где $u_{cp} = \frac{V(l) - V_3}{2}$.

Уравнение, определяющее потери энергии газа на теплоотдачу:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot \frac{(T - T_n) \cdot F \cdot \frac{4}{3\sqrt{\pi}v_{mc}} \cdot \left[\frac{8}{3} - \left(\frac{8}{3} - \frac{v_{mc}}{v_{mz}} \right) \cdot \frac{F_0}{F} \right] \cdot \frac{Q}{\sqrt{t}}}{1 + \alpha \cdot \frac{2}{2\sqrt{\pi}v_{mc}} \cdot \left[\frac{8}{15} + \left(\frac{v_{mc}}{v_{mz}} - \frac{8}{15} \right) \cdot \frac{F_0}{F} \right] \cdot \sqrt{t}}. \quad (5)$$

Уравнение движения пули в пиродинамическом периоде:

$$m_q \frac{dV(l)}{dt} = p(l)S_n - F_{\Sigma}. \quad (6)$$

Сила сопротивления перемещению пули при ее движении по каналу вкладного ствола F_{Σ} и площадь поперечного сечения пули S_n , на которую действует давление $p(l)$ являются результатом решения задачи по определению параметров напряженно-деформированного состояния материала легкодеформируемой пули.

Уравнение изменения скорости газа в дульном срезе в периоде последействия:

$$\frac{dV(l)}{dt} = \frac{3S_{\partial}}{m} [p - p(l)] - \frac{S_{\partial}V^2(l)}{W}. \quad (7)$$

Уравнения изменения давления у дна пули в пиродинамическом периоде и в дульном срезе в периоде последействия:

$$p(l) = \frac{P}{1 + \frac{1}{3} \frac{m_{\omega}}{m_q}}, \quad \text{если } l < l_{\partial}; \quad (8)$$

$$\frac{dp(l)}{dt} = -p(l) \frac{S_{\partial}V(l)}{W} \left\{ 2 + \frac{1 - 2b\rho}{1 - b\rho} - \frac{6}{k} (1 - b\rho) \left[\frac{P}{p(l)} - 1 \right] \right\}, \quad \text{если } l \geq l_{\partial}. \quad (9)$$

Кинематическое уравнение для пули:

$$\frac{dl}{dt} = V(l)[1 - N(l)]. \quad (10)$$

Уравнение для давления газа на дно канала ствола:

$$p(0) = p \frac{1 + 0,5 \frac{m_{\omega}}{m_q}}{1 + \frac{1}{3} \frac{m_{\omega}}{m_q}}. \quad (11)$$

Уравнение движения свободного затвора:

$$\left(m_3 + m_2 + \frac{1}{3} m_{en}\right) \frac{dV_3}{dt} = p(0)S_3 - \beta_1(\Pi_0 + cx_3) - P_3 - F_m - F_{np}. \quad (12)$$

Кинематическое уравнение для затвора:

$$\frac{dx_3}{dt} = V_3. \quad (13)$$

Уравнения для осредненных по объему величин давления, температуры и плотности газа:

$$p = (k-1) \frac{U}{W - bm}; \quad (14)$$

$$T = (k-1) \frac{U}{R_\mu m}; \quad (15)$$

$$\rho = \frac{m}{W}. \quad (16)$$

Уравнение для коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{42}{W^{0,55}} \left\{ \left(m_\omega \frac{d\psi}{dt} \right)^{0,65} + 3,1 \cdot [S\rho V(l)]^{0,65} \right\}. \quad (17)$$

Уравнения изменения свободного объема канала ствола и поверхности теплообмена:

$$W = W_\Delta - \frac{m_\omega}{S} (1 - \psi) + \frac{\pi d_\rho^2}{4} x_3 + \sum_i S_{ni} \Delta l_i; \quad (18)$$

$$F = F_0 + 2\sqrt{\pi} \sum_i \sqrt{S_{ni} \Delta l_i} + \pi d_\rho x_3. \quad (19)$$

Дополнительные соотношения:

$$Q_{wt} = Q_w + 0,35 \cdot (T_H - 293); \quad \Pi = \frac{4187 \cdot T_w}{T_w - 293} \cdot Q_{wt};$$

$$T_w = 273 + 2,91 \cdot Q_{wt};$$

$$k = 1,3 - 6,25 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{wt}^2;$$

$$R_\mu = \frac{k-1}{T_w} \cdot \Pi; \quad v_{m2} = \frac{\lambda_{m2}}{\sqrt{a_{m2}}}; \quad v_{mc} = \frac{\lambda_{mc}}{\sqrt{a_{mc}}};$$

$$b = (1456 - 0,524 \cdot Q_{wt});$$

$$\beta = \begin{cases} \sqrt{1 - \frac{3}{4 - 2\chi_1 + \chi_1^2}} & \text{- для порохов простой формы,} \\ 0,31 & \text{- для семиканальных порохов} \end{cases}$$

$$F_m = m_3 \cdot g \cdot f_3.$$

$$P_3 = \begin{cases} f \cdot p \cdot \pi \cdot d_\rho \cdot (l_2 - x_3), & \text{при } x_3 < l_2 \\ 0, & \text{при } x_3 \geq l_2 \end{cases}$$

