

УДК 623.451.054.93

МОДЕЛЬ РАЗЛЕТА ГОТОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СНАРЯДА С ДИСТАНЦИОННЫМ ПОДРЫВОМ

КУРЕЙЧИК А. Е., СОЛОНАР А. С., ЧИГИРЬ И. В.

*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В докладе представлена возможность применения снарядов с дистанционным подрывом при использовании различных метаемых сборок.

Abstract. The article presents the possibility of using projectiles with remote detonation when using various projectile assemblies.

Введение

Одним из основных способов повышения эффективности стрельбы зенитным артиллерийским (крупнокалиберным стрелковым) вооружением по малогабаритным целям является применение снарядов с дистанционным подрывом [1]. Применение данных снарядов обеспечивает увеличение радиуса эффективного действия его боевой части. Снаряды с дистанционным подрывом и метаемой сборкой являются отдельным классом боеприпасов осколочного действия. Осколочные боеприпасы наносят повреждение главным образом высокоскоростным потоком поражающих элементов (ПЭ), метаемых взрывом заряда метательного взрывчатого вещества. ПЭ представляют собой осколки естественного или заданного дробления, либо являются готовыми поражающими элементами (ГПЭ) [2-6].

Исходя из сказанного, целями настоящего доклада является разработка системы борьбы с малогабаритными целями, которая требует предложений и проверки эффективности адекватной математической модели по борьбе с данными целями. Основным элементом данной модели является разработка адекватной модели разлета готовых поражающих элементов снаряда с дистанционным подрывом. Этому и будет посвящен доклад.

Основная часть

Анализируемая модель разлета готовых поражающих элементов промоделирована в программном пакете MATLAB.

МОДЕЛЬ РАЗЛЕТА ГОТОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕДСТАВЛЕНА НА РИСУНКЕ 1 И ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ:

модель траектории полета программируемого снаряда, которая включает в себя уравнения внешней баллистики с учетом аэродинамических характеристик снаряда, прецессии, нутации и т.д.;

модель внутренней баллистики метаемой сборки, которая включает в себя уравнения внутренней баллистики в пределах стакана снаряда с учетом ориентации и частоты вращения снаряда и скорости ГПЭ внутри);

модель метаемой сборки, которая включает в себя определение числа ГПЭ и их расположение внутри метаемой сборки, форму и размеры метаемой сборки, а также параметры ГПЭ;

модель внешней баллистики ГПЭ, которая включает в себя модель движения ГПЭ внутри метаемой сборки, показывающая движение ГПЭ вплоть до их отделения, а также кинематическое уравнение полета ГПЭ в воздушном пространстве, которое показывает движение по уравнениям Жуковского с учетом аэродинамических характеристик ГПЭ.

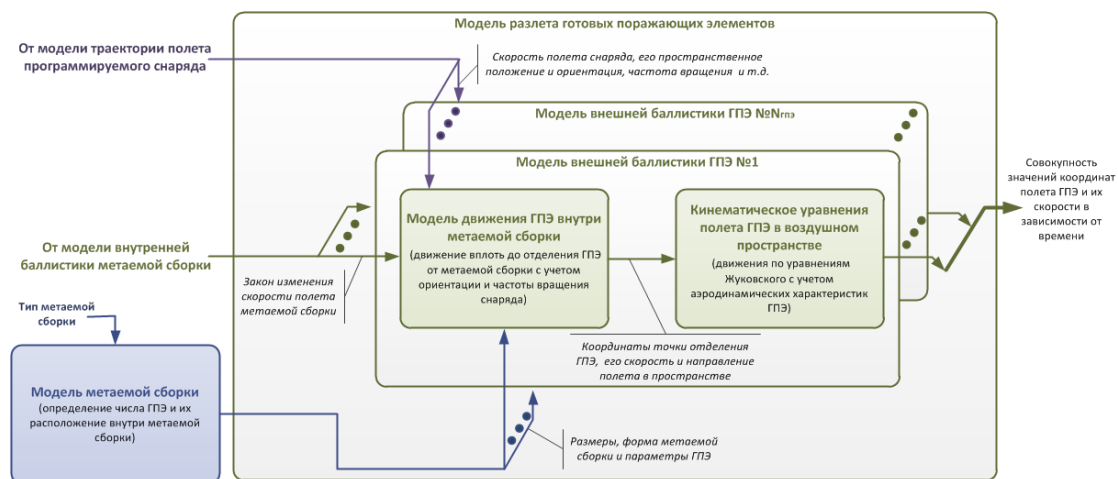
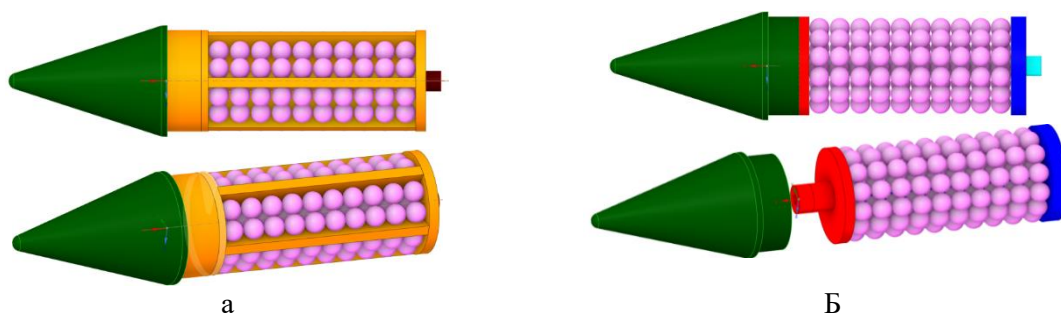


