

УДК 623.4.017+ 519.63+ 51.74
DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-113-120

Численное моделирование динамической системы «автомат – гранатомет»

С. В. Шведчиков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Романов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В современном стрелковом оружии одной из важнейших технических характеристик является живучесть ствола, которая в значительной степени сказывается на конкурентоспособности изделия на рынке. Задача по повышению уровня живучести ствола автоматического стрелкового оружия до сих не утратила свою актуальность. Исходя из современного характера ведения боя и многозадачности боевых операций, в настоящее время на базе одного опорного образца разрабатываются комплексы ручного автоматического оружия с применением различных внешних устройств, таких как прицельные приспособления различного исполнения, подствольные гранатометы, приборы малошумной стрельбы и т. д. При проектировании новых образцов в настоящее время применяются несколько аппроксимированные математические модели, которые не учитывают воздействие внешних устройств на динамические и колебательные процессы изделий, протекающие при ведении стрельбы из современных стрелковых комплексов ручного автоматического оружия. В настоящей статье описывается физическая и математическая модель динамического взаимодействия подствольного гранатомета и стрелкового оружия (автомата), демонстрируется расчетная математическая модель для разных видов и способов закрепления устройства типа подствольный гранатомет. Выявляется оптимальная расчетная модель, позволяющая описать динамический процесс взаимодействия элементов системы при численном моделировании выстрела. Выявлены достоинства и недостатки, на основании которых определены цели и задачи дальнейшей работы, заключающиеся в исследовании влияния внешних устройств на параметры ствола автоматического стрелкового оружия, с целью повышения эксплуатационных и тактико-технических характеристик систем автоматического стрелкового оружия на основе разработки численно-аналитического подхода и модульной математической модели автоматического стрелкового оружия.

Ключевые слова: модель, физическая модель, численная модель, автомат, гранатомет, выстрел, динамическая система, шаг расчета, сила, момент, ствол.

Введение

Опыт эксплуатации таких систем, как автомат-гранатомет, разрабатываемых на основе решений, представленных в литературе [1–7], показал, что влияние дополнительного оборудования комплекса учитывается не в полной мере. Результаты видеосъемки выстрела из гранатомета показывают, что отдача, сопровождающая данный процесс, а также возникающие динамические нагрузки [8–10] вызывают достаточно большие перемещения и, как следствие, деформации изгиба ствола автомата, обусловленные способом крепления. Независимо от выбранного способа крепления гранатомета к автомату (рис. 1) изгиб ствола виртуальной модели последнего обусловлен расстоянием между осями каналов стволов гранатомета и автомата, а также характеристиками выстрела.



Рис. 1. Вариант крепления подствольного гранатомета к автомату

Fig. 1. The option of attaching a grenade launcher to a machinegun

В виртуальной модели схема крепления гранатомета без упора в ствольную коробку вызывает наибольшие деформации ствола и поворот стрелкового оружия относительно точки опоры (рис. 2).

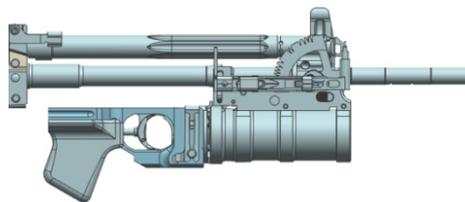


Рис. 2. Крепление гранатомета без упора в ствольную коробку

Fig. 2. Mounting the grenade launcher without stopping in the receiver

Схема крепления гранатомета с жестким упором в ствольную коробку снижает деформацию ствола, увеличивая при этом действие отдачи на стрелка. Применение демпфера между гранатометом и ствольной коробкой уменьшает отдачу, при этом деформация ствола становится больше, чем в предыдущем случае. Установить точные значения деформации ствола [11] можно экспериментально, что требует изготовления возможных комбинаций схем взаимодействия ствола с гранатометом и последнего со ствольной коробкой или путем проведения соответствующих численных и натурных экспериментов для последующего подтверждения некоторых полученных результатов. Как показала практика, второй подход более эффективен, как экономически, так и по времени проведения исследований.

Цель работы – разработка математической и физической модели изделия для проверки запаса прочности ствола при производстве выстрела из подствольного гранатомета.

Разработка физической модели

Перед формированием граничных условий, необходимых для проведения расчетов, рассмотрим несколько расчетных схем. Так как наибольшие деформации происходят в плоскости, проходящей через ось каналов стволов оружия и гранатомета, то на данном этапе будем рассматривать решение плоской задачи.

Первая схема (рис. 3) соответствует жесткому креплению гранатомета к стволу. Причем последний зажат в станке. Следовательно, перемещение ствола можно приравнять к нулю. В этом случае мы определяем динамические реакции, т. е. силы и моменты в опоре, которые впоследствии можно применить для дальнейших расчетов ствола на прочность, жесткость и устойчивость. Первая схема приведена на рис. 3, б. Гранатомет крепится к неподвижному стволу, закрепленному в станке.

