

С.М.Мужичек, доктор технических наук,  
профессор

М.А.Корзун, кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

И.А.Новиков, кандидат технических наук

В.В.Ефанов, кандидат технических наук,  
доцент

### **Автоматизированная технология оценки эффективности боеприпасов дистанционного действия при проведении их наземных испытаний**

*Предложена технология испытаний, которая позволяет в автоматизированном режиме определить законы распределения поражающих элементов поля поражения боеприпаса по форме, массе, направлениям и скорости разлета, общее число поражающих элементов, величину интегральной характеристики эффективности поражающего действия боеприпаса дистанционного действия для исследуемого объекта.*

#### **Введение**

Современное развитие науки и техники характеризуется, в первую очередь, бурным развитием информационных технологий, что позволяет по-новому решать практические задачи, связанные с проведением наземных испытаний изделий военного назначения, формирующих в окружающей среде быстропротекающие процессы.

Технология проведения наземных испытаний по определению частных показателей эффективности боеприпасов изложена в различных Руководствах по проведению испытаний, методиках, методических рекомендациях. Эта технология разрабатывалась во второй половине прошлого века, имеет ряд существенных недостатков, обусловленных имевшимися в то время уровнями развития науки и измерительной техники, не соответствует современным требованиям и требует обновления из-за дороговизны, низкой точности, недостаточной информативности и большой длительности обработки результатов испытаний.

#### **Основная часть**

Технология – это четкое и однозначное знание (обычно в виде набора правил или

алгоритма), позволяющее из исходных компонентов получить желаемый конечный результат. Оценку эффективности боеприпасов следует отнести к категории информационных технологий, поскольку ее результатом является информация для лица, принимающего решение.

Автоматизированная информационная технология – это информационная технология, в которой для передачи, сбора, хранения и обработки данных используются методы и средства вычислительной техники и систем связи.

Информационные технологии характеризуются следующими основными свойствами:

- предметом (объектом) обработки (процесса) являются *данные*;
- целью процесса является получение *информации*;
- средствами осуществления процесса являются программные, аппаратные и программно-аппаратные *вычислительные комплексы*;
- процессы обработки данных разделяются на *операции* в соответствии с выбранной предметной областью;

- выбор управляющих воздействий на процессы должен осуществляться *лицами, принимающими решение*;
- критериями оптимизации процесса являются *своевременность доставки информации пользователю, ее надежность, достоверность, полнота*.

Содержанием оценки эффективности боеприпасов дистанционного действия является построение графика координатного закона поражения и определение интегральной характеристики координатного закона – приведенной площади поражения  $S_{np}$  заданного объекта.

Современная технология оценки эффективности боеприпасов дистанционного действия заключается в следующем: вначале в память ЭВМ записываются все размеры, характеризующие особенность конфигурации исследуемого объекта (цели), данные о толщинах и материалах обшивки, координатах, габаритах и характеристиках уязвимости всех жизненно важных агрегатов. При этом внешние контуры цели и контуры ее отдельных конструктивных элементов представляются различного рода уравнениями поверхностей, соответствующих реальным очертаниям цели, или набором более простых фигур, что чаще всего используется для описания формы уязвимых отсеков (агрегатов) цели. Затем в память ЭВМ заносятся частные характеристики поражающего действия поражающих элементов: зависимости вероятностей пробивного, зажигательного, иницирующего действия поражающих элементов от их массы и скорости встречи, а также формулы для определения углов рикошетирувания в зависимости от массы и скорости поражающего элемента и характеристик преграды. Далее в память ЭВМ вводятся распределения поражающих элементов по форме, массе и направлениям разлета, общее число поражающих элементов и данные об условиях встречи, а также формулы для определения закона падения скорости поражающего элемента на траектории. Затем группа экспертов составляет список жизненно

важных отсеков (агрегатов) цели, вывод из строя которых приводит к той или иной степени поражения всей цели. После этого начинается процесс математического моделирования подрыва дистанционного боеприпаса с координатами  $(x, z)$  и определяются числа осколков, попавших в те или иные агрегаты, их масса и скорость. Далее по частным характеристикам вычисляются значения вероятностей поражения каждого из агрегатов каждым осколком, а затем вычисляется вероятность поражения этого агрегата, если в него попало  $n$  осколков. После этого вычисляется вероятность поражения всей цели  $G$  для точки с координатами  $(x, z)$  по формуле:

$$G = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_N),$$

где  $q_i$  – вероятность попадания в  $i$ -ю фигуру.