Рис. 1. Модель разлета готовых поражающих элементов

Модель метаемой сборки

Модель метаемой сборки, используемая в конструкции снаряда, проектировалась в приложении Workbench Mechanical из состава программного комплекса ANSYS и в программном комплексе LS-DYNA. Конструктивная схема снаряда определяется главным образом способом выброса ПЭ из корпуса [3, 5-7]. Одним из основных способов выброса ПЭ является применение в качестве выбрасываемого элемента вышибного заряда. Крепление ПЭ в единый блок осуществляется заливкой скрепляющим составом.

Метаемая сборка имеет следующий вид: кассетная метаемая сборка рисунок 2а; шрапнельная метаемая сборка рисунок 2б.



а – кассетная метаемая сборка;
 б – шрапнельная метаемая сборка

Рис. 2. Виды метаемой сборки

Исходя из требований, которые предъявляются к унитарным выстрелам патронного заряжения необходимо использовать для выброса вышибной заряд с заливкой ПЭ в единый блок скрепляющим составом. В качестве скрепляющего состава необходимо использовать буроугольный воск, компаунд силиконовый, эпоксидный, полиуретановый, который обеспечивает сохранение формы единого блока в служебном обращении и исключает деформацию ГПЭ при выстреле и срабатывании вышибного заряда [3, 5, 7, 9].

Модель внутренней баллистики метаемой сборки

Для обеспечения плотного потока ГПЭ требуется разработать и предложить модель внутренней баллистики метаемой сборки. Она определяет порядок расположения и способ выбрасывания ГПЭ из снаряда.

Главной задачей вышибного заряда в снаряде будет создание необходимого давления его пороховых газов, достаточного для выброса ПЭ и срезание резьбы обтекателя. Важной практической задачей является оценивание порохового вышибного заряда метаемой сборки, который сообщает ей необходимую энергию, которая влияет на скорость и дальность полета потока ПЭ в осколочном поле. Для анализа порохового вышибного заряда выбрали следующие сорта порохов: дымный ДРП-2; пироксилиновый 4/1, П-45, ВТ; нитроглицериновый холодный НБПЛ42-20 [7-10].

В модели внутренней баллистики метаемой сборки применено решение основного уравнения внутренней баллистики (формула 1), которое учитывает горение пороха, образование пороховых газов, расширение пороховых газов, поступательное движения снаряда.

$$P = \frac{f\psi\omega - \left(\frac{k-1}{2}\right)\varphi mV^2}{S(l_{\psi} + l)} \quad (1)$$

где P – давление пороховых газов; f – сила пороха; k – коэффициент адиабатического (после сгорания пороха) расширения порохового газа; m – масса снаряда (метаемой сборки); φ – коэффициент учета второстепенных работ, на которые затрачивается энергия газа; ψ – доля сгоревшего пороха; ω – масса пороха; V – скорость движения снаряда (метаемой сборки) внутри ствола; S – площадь сечения ствола; l – путь пройденный снарядом (метаемой сборкой) внутри ствола; l_{ψ} – приведенная длина свободного объема камеры.

В результате моделирования, учитывая (1) были получены следующие зависимости давления пороховых газов (рисунок 3а), скорости полета метаемой сборки (рисунок 3б), пройденного расстояния метаемой сборки (рисунок 3в) от времени.