Вторая схема крепления оружия за ствольную коробку с добавлением жесткого упора гранатомета в ствольную коробку представлена на рис. 3, б.

Третья схема крепления (рис. 3, в) отличается от предыдущей тем, что между гранатометом и ствольной коробкой добавлен упругий демпфирующий элемент.

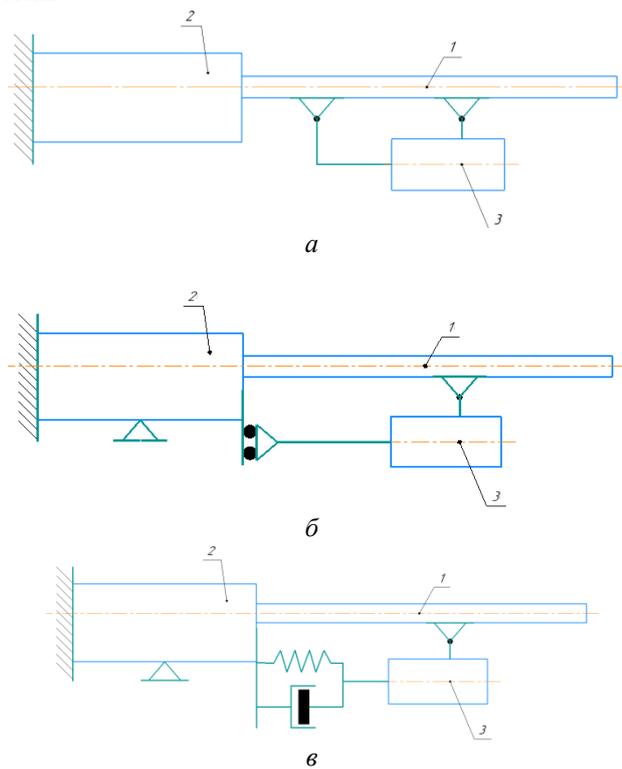


Рис. 3. Абсолютно жесткое крепление гранатомета к неподвижному стволу (а); крепление гранатомета к стволу с упором в ствольную коробку (б) и с демпфирующим элементом (в): 1 – ствол; 2 – короб; 3 – гранатомет

Fig. 3. Absolutely rigid attachment of the grenade launcher to a fixed barrel (a); mounting the grenade launcher to the barrel with an emphasis on the receiver (б) and with a damping element (в): 1 - barrel; 2 - box; 3 - grenade launcher

Рассмотрим граничные условия для второй схемы. В местах сопряжения гранатомета со стволом и ствола со ствольной коробкой (рис. 4) перемещения считаем равными нулю, что соответствует жесткому креплению.

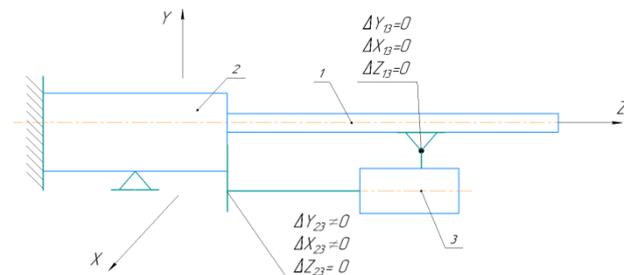


Рис. 4. Граничные условия в местах сопряжения гранатомета и ствольной коробки со стволом, при условии жесткого крепления ствольной коробки

Fig. 4. Boundary conditions at the interface points of the grenade launcher and receiver with the barrel, provided that the receiver is firmly attached

Граничные условия для третьей схемы представлены на рис. 5. Предполагается жесткое крепление автомата в области затыльника приклада и упругое крепление с демпфированием за ручку гранатомета. Рассматриваются все три схемы.

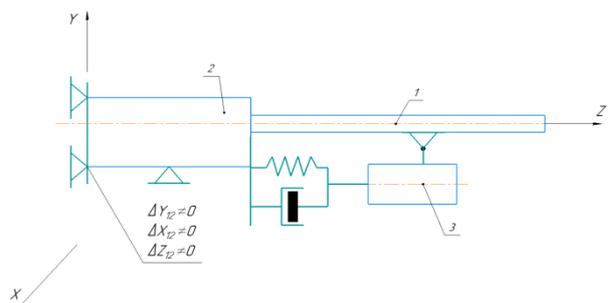


Рис. 5. Граничные условия в области затыльника приклада при условии жесткого закрепления автомата и демпфирующем элементе между гранатометом и ствольной коробкой

Fig. 5. Boundary conditions in the buttstock area under the condition of rigid attachment of the machine gun and the damping element between the grenade launcher and the receiver

Возможная четвертая схема с упругим креплением и демпфированием затыльника приклада и рукоятки гранатомета не рассматривается, т. к. в данном случае деформации ствола будут меньше, чем в предыдущем случае.

Проведенный анализ (рис. 6) показал, что наибольшие нагрузки на ствол возникают в первой исследуемой схеме, а наименьшие в последней, которая является более реалистичной. Колебания ствола [12] от одного выстрела носят затухающий характер, нагрузка по осям распределяется неравномерно, что обеспечивается взаимным расположением гранатомета и автомата. Уровень нагрузок обусловлен конструктивными особенностями и выстрелом гранатомета, схемой его работы.