Проведя с определенным шагом  $\Delta x \Delta z$  подобные расчеты для всего пространства вокруг исследуемого объекта ЭВМ, вычисляет таблицу или строит графики значений  $G(x, z)$ . Эти таблицы или графики использовать для решения задач по выбору наряда сил, средств и условий применения боеприпасов дистанционного действия практически невозможно, так как для их использования потребуется смоделировать весь процесс боевого применения. Поэтому на практике пользуются интегральной характеристикой координатного закона – приведенной площадью поражения  $S_{np}$ , которая определяется по формуле:

$$S_{np} = \int_{-\infty}^{\infty} \int G(x, z) dx dz. \quad (1)$$

Приведенная площадь поражения – это некоторая условная площадь вокруг цели, при попадании боеприпаса дистанционного действия в которую считается, что цель выводится из строя с вероятностью равной 1.

Недостатком изложенной выше технологии является то, что исходные данные для проведения расчетов определяются методом натуральных испытаний.

Реализация метода натуральных испытаний на практике предполагает следующее:

испытания проводятся с боеприпасом в целом;

примерные условия боевого применения боеприпаса должны быть реализованы (имитированы) натурно;

объем натуральных испытаний обеспечивает необходимую точность и достоверность результатов испытаний;

контролируемые характеристики боеприпаса измеряются непосредственно, либо определяются по результатам усреднения, регистрируемым в процессе испытаний.

При использовании этого метода должны осуществляться:

воспроизведение условий, предусматриваемых программой испытаний;

регистрация результатов каждого измерения;

контроль параметров, обеспечивающих требуемые условия испытаний,

определение и проведение необходимого числа испытаний;

обработка и анализ полученной информации;

проведение расчетов по оценке или контролю характеристик боеприпаса.

Применение метода натуральных испытаний требует обеспечения:

измерительными средствами;

средствами автоматизации сбора, обработки и передачи информации;

средствами, обеспечивающими при испытаниях необходимые воздействия внешних факторов;

средствами контроля уровней внешних воздействующих факторов;

средствами (или их имитаторами), взаимодействующими с боеприпасом;

средствами документирования;

вычислительными средствами для обработки результатов испытаний;

средствами ремонта и обслуживания;

средствами связи.

Очевидно, что использовать этот метод для получения исходных данных при оценке эффективности боеприпасов дистанционного действия в настоящее время практически невозможно из-за физического отсутствия типо-

вых целей и их аналогов, сложности создания (имитации) реальных условий боевого применения. Кроме того, имеются большие проблемы с точностью и достоверностью получаемых результатов, что обусловлено недостатками известного методического аппарата проведения испытаний, а также ограниченным объемом испытаний.

Следовательно, необходимо искать новые пути получения достоверных исходных данных для математических моделей оценки эффективности боеприпасов дистанционного действия.

Сущность предлагаемого подхода заключается в следующем.

В общем случае любой боеприпас может быть представлен в виде математической модели, представляющей собой набор показателей, описывающих его боевые свойства:

$$A = f(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$$

$$B = f(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$$

$$C = f(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n),$$

$$\vdots$$

$$K = f(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n)$$

где  $A, B, C, \dots, K$  – количественные показатели, описывающие баллистические и частные характеристики поражающего действия конкретного боеприпаса, определяемые при проведении наземных натуральных испытаний;

$a_1, a_2, a_3, \dots, k_2, k_3, \dots, k_n$  – конструктивные параметры боеприпаса и его составных частей.