Начальные условия интегрирования входящих в систему дифференциальных уравнений:

$$m_0 = 0,48 \cdot m_{кк};$$

$$W_0 = W_\Delta - \frac{m_\omega}{\delta};$$

$$W_\Delta = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \left(L_2 - \frac{1}{3} \cdot d \right);$$

$$\rho_0 = \frac{m_0}{W_0};$$

$$T_0 = \frac{p_0}{R_g \cdot \rho_0};$$

$$U_0 = f_g \cdot m_{кн};$$

$$p_0 = \frac{U_0}{W_0} (k_g - 1);$$

$$\psi_0 = 0; V_{30} = 0; l_0 = 0; x_{30} = 0;$$

$$U_{зnc0} = 0; Q_0 = 0; V(l)_0 = 0;$$

$$F_0 = \pi \cdot d \cdot (L_z + 0,25d);$$

$$F_{\Sigma 0} = f \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{E}{1-\mu} \cdot \frac{R_n^2 - R_d^2}{2} \cdot \frac{R_n^3 - R_d^3}{R_d^3}.$$

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет исследовать процесс функционирования табельного оружия со свободным затвором в режиме нелетального действия, с использованием вкладных стволов и специальных боеприпасов, а также проектировать специальные устройства, обеспечивающие дополнительные функции боевому оружию.

Список литературы

1. Патент № 21305731999 Котюхов Ф.А., Патрикова Е.Н. Способ перевода режима стрельбы штатного автоматического оружия и боеприпасы для его реализации. 1999.
2. Руководящие технические материалы. Оружие стрелковое. Методы термодинамических расчетов.// Тула, 1974. 160 с.
3. Патрикова Е.Н. Теоретико-экспериментальное обоснование возможности использования боевого оружия в режиме нелетального действия: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 134 с.

Патрикова Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент, elenapatrikova@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Патрикова Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, valeropatrick@yandex.ru, Россия, Тула, Институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования тульской области,

Лосева Алена Александровна, студент, alenal0seva@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF THE OPERATING THE TIME WEAPON IN MODE NON-LETHAL ACTIONS

E.N. Patrikova, T.S. Patrikova, A.A. Loseva

In persisting work are presented results of mathematical modeling of the process of the operating the time weapon in additional mode non-lethal actions with use special device, providing reliability of the functioning(working) the automation of the weapon and performing the requirements on safe action.

Key words: special device, non-lethal action, safe action, highly flammable bullet, staff weapon.

Patrikova Elena Nikolaevna, candidate of technical science, docent, elenapatrikova@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Patrikova Tatyana Sergeevna, candidate of technical science, head of the department, valeropatrik@yandex.ru, Russia, Tula, Institute of improvement of professional skill and professional retraining of educators in the Tula region,

Loseva Alena Aleksandrovna, student, alenal0seva@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.455

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

К.И. Казаков, А.В. Смирнов, Н.В. Могильников, А.А. Ермаков

Рассматривается вариант расчета начального этапа отделения полезной нагрузки головной части реактивного снаряда. Приведена схема расчета возможности разрушения полезной нагрузки пассивными элементами двигателя.

Ключевые слова: математическое моделирование, движение твердого тела, внешняя баллистика.

В настоящее время достаточно распространенным вариантом компоновки головных частей реактивных снарядов (РС) являются головные части (ГЧ) с последовательно расположенными в корпусе элементами полезной нагрузки. В качестве полезной нагрузки могут использоваться не только боевые элементы различного целевого назначения, так и различные устройства для создания помех, проведения разведки и т. д. Наиболее выгодным вариантом компоновки полезной нагрузки будет вариант, при котором элементы полезной нагрузки располагаются последовательно и занимают полностью поперечное сечение корпуса ГЧ [1]. В то же время при подобном расположении возникает опасность соударения элементов полезной нагрузки, снабженных, как правило, парашютными системами торможения и стабилизации, с пассивными элементами РС – корпусом двигателя, обтекателем, поршнем и т. д.

Обычным вариантом технического решения, исключающего возможность соударения, является использование некоторой временной задержки вскрытия парашютного отсека, необходимой для обеспечения удаления элементов полезной нагрузки на безопасное расстояние [2]. Однако подобное техническое решение значительно усложняет конструкцию ГЧ, поскольку требует введения специальных пиротехнических устройств разделения с фиксированным временем задержки срабатывания и обеспечения задействия этих устройств в процессе разделения посредством предварительного заполнения свободных объемов продуктами горения пороховых зарядов. Использование подобных устройств весьма затруднительно для РС малого калибра.

В связи с этим представляет интерес оценка возможности разрушения полезной нагрузки пассивными элементами двигательной установки при различных траекторных параметрах в момент вскрытия ГЧ РС.

Для определенности рассмотрим вариант кумулятивно-осколочного боевого элемента (БЭ), имеющего систему стабилизации в виде ленточного парашюта и цилиндрический насадок на передней части [3]. Будем полагать, что элементы полезной