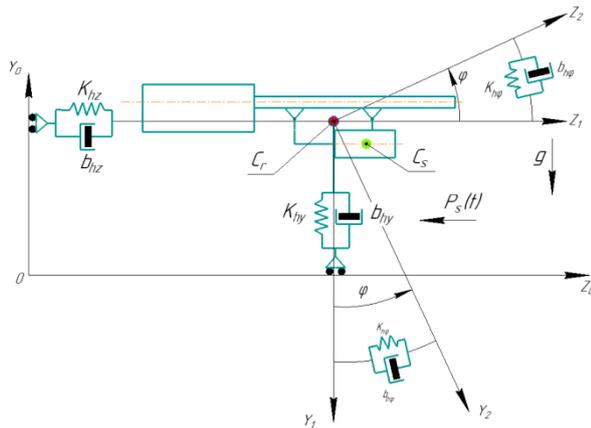


Рис. 6. Физическая схема взаимодействия стрелкового комплекса с внешней средой

Fig. 6. Physical diagram of the interaction of the shooting complex with the external environment

Анализ физической модели (рис. 6), проведенный по аналогии с трудами [12, 13], показал, что на первом этапе проведения расчетов достаточно рассмотреть взаимодействие гранатомета со стрелковым оружием (рис. 7).

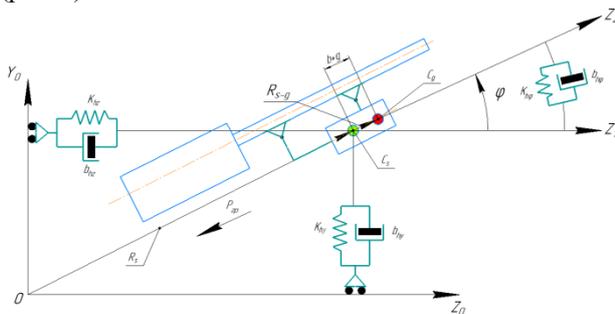


Рис. 7. Физическая схема взаимодействия гранатомета со стрелковым оружием

Fig. 7. Physical diagram of the interaction of a grenade launcher with small arms

В расчетах приняты следующие обозначения:

$K_{hz}, K_{hy}, K_{h\varphi}$ – коэффициент жесткости по осям Z, Y и φ ;

k – приведенная к оси Z жесткость упругих элементов внешних опор;

k_{Cl} – коэффициент жесткости упругих элементов внешних опор;

$b_{hz}, b_{hy}, b_{h\varphi}$ – коэффициент демпфирования;

b_{c1}, b_{c2} – коэффициенты демпфирования упругого и пластического взаимодействия;

$P_{гр.}$ – импульс отдачи гранатомета при выстреле;

$P_s(t)$ – импульс отдачи гранатомета при выстреле по времени;

C_r – центр масс подствольного гранатомета;

C_s – центр масс системы гранатомет-автомат;

C_g – центр масс метаемого снаряда (выстрел);

g – ускорение свободного падения;

Z_r, Y_r – горизонтальные и вертикальные координаты в инерционной системе координат;

J_r, J_s – моменты инерции автомата и подствольного гранатомета;

φ – угол отклонения;

$b + g$ – смещение центра масс выстрела.

Разработка динамической модели гранатомета

В рамках разработки динамической модели системы «гранатомет – автомат» принят ряд следующих допущений:

- предполагается, что перемещение и вращение в горизонтальной плоскости не обладают значительной величиной;

- движение механической системы рассматривается в двухмерном пространстве и происходит в вертикальной плоскости, которая включает в себя ось ствола и центры масс системы;

- механическая система состоит из ствольной коробки со стволом и прикрепленным к стволу подствольным гранатометом. Подствольный гранатомет движется относительно ствола со ствольной коробкой;

- все демпфирующие элементы имеют сравнительно небольшие размеры, поэтому все демпферы рассматриваются линейно;

- после момента контакта ствольной коробки со стволом в сборе и подствольного гранатомета во время импульса отдачи движение рассматривается как у единого твердого тела.

Для определения движения системы «гранатомет – автомат» вводятся следующие ортогональные системы координат (рис. 7):

Ox_0y_0 – инерционная система координат;

$C_r x_1 y_1$ – система, параллельная системе координат с началом координат, зафиксированная в центре масс системы «гранатомет – автомат»;

$C_s x_2 y_2$ – система, зафиксированная в начале координат центра масс подствольного гранатомета.

Уравнения Лагранжа второго рода [14, 15] при наличии диссипативных сил будут иметь вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = \frac{\partial V}{\partial q_j} - \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_j} + Q_j^N, \quad (1)$$

где $j=1, 2, \dots, 4$ соответствует выбранной инерциальной системе координат;

$q_1 = \varphi$ – угол отклонения оси гранатомета от системы координат $Y_1 Z_1$;

$q_2 = x_r$ – координата ц.т. гранатомета в инерциальной системе координат по оси x ;

$q_3 = y_r$ – координата ц.т. гранатомета в инерциальной системе координат по оси y ;

$q_4 = s$ – перемещение ц.т. гранатомета в инерциальной системе координат вдоль оси гранатомета.