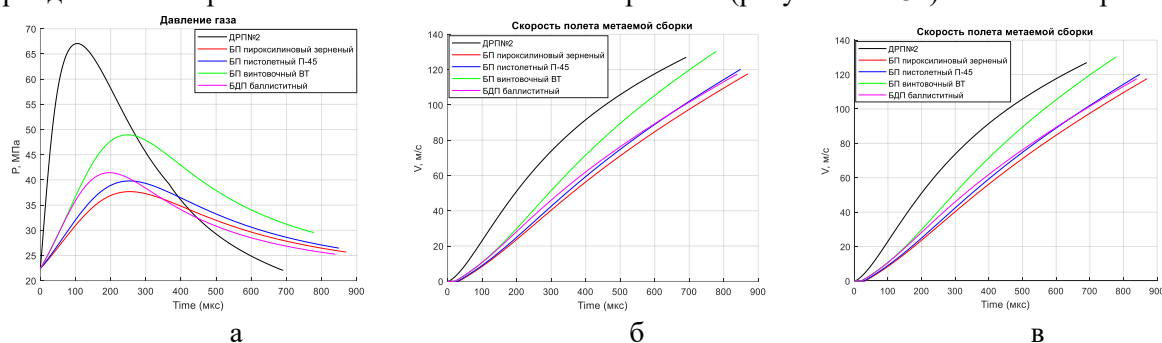


Рис. 3. Зависимость давления пороховых газов, скорости полета метаемой сборки, пройденного расстояния метаемой сборки от времени

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что правильный выбор сорта пороха улучшит баллистические и тактические характеристики метаемых сборок снарядов с дистанционным подрывом.

Оценка эффективности действия снаряда с дистанционным подрывом

При расчетах эффективности действия исходными данными являются [1, 4-5, 8-9]:

- количество ПЭ в снаряде;
- скорость выброса ПЭ из снаряда;
- угол разлета и распределение в нем ПЭ;
- условия в момент срабатывания снаряда;
- уязвимые характеристики и расположение целей на площади поражения.

При моделировании области разлета ГПЭ была применена модель внешней баллистики ГПЭ. Модель внешней баллистики ГПЭ основана на решении основной задачи внешней баллистики и представляет собой полную систему уравнений движения, учитывающей вращение и колебания относительно центра масс, с использованием аэродинамических сил и моментов. В рамках внешней баллистики пространственное перемещение ГПЭ принято рассматривать с использованием стартовой и траекторной систем координат [5, 8].

В общем случае пространственное перемещение ГПЭ представляется комбинацией поступательного движения центра масс и сопутствующего вращательного движения его продольной оси [8]. Динамику пространственного полета ГПЭ определяет система векторных дифференциальных уравнений [8]

$$m \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \sum \mathbf{F} + m\mathbf{g} + m\mathbf{\Lambda}, \quad (2)$$

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \sum \mathbf{M}, \quad (3)$$

где m – масса снаряда; $\mathbf{V} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$ – вектор земной скорости центра масс ГПЭ; V_x, V_y, V_z – проекции вектора скорости наблюдаемого ГПЭ на оси стартовой системы координат; \mathbf{F} – главный вектор всех внешних сил, действующих на ГПЭ; \mathbf{g} – вектор ускорения свободного падения; $\mathbf{\Lambda}$ – вектор ускорения Кориолиса; \mathbf{H} – вектор угловой скорости вращения ГПЭ; \mathbf{M} – вектор момента внешних сил.

Упрощенная математическая модель траектории пространственного перемещения ГПЭ имеет вид

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{\rho S C_D}{2m} V \mathbf{V} + \frac{\rho S C_{L_x}}{2m} V^2 \mathbf{a}_R + \frac{\rho S C_{N_{R_x}}}{2m} p (\mathbf{V} \times \mathbf{a}_R) + \mathbf{g} + \mathbf{\Lambda}, \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\rho S d^2 V}{2I_x} p C_{l_r}. \quad (5)$$

Исходные значения компонентов вектора скорости имеют вид

$$\begin{aligned} V_{x_0} &= V_0 \cos \varphi_{e_0} \cos \theta_{e_0}, \\ V_{y_0} &= V_0 \sin \theta_{e_0}, \\ V_{z_0} &= V_0 \sin \varphi_{e_0} \cos \theta_{e_0}, \end{aligned} \quad (6)$$