Определение показателей  $A, B, C, \dots, K$  при проведении наземных испытаний может осуществляться с помощью специально разработанных приборов, которые можно рассматривать как измерительную часть измерительно-моделирующего комплекса, и соответствующих общепринятых методик измерения вышеуказанных показателей.

Показатели  $A, B, C, \dots, K$ , определяемые при проведении наземных испытаний должны быть основой моделей для определения частных характеристик поражающего действия боеприпаса.

Соответственно вышеуказанный методический аппарат получения исходных данных при таком подходе является фундаментом (основанием) математической модели оценки эффективности поражающего действия дистанционного боеприпаса по типовым целям, а модель – надстройкой, позволяющей оценивать эффективность его поражающего действия для всего заданного диапазона условий боевого применения боеприпаса.

Поражающее действие боеприпаса дистанционного действия на исследуемый объект определяется воздействием на его жизненно важные отсеки (агрегаты) совокупности физических факторов боеприпаса.

Под физическими факторами изделия (боеприпаса) понимается ударная волна, тепловое поле, кинетическая энергия движения поражающих элементов поля поражения боеприпаса, их способность к пробивному, зажигательному, иницирующему действию, аэро(гидро) удару и т.д.

Под показателями поражающего действия боеприпаса дистанционного действия, определяемыми значениями его физических факторов, приводящих к поражению отсеков (зон) исследуемого объекта, в соответствии с действующей терминологией понимаются показатели фугасного действия боеприпаса (избыточное давление на фронте ударной волны, удельный импульс ударной волны), показатель зажигательного действия боеприпаса, показатель пробивного действия боеприпаса, показатель иницирующего действия боеприпаса, показатель аэроудара и т.д.

Например, фугасное действие боеприпаса дистанционного действия определяется ударной волной, возникающей в окружающей среде при его подрыве. Показателями фугасного действия такого боеприпаса применительно к его воздействию на исследуемый объект обычно считают избыточное давление на фронте ударной волны и удельный импульс ударной волны [1].

Широко известная формула для определения избыточного давления на фронте ударной волны имеет вид [1]:

$$\Delta p = A \frac{\sqrt[3]{\omega}}{R} + B \left( \frac{\sqrt[3]{\omega}}{R} \right)^2 + C \frac{\omega}{R^3} \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – константы, определяемые при проведении экспериментов для каждого боеприпаса индивидуально.

Формула для определения удельного импульса имеет вид

$$I = \int_0^{\tau} \Delta p dt,$$

где  $\Delta p$  – избыточное давление ударной волны,

$\tau$  – время действия фазы сжатия ударной волны.

Таким образом, для того чтобы правильно определять показатели фугасного действия конкретного боеприпаса дистанционного действия, необходимо уметь измерять давление и импульс ударной волны, возникающей в окружающей среде в результате его подрыва. Для этого авторами разработан специальный прибор – автономный измеритель давления<sup>1</sup>. В результате проведения экспериментов по подрыву боеприпаса, измерения давления и импульса ударной волны, обработки результатов экспериментов появляется возможность уточнения констант  $A$ ,  $B$ ,  $C$  в формуле (2) (избыточное давление на фронте ударной волны) и построения эмпирической расчетной зависимости для определения удельного импульса ударной волны применительно к данному конкретному боеприпасу.

Далее полученные зависимости используются при определении вероятности поражения исследуемого объекта за счет фугасного действия боеприпаса.

При попадании элементов поля поражения боеприпаса дистанционного действия в исследуемый объект он может быть поражен за счет зажигательного действия поля поражения, иницирующего поля поражения, про-

1 Патенты РФ на изобретение № 2367919, 2009; № 2395794, 2010.

бивного действия поля поражения, аэро- или гидроудара.

Зажигательное действие поля поражения боеприпаса дистанционного действия предлагается определять величиной текущего показателя зажигательной способности  $K_m$ , который определяют по формуле

$$K_m = \frac{I_1 + I_u}{I_1},$$

где  $I_1$  – величина светового импульса излучения лицевого факела металлических частиц, выбиваемых из металлической пластины поражающими элементами опытной боевой части;

$I_u$  – величина светового импульса излучения лицевого факела металлических частиц, выбиваемых из металлической пластины поражающими элементами исследуемой боевой части боеприпаса дистанционного действия.