Полная кинетическая энергия будет равна

$$T = \frac{1}{2} m_r V_r \cdot V_r + \frac{1}{2} m_s V_s \cdot V_s + \frac{1}{2} (J_r + J_s) \dot{\varphi}^2, \quad (2)$$

Потенциальная энергия системы

$$V = m_r g y_r + m_s g [y_r - (b + s) \sin \varphi + a \cos \varphi] + \frac{k s^2}{2}. \quad (3)$$

Функция диссипации Релея определяется выражением

$$D = \frac{1}{2} b_{h\varphi} \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} b_{hx} \dot{x}_r^2 + \frac{1}{2} b_{hy} \dot{y}_r^2. \quad (4)$$

Путем использования принципа виртуальной работы определяются непотенциальные обобщенные силы, не входящие в диссипативную функцию

$$\delta A = \sum_{j=1}^4 Q_j^N \delta q_j, \quad (5)$$

где каждая составляющая определяется выражением

$$Q_\varphi^N = (a - c)[P_s(t) - Q(t)],$$

$$Q_{y_r}^N = -[P_s(t) - Q(t)]\sin\varphi,$$

$$Q_{x_r}^N = [P_s(t) - Q(t)]\cos\varphi,$$

$$Q_s^N = [-k_{c1}(s - (s_{max} - e_1)) - b_{c1}\dot{s}]H(s - (s_{max} - e_1)) - b_{c2}\dot{s}H(e_2 - s) + P_s(t).$$

На начальном этапе гранатомет и выстрел рассматриваются как единое твердое целое с тремя степенями свободы x_r , y_r , φ . Ударные силы возникают при наложении односторонних ограничений [15] и движении выстрела в канале ствола гранатомета до момента покидания ствола. Для решения поставленной задачи, как показала практика, наиболее подходящим является метод конечных элементов (МКЭ), теория которого подробно представлена в работах О. Зенкевича, Сегерлинда и др. авторов.

Численное моделирование выстрела

Рассматривая выражение (1) и представляя его в матричном виде, исходя из конечно-элементной постановки задачи [16], как это отмечено в работе [17], получили пять выражений следующего вида:

$$[K_i]\{X_i\} + [H_i]\{\dot{X}_i\} + [M_i]\{\ddot{X}_i\} + \{F_i\} + \{Q_i^N\} = 0,$$

где $i = 1$ – соответствует выстрелу (гранате); $i = 2$ – соответствует гранатомету; $i = 3$ – соответствует автомату (стволу и способу его закрепления); $i = 4$ – соответствует коробке автоматического оружия; $i = 5$ – соответствует опоре крепления автомата; Q_i^N – вектор внешних сил действующих на детали; F_i – вектор сил, обусловленный действием давления; $[K_i]$ – матрица жесткости; $[H_i]$ – матрица сопротивления; $[M_i]$ – матрица масс. Произведение матрицы масс на соответствующие ускорение дает возможность учесть в расчетах действие инерционной составляющей.

Выражения (9), созданные для каждой составляющей стрелкового комплекса и объединенные в систему уравнений связаны между собой условиями равенства касательных напряжений в зоне сопряжения деталей:

$$[\tau_{kn}]_i = -[\tau_{kn}]_j, \quad (10)$$

а также условиями связности перемещений типа:

$$\{X_i\} = -\{X_j\}, \quad (11)$$

где i и j соответствуют сопряженным узлам контактирующих деталей.

В случае наличия натяга (прессовое соединение) выражение (11) принимает вид:

$$\{X_i\} - \{X_j\} = \left\{ \frac{\Delta}{2} \right\},$$

где Δ – величина натяга.

Условие связности могут иметь другой вид, в зависимости от конструктивного исполнения. На начальном этапе моделирования рассматривается контакт гранатомета и ствола, закрепленного в ствольной коробке. Способы крепления отражены на рисунках.

На основании численного моделирования выстрела, учитывающего результаты работ О. Зенкевича, Л. Сегерлинда и авторов [18], получены результаты о перемещениях и распределении напряжений в рассматриваемом изделии.

Анализ результатов численного эксперимента

По разработанной динамической модели [18] был проведен численный эксперимент, описывающий процесс выстрела из подствольного гранатомета, установленного на опорный образец (автомат). Численный эксперимент проводился с разными способами крепления автомата с подствольным гранатометом, имитирующими способы удержания при производстве выстрела, для приближения к реальным условиям эксплуатации.