Начальное значение скорости вращения определяется выражением

$$p_0 = \frac{V_0}{Nd} \quad (7)$$

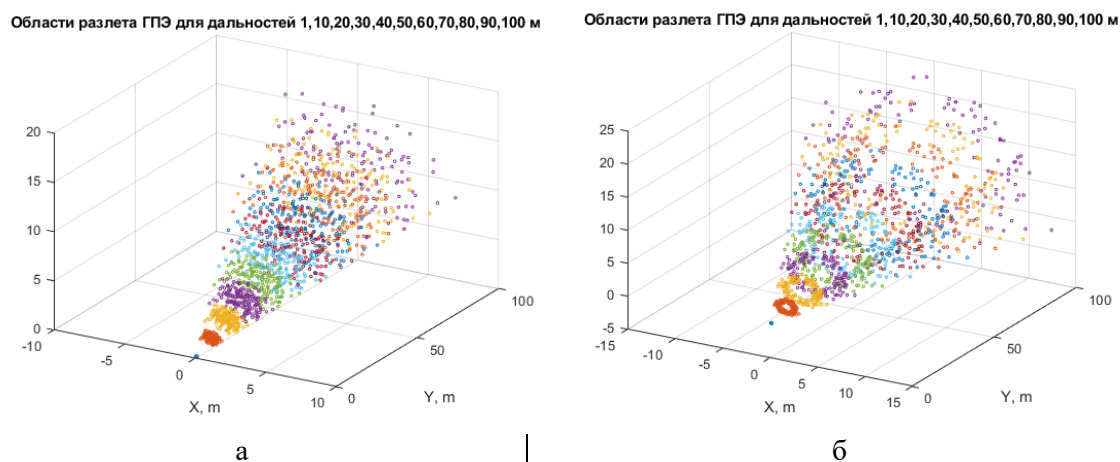
где N – количество нарезов в стволе; d – калибр снаряда.

Искомые координаты центра масс моделируемого ГПЭ в пространстве являются результатом интегрирования дифференциальных уравнений каждого компонента вектора скорости:

$$\begin{aligned} X(t) &= X_0 + \int_0^t V_x(\tau) d\tau, \\ Y(t) &= Y_0 + \int_0^t V_y(\tau) d\tau, \\ Z(t) &= Z_0 + \int_0^t V_z(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (8)$$

где X – дальность полета ГПЭ; Y – высота полета ГПЭ; Z – боковое отклонение ГПЭ; X_0 – начальное значение дальности полета ГПЭ; Y_0 – начальное значение высоты полета ГПЭ; Z_0 – начальное значение бокового отклонения ГПЭ.

Оценка области разлета ГПЭ для различных дальностей подрыва и изменения скорости полета ГПЭ от расстояния от точки подрыва с использованием модели разлета ГПЭ в программном продукте MATLAB при применении различных метаемоных сборок имеет следующий вид (рисунок 4):



а – шрапнельная метаемая сборка;
б – кассетная метаемая сборка

Рис. 4. Область разлета ГПЭ для различных дистанций подрыва. Вышеуказанные области разлета ГПЭ указывают, что шрапнельная метаемая сборка имеет высокую плотность ГПЭ на единицу объема, но относительно малый угол разлета, а кассетная метаемая сборка имеет относительно большой угол разлета, но имеет тороидальную форму области разлета ГПЭ.

Заключение

Таким образом, представленная модель разлета готовых поражающих элементов снаряда с дистанционным подрывом показывает, что при использовании различных видов метаемой сборки для анализа эффективности действия данных снарядов будет различна. Достоинством данной модели является то, что возможно применять различные формы метаемых сборок и параметры ПЭ и оценивать их эффективность действия по малогабаритным целям.

Список использованных источников

8. Повышение эффективности стрельбы зенитного (стрелкового) вооружения по малогабаритным беспилотным летательным аппаратам за счет применения шрапнельных снарядов / И. В. Чигирь [и др.] // Вестник Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2020. – № 2. – С. 66–77.
9. Желудок, И. С. Проектирование боеприпасов: учеб. пособие / И. С. Желудок. – Минск: ВА РБ, 2014. – 165 с.
10. Желудок, И. С. Устройство и действие снарядов, мин и взрывателей к ним. Учебное пособие / И. С. Желудок. – Минск: ВА РБ, 2014. – 173 с.
11. Носков, Б. И. Малокалиберные выстрелы к автоматическим пушкам: учеб. пособие / Б. И. Носков. – М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 1998. – 190 с.
12. Боеприпасы: учебник: в 2 т. / А. В. Бабкин [и др.]; под общ. ред. В. В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – Т. 2.
13. Генкин, Ю. В. Конструкция артиллерийских выстрелов: учеб. пособие / Ю. В. Генкин, Я. О. Павлов, М. А. Преображенская. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2012. – 114 с.
14. Рассоха, С. С. Осколочное действие боеприпасов: учеб. пособие / С.С. Рассоха, В.В. Селиванов; под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 209 с.
15. Балаганский, И. А. Основы баллистики и аэродинамики: учеб. пособие / И. А. Балаганский. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2017. – 200 с.
16. Знаменский, Е. А. Действие средств поражения и боеприпасов: справочное пособие / Е. А. Знаменский. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2010. – 95 с.
17. Пороха, твердые топлива и взрывчатые вещества: учеб. пособие / В.К. Марьин [и др.]; под общ. ред. В.П. Зеленским. – М.: Воеизд, 1984. – 202 с.