Иницирующее действие поля поражения дистанционного боеприпаса предлагается определять величиной текущего показателя инициирования по формуле

$$K_m = \frac{K_2 + K_u}{K_2},$$

где  $K_2$  – величина показателя инициирования на основании усредненных параметров иницирующей ударной волны для пассивного заряда взрывчатого вещества в инертном исполнении для случая механического разрушения пассивного заряда взрывчатого вещества полем поражения опытной боевой части;

$K_u$  – величина показателя инициирования на основании усредненных параметров иницирующей ударной волны для пассивного заряда взрывчатого вещества в инертном исполнении для поля поражения боевой части испытываемого боеприпаса дистанционного действия<sup>1</sup>.

Пробивное действие боеприпаса дистанционного действия определяется величиной

показателя пробивной способности поля поражения боеприпаса по формуле

$$K_{np} = \frac{V_2 + V_1}{V_1},$$

где  $V_1$  – средняя скорость поля поражения испытываемого боеприпаса до пробития закрепленной преграды заданной толщины;

$V_2$  – средняя скорость поля поражения исследуемого боеприпаса после пробития закрепленной преграды заданной толщины<sup>2</sup>.

Величина показателя аэроудара поля поражения испытываемого боеприпаса определяется по формуле  $\Pi_a = \frac{\mathcal{E}_{y\delta}}{C_0}$ , где  $\mathcal{E}_{y\delta}$  – энергия аэроудара в типовом отсеке,  $C_0$  – энергетический критерий разрушения<sup>3</sup>.

Распределения поражающих элементов поля поражения боеприпаса дистанционного действия по форме, массам, направлениям и скорости разлета, общее число поражающих элементов могут быть определены в одном опыте<sup>4</sup>.

Распределения поражающих элементов поля поражения боеприпаса дистанционного действия по форме, массам, направлениям и скорости разлета, общее число поражающих элементов могут быть определены в одном опыте<sup>4</sup>.

Таким образом, предлагаемая автоматизированная технология оценки эффективности боеприпасов дистанционного действия при проведении их наземных испытаний сводится к следующему:

1) выделяют на чертеже исследуемого объекта поражения отсеки (агрегаты), имеющие различную уязвимость к действию физических факторов боеприпаса и определяют их характеристики уязвимости,

2) описывают внешние контуры объекта и его отдельных конструктивных элементов, получают проекции объекта на картинную плоскость,

3) определяют частные характеристики поражающего действия боеприпаса, при этом при проведении испытаний определяют в автоматизированном режиме законы распределения поражающих элементов поля поражения боеприпаса по форме, массе, направле-

2 Патент РФ на изобретение № 2490589, 2013.

3 Патент РФ на изобретение № 2484421, 2013.

4 Патент РФ на изобретение № 2482440, 2013.

1 Патент РФ на изобретение № 2491501, 2013.

ниям и скорости разлета, общее число поражающих элементов, величины показателей поражающего действия поля поражения дистанционного боеприпаса,

4) получают (уточняют) зависимости, связывающие показатели, характеризующие поражающее действие поля поражения дистанционного боеприпаса с величинами его физических факторов и техническими характеристиками поражаемого объекта при минимально необходимом количестве испытаний,

5) строят координатный закон поражения исследуемого объекта,

6) определяют величину интегральной характеристики эффективности поражающего действия боеприпаса дистанционного действия для исследуемого объекта,

7) сравнивают по величине интегральной характеристики дистанционные боеприпасы между собой.

### **Выводы**

Реализация предлагаемого подхода на практике позволит существенно снизить затраты на осуществление наземных испытаний боеприпасов, повысить качество и оперативность их проведения.

### **Список использованных источников**

1. Миропольский Ф.П., Пырьев Е.В., Головенкин В.В., Хрулин С.В. Авиационные боеприпасы. – М.: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. – С. 335-342.