Численное моделирование проводилось при статичном нагружении. Значения внутрибаллистических характеристик выстрела ВОГ-25М, взятых для моделирования, приведены на рис. 8

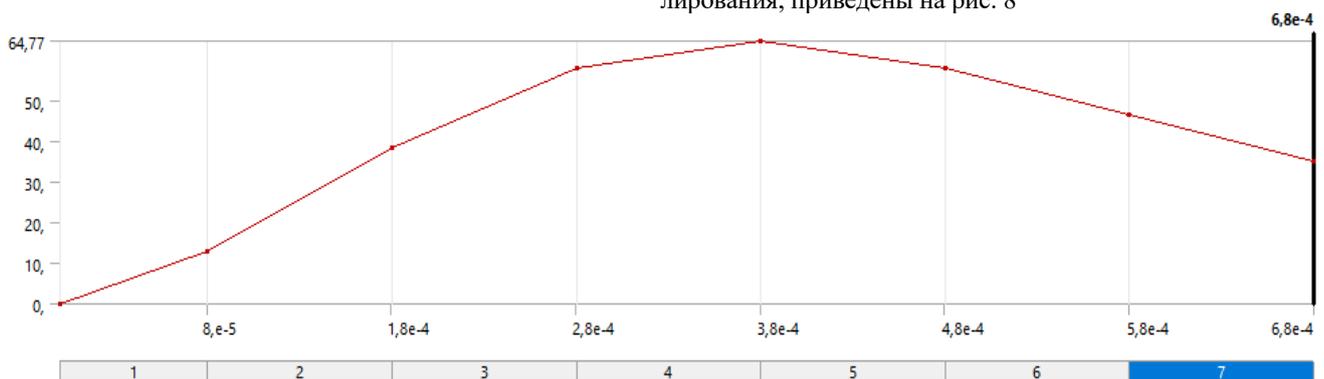


Рис. 8. Кривая нагружения (P , МПа= $f(t, \text{мс})$)

Fig. 8. Loading curve (P , MPa = $f(t, \text{ms})$)

Численное моделирование выстрела оценивалось по следующим характеристикам:

- общие деформации;
- перемещения по оси Y ;
- перемещения по оси X ;
- запас прочности;

Первым численному моделированию подвергся способ крепления автомата за магазин и упором в затылок приклада, как продемонстрировано на рис. 9. Нагрузка прилагалась на дно ствола подствольного гранатомета при значении давления, равном 35,27 МПа.

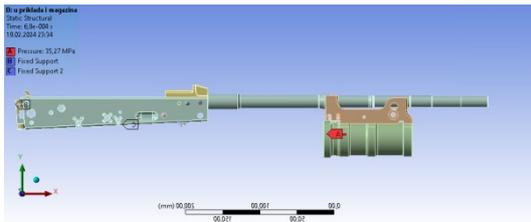


Рис. 9. Схема крепления автомата с подствольным гранатометом за магазин и упором в затылок приклада

Fig. 9. The mounting scheme of a machine gun with a grenade launcher behind the magazine and an emphasis on the back of the butt

После приложения нагрузки видно, что отклонение дульного среза канала ствола на момент выстрела составило от минимальной точки 6,12 мм, как показано на рис. 10.

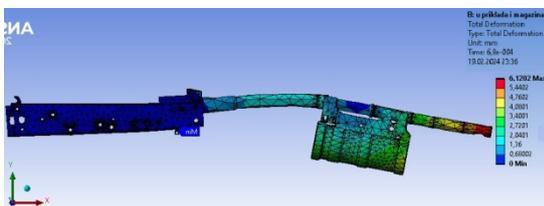


Рис. 10. Общие деформации ствола автомата на момент выстрела из подствольного гранатомета

Fig. 10. General deformations of the barrel of the machine gun at the time of firing from the grenade launcher

При оценке результатов численного моделирования выстрела по перемещениям в осях X и Y (рис. 11, 12) наблюдается значительная пластическая деформация ствола. Деформация ствола автомата составила от $-6,084$ до $1,895$ мм по оси Y и от $-3,125$ до $0,02$ мм по оси X .

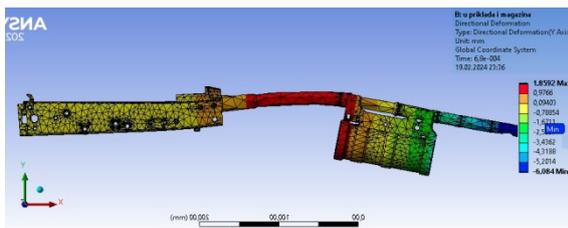


Рис. 11. Перемещения по оси Y при приложении нагрузки на дно канала ствола подствольного гранатомета

Fig. 11. Movement along the Y axis when a load is applied to the bottom of the barrel of a grenade launcher

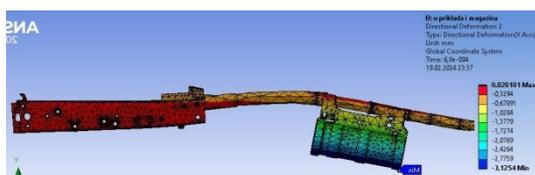


Рис. 12. Перемещения по оси X при приложении нагрузки на дно канала ствола подствольного гранатомета

Fig. 12. Movement along the X -axis when a load is applied to the bottom of the barrel of a grenade launcher

Чтобы определить критичность деформаций, полученных при численном моделировании выстрела, была произведена оценка по запасу прочности конструкции (рис. 13).

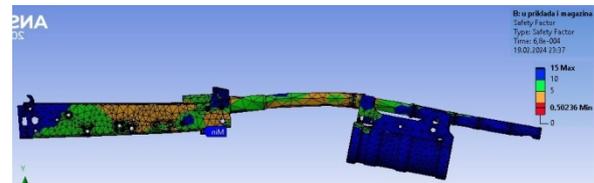


Рис. 13. Запас прочности конструкции при производстве численном моделировании выстрела из подствольного гранатомета

Fig. 13. The margin of safety of the structure in the production of numerical simulation of a shot from a grenade launcher

По результатам численного моделирования выстрела из подствольного гранатомета выстрелом ВОГ-25М при креплении автомата за магазин и упором в затылок приклада с нагруженным на дно канала ствола подствольного гранатомета получен запас прочности со значением $0,50236$. При полученном значении запаса прочности можно сделать вывод, что прочностные характеристики опорного образца (автомата) при циклическом нагружении такого рода не обеспечиваются и серия выстрелов из подствольного гранатомета приведет к выводу из строя или нарушению работоспособности самого автомата, что в свою очередь приведет к снижению эксплуатационных характеристик изделия в целом.

Аналогичным образом был проведен ряд численных экспериментов согласно ранее приведенной математической модели. Отличие в численных экспериментах заключалось в определении зависимости влияния деформации и значения запаса прочности образца от способов его крепления. Результаты моделирования приведены на рис. 14–18.

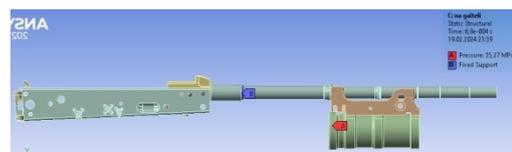


Рис. 14. Схема крепления автомата с подствольным гранатометом за место крепления колодки прицельной планки на стволе

Fig. 14. The mounting scheme of the machine gun with a grenade launcher for the place of attachment of the sighting bar on the barrel

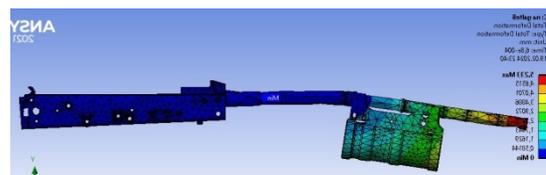


Рис. 15. Общие деформации ствола автомата на момент выстрела из подствольного гранатомета

Fig. 15. General deformations of the barrel of the machine gun at the time of firing from the grenade launcher



Рис. 16. Перемещения по оси Y при приложении нагрузки на дно канала ствола подствольного гранатомета

Fig. 16. Movement along the Y axis when a load is applied to the bottom of the barrel of a grenade launcher

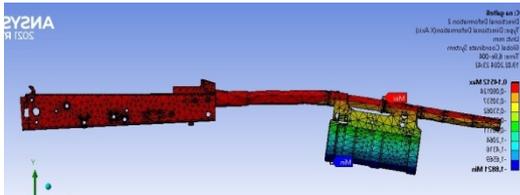


Рис. 17. Перемещения по оси X при приложении нагрузки на дно канала ствола подствольного гранатомета

Fig. 17. Movement along the X -axis when a load is applied to the bottom of the barrel of a grenade launcher

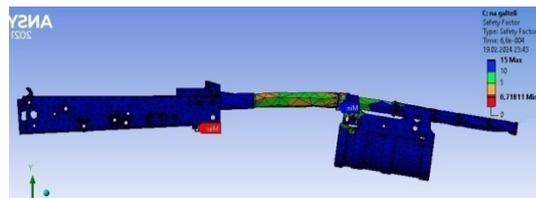


Рис. 18. Запас прочности конструкции при производстве численного моделирования выстрела из подствольного гранатомета

Fig. 18. The margin of safety of the structure in the production of numerical simulation of a shot from a grenade launcher

При закреплении автомата в зоне посадочного места под колодкой прицельной планки запаса прочности незначительно повысился на 15–20 % относительно способа закрепления за магазин и упоре в затылк приклада.

Наибольшую нагрузку начало воспринимать крепление подствольного гранатомета на стволе, являясь концентратором напряжений и плечом изгибающего момента ствола автомата.

По результатам численного моделирования эксперимента определено, что конструкция оцифрованного автомата и, в частности, сам ствол, являющийся несущим элементом, не обладают требуемым запасом прочности для продолжительного функционирования в системе «автомат – подствольный гранатомет».

Выводы

1. Для численного моделирования динамической системы «автомат – гранатомет» разработана плоская физическая модель с целью решения поставленной задачи.

2. Приведены расчетные схемы для формирования граничных условий, предусматривающих различные

способы базирования/крепления системы «автомат – гранатомет».

3. Разработана математическая модель системы «автомат – гранатомет», описывающая ее как твердое тело с тремя степенями свободы, воспринимающая ударные односторонние нагрузки при движении выстрела по каналу ствола подствольного гранатомета.

4. Проведено численное моделирование выстрела из подствольного гранатомета, в ходе которого выявлен недостаточный запас виртуальной модели системы «автомат – гранатомет». Дополнительно отмечены значительные величины перемещений по осям X и Y , что может привести к пластическим деформациям конструкции.

5. Результаты численного моделирования выстрела с кратковременным постоянным давлением в системе «автомат – гранатомет» необходимо сравнить с результатами, полученными при численном моделировании с динамическими условиями нагружения, с учетом распределения давления в канале ствола гранатомета по времени.

6. Для проверки уровня сходимости результатов разработанной математической модели требуется проведение натурального эксперимента.

7. Проведенная работа показала, что предложенный подход позволяет еще на стадии проектного решения определить слабые места разрабатываемой конструкции и внести необходимую корректировку конструкции изделия.

Библиографические ссылки

1. Проектирование спецмашин. Часть 1. Проектирование стрелково-пушечного вооружения / М. В. Грязев, А. Г. Шипунов [и др.]. Тула : изд-во ТулГУ, 2008. 306 с. ISBN 978-7679-1187-5.
2. Математическая модель выстрела модульного мультикалиберного стрелкового оружия в системе «стрелок-оружие» / А. А. Громов, М. С. Воротилин, В. М. Чайковский, Ю. В. Чебурков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 140–145.
3. Писарев С. А., Чирков Д. В. О системности процессов проектирования и конструирования оружия, подготовки оружейников, опосредованно связанных с обеспечением военной безопасности страны // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 7-8. С. 128–133.
4. Галаган Л. А., Чирков Д. В., Сахратов Р. Ю. Автоматы Калашникова. Функционально-морфологический анализ. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. С. 160.
5. Проектирование спецмашин : учебник / О. Г. Агошков, А. Ю. Александров, С. А. Алексеев [и др.]; под редакцией Г. И. Закаменных [и др.]; Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный технический университет. Волгоград : ВолгГТУ, 2017. С. 396.
6. Алексеев С. А. Системные методы исследования конструкций стрелкового оружия // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 5–14.
7. Чирков Д. В., Федорова Е. А. К вопросу определения характеристик движения объекта на основе высокоскоростной видеосъемки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С. 53–63.

8. Алексеев С. А., Драгунов М. Е. О двигателях автоматике и других понятиях теории автоматического оружия // Вопросы оборонной техники. Сер. 4. 2019. Вып. 1 (185). С. 48–55.

9. Русяк И. Г., Суфиянов В. Г., Клюкин Д. А. Одномерная математическая модель колебаний ствола с поперечным сечением произвольной формы // Вестник томского государственного университета. Математика и механика. 2022. № 80. С. 133–146.

10. Писарев С. А., Чирков Д. В., Федорова Е. А. Анализ аберраций и способов минимизации их влияния на результаты исследований быстропротекающих динамических процессов с использованием видеокамеры высокоскоростной съемки // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 4. С. 6–15.

11. Русяк И. Г. Влияние размерности математической модели внутренней баллистики на расчетные параметры выстрела для зарядов и зернового пороха // Вестн. Томск. гос. ун-та. матем. и мех. 2021. С. 95–110.

12. Cyprian Suchocki, Janusz Ewertowski Modeling and numerical simulation of semi-automatic pistol dynamics // Journal of theoretical and applied mechanics, 2015, 53, 1. pp 81-91. Weashaw.

13. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: Ленанд, 2021. 130 с.

14. Шведчиков С. В., Щенятский А. В., Пахомов Р. В. Подходы к определению параметров динамических процессов, напряженно-деформированного состояния и прочности элементов систем автоматического оружия // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 1. С. 105–113.

15. Vavrojr J. Kinematic and dynamic analysis and distribution of stress in items of planar mechanisms by means of the MSB ADAMS software. Manufacturing technology. 2017. Vol. 17, no. 2, pp. 267-270.

16.

References

1. Gryazev M.V., Shipunov A.G. [et al.] Design of special vehicles. Part 1. Designing small arms and cannon armament. Tula: Publishing TulSU, 2008. 306 p. ISBN 978-7679-1187-5 (in Russ.).

2. Gromov A.A., Vorotilin M.S., Tchaikovskiy V.M., Cheburkov Yu.V. [A mathematical model of a shot of modular multi-caliber small arms in the "shooter-weapon" system]. Izvestiya Tula State University. Technical sciences. 2023. No. 9. Pp. 140-145 (in Russ.).

3. Pisarev S.A., Chirkov D.V. [On the consistency of the processes of designing and constructing weapons, training gunsmiths, indirectly related to ensuring the military security of the country]. Issues of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism. 2018. No.7-8 (119-120). Pp. 128-133 (in Russ.).

4. Galagan L.A., D.V. Chirkov, R.Y. Avtomaty Kalashnikova. Funktsional'no-morfologicheskii analiz [Saratov

Kalashnikov assault rifles. Functional and morphological analysis]. Izhevsk, Publishing house of IzhSTU named after M.T. Kalashnikov. 2018. P. 160 (in Russ.).

5. Agoshkov O.G., Alexandrov A.Yu., Alekseev S.A., Bryzgalov Yu.B., Volkova I.E., Devyatkin V.A., Zaitsev A.S., Kovshov I.V., Steshov V.V., Fedotova N.V., Chervontsev S.E., Kucherov V.G., Zakamennykh G.I., Kucherov V.G., Chernovtsev S.E. *Proektirovanie spetsmashin* : uchebnik [Designing special vehicles]. Volgogradsky State Technical University. 2017. Vol. 1. P. 396 (in Russ.).

6. Alekseev S.A. [System methods of small arms designs research]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. 2020. Vol. 23, no. 3. Pp. 5-14 (in Russ.).

7. Chirkov D.V., Fedorova E.A. [On the issue of determining the characteristics of object motion based on high-speed video shooting]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. 2021. Vol. 24, no. 1. Pp. 53-63 (in Russ.).

8. Alekseev S.A., Dragunov M.E. [On automation engines and other concepts of the theory of automatic weapons]. Issues of defense technology. Series 4. 2019. Issue 1 (185). pp. 48-55 (in Russ.).

9. Rusyak I.G., Sufiyarov V.G., Klyukin D.A. [One-dimensional mathematical model of vibrations of a barrel with a cross-section of a free-form]. Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and Mechanics. 2022. No. 80. Pp.133-146 (in Russ.).

10. Pisarev S.A., Chirkov D.V., Fedorova E.A. [Analysis of aberrations and ways to minimize their impact on the results of studies of fast-flowing dynamic processes using a high-speed video camera]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. 2020. Vol. 23, no.4. Pp. 6-15.

11. Rusyak I.G. [The influence of the dimension of the mathematical model of internal ballistics on the calculated parameters of the shot for charges and grain powder]. *Vestn. Tomsk State University. matem. and fur.* 2021. Pp. 95-110 (in Russ.).

12. Cyprian Suchocki, Janusz Ewertowski Modeling and numerical simulation of semi-automatic pistol dynamics // Journal of theoretical and applied mechanics, 53, 1. pp 81-91. Weashaw 2015.

13. Rozin L.A. [The finite element method in application to elastic systems]. Moscow: Lenand, 2021. 130 p. (in Russ.).

14. Shvedchikov S.V., Schenyatsky A.V., Pakhomov R.V. [Approaches to determining the parameters of dynamic processes, stress-strain state and strength of elements of automatic weapon systems]. News of TulSU. Technical sciences. 2023. No. 1. Pp. 105-113 (in Russ.).

15. Vavrojr J. Kinematic and dynamic analysis and distribution of stress in items of planar mechanisms by means of the MSB ADAMS software. Manufacturing technology. 2017. Vol. 17, no. 2, pp. 267-270..

* * *

Numerical Simulation of “Submachinegun – Grenade Launcher” Dynamic System

S. V. Shvedchikov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

A. V. Schenyatsky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

A. V. Romanov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

In modern small arms, one of the most important technical characteristics is the survivability of barrel, which greatly affects the competitiveness of the product on the market. The task of increasing the survivability of the barrel of automatic small arms has not yet lost its relevance.

Based on the modern nature of combat and the multitasking of combat operations, complexes of manual automatic weapons with the use of various external devices, such as sighting devices of various designs, under-barrel grenade launchers, low-noise shooting devices, etc., are currently being developed on the basis of a single reference sample. When designing new samples, several approximated mathematical models are currently used, that do not take into account the impact of external devices on the dynamic and oscillatory processes occurring during firing from modern hand-held automatic weapons.

This article describes a physical and mathematical model of the dynamic interaction of an under-barrel grenade launcher and small arms (submachine gun), demonstrates a computational mathematical model for different types and methods of securing a device such as an under-barrel grenade launcher. The optimal computational model is revealed, allowing to describe the dynamic process of interaction of the system elements in the numerical simulation of the shot. Advantages and disadvantages have been identified, on the basis of which the goals and objectives of further work have been determined, consisting in studying the influence of external devices on the parameters of the barrel of automatic small arms, in order to improve the operational, tactical and technical characteristics of automatic small arms systems based on the development of a numerical and analytical approach, and a modular mathematical model of automatic small arms weapons.

Keywords: model, physical model, numerical model, submachinegun, grenade launcher, shot, dynamic system, calculation step, force, momentum, barrel.

Получено: 10.04.24

Образец цитирования

Шведчиков С. В., Шенятский А. В., Романов А. В. Численное моделирование динамической системы «автомат – гранатомет» // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 3. С. 113–120. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-113-120.

For Citation

Shvedchikov S.V., Shchenyatsky A.V., Romanov A.V. [Numerical simulation of “submachinegun – grenade launcher” dynamic system]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 3, pp. 113-120. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-113-120.