

УДК: 623.4.018

DOI: 10.53816/20753608_2022_1_107

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНИРУЮЩИХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ
БОЕВОГО ОСНАЩЕНИЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ
В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ**

**THE METHODOLOGY OF CONDUCTING TESTS TO ASSESS
THE ACCURACY CHARACTERISTICS OF THE PLANNING MEANS
OF DESTRUCTION OF THE COMBAT EQUIPMENT
OF ROCKETS IN CONDITIONS OF LIMITED RESOURCES**

По представлению чл.-корр. РАРАН С.А. Баканеева

А.В. Елисов¹, И.В. Соколов², Д.А. Первухин¹

¹Михайловская военная артиллерийская академия,

²ЦНИИИ Инженерных войск им. Д.М. Карбышева

A.V. Elisov, I.V. Sokolov, D.A. Pervukhin

Предметом исследования в статье являются вопросы оценки точностных характеристик перспективных планирующих боеприпасов средств боевого оснащения реактивных снарядов на этапе их разработки и проведения приемочных испытаний. Определены пути развития методического аппарата по оценке точностных характеристик планирующих боеприпасов для оснащения реактивных снарядов с применением современных технологий компьютерного проектирования, электронного математического моделирования, имитационных программ и моделирующих комплексов.

Ключевые слова: приемочные испытания, точностные характеристики, реактивные снаряды, методика, математическое моделирование, имитационное моделирование.

The subject of the research in the article is the evaluation of the accuracy characteristics of promising planning ammunition for the means of combat equipment of rockets at the stage of their development and acceptance tests. The ways of development of the methodological apparatus for assessing the accuracy characteristics of planning ammunition for equipping rockets with the use of modern computer-aided design technologies, electronic mathematical modeling, simulation programs and modeling complexes are determined.

Keywords: acceptance tests, accuracy characteristics, rockets, methods, mathematical modeling, simulation modeling.

Основной упор в современном боевом противостоянии делается на высокоточное оружие (ВТО). В настоящее время в качестве ВТО широкое распространение получили различные планирующие средства поражения. К таким средствам относятся управляемые (корректируемые) авиационные бомбы, а также межконтиненталь-

ные баллистические ракеты с разделяющимися головными частями (РГЧ), оснащенными маневрирующими боевыми блоками (ББ).

Накопленный опыт, в рамках применения планирующих средств поражения с ББ, и достижения в области разработки планирующих авиационных средств поражения (ПАСП), соз-

дают хорошие предпосылки для проработки оснащения ББ индивидуального наведения перспективных реактивных систем залпового огня (РСЗО) большого калибра с РГЧ, на стыке соответствующих научно-технических направлений с целью реализации концепции «стаи» при преодолении ПРО/ПВО вероятного противника. Одним из важнейших результатов здесь может быть увеличение дальности действия РСЗО за счет увеличения дальности пуска ракет и реактивных снарядов, оснащенных планируемыми боевыми блоками (ПББ) индивидуального наведения, поскольку опыт разработки и применения таких средств поражения в виде управляемых авиационных бомб (УАБ) показывает возможности построения траектории от точки разделения до цели, протяженностью порядка 100–120 км, даже без использования в составе УАБ маршевой двигательной установки [1, 2].

Очевидно, что концепция применения «стаи» ПББ индивидуального наведения с позиций критерия «эффективность–стоимость» будет жизнеспособна в том случае, если:

применение двух ПББ индивидуального наведения, носимых одним реактивным снарядом, по любой типовой одиночной цели будет более эффективно, чем применение по ней же ракеты с головной частью (ГЧ) сосредоточенного действия или кассетного реактивного снаряда, как в условиях отсутствия, так и в условиях противодействия ПРО/ПВО вероятного противника;

совокупная стоимость потребного количества противодействующих перехватчиков ПРО и зенитных ракет ПВО противника на перехват всех ПББ в одной атаке превысит совокупную стоимость ракеты или реактивного снаряда.

Каждый ПББ средств боевого оснащения реактивных снарядов индивидуального наведения должен быть оснащен относительно простой и дешевой бортовой системой управления (БСУ), обеспечивающей попадание в заданную цель по известным координатам. В процессе боевого применения РГЧ должна разделяться на несколько блоков на значительном расстоянии от цели. Каждый из ПББ предназначен для поражения конкретной цели, координаты которой перед пуском ракеты или реактивного снаряда перед разделением БЧ вводятся в БСУ ПББ индивидуального наведения. При этом функцию БСУ реактивного снаряда в целом могут выполнять

БСУ ПББ индивидуального наведения в режиме резервирования. В случае использования в ПББ индивидуального наведения комплексированной с глобальной спутниковой навигационной системой (ГСНС) инерциальной системы управления ошибка в определении текущего местоположения ПББ будет снижаться до уровня единиц метров, так как данные бортовой аппаратуры потребителя каждого ББ индивидуального наведения, входящего в состав РГЧ, будут сравниваться и усредняться. Точность попадания ПББ индивидуального наведения в цель, в итоге, прогнозируется достаточно высокой, соответствующей классу ВТО. Исходя из этого, применение для ПББ индивидуального наведения относительно недорогих БСУ и комплексирование их в общую БСУ ракеты и реактивного снаряда обеспечит высокую точность попадания и увеличит надежность бортового комплекса в целом.

В качестве точностной характеристики испытываемого ПББ средств боевого оснащения реактивных снарядов может рассматриваться вероятность прямого попадания в цель с первого выстрела или рассчитанная вероятность попадания в цель или зону, в которой находится цель.

При необходимости достижения еще большей точности попадания ПББ индивидуального наведения в цель (при поражении бронированных и высокозащищенных объектов) возможно их оснащение простой системой самонаведения. Если комплексированная БСУ выведет ПББ индивидуального наведения к цели с ошибкой в 3–5 метров, то система самонаведения обеспечит попадание блока в цель с высокой вероятностью. При этом исключается захват несколькими блоками одной цели, и снижается вероятность наведения на ложную цель.

Для оценки показателя точности используются результаты испытаний, полученные на счетных по точности пусках. Пуски считаются счетными по точности, если они произведены в соответствии с программой испытаний и при условии, что все элементы комплекса функционировали безотказно. Для решения о признании пуска несчетным по точности комиссией по проведению испытаний привлекаются результаты внешнетраекторных, радиотелеметрических и радиолокационных измерений, осмотра реактивного снаряда или ПББ в районе разрыва (падения), а также проверки функционирования

других элементов испытываемого комплекса (ПУ, станции наведения или целеуказания, средств связи и синхронизации и т.п.) [3].

ПББ считается попавшим в цель (или заданную зону, в которой находится цель), если в результате пуска ПББ попал в контур цели (контур данной зоны). Для цели типа «Радиолокационная станция» — фигуру, образованную прямыми линиями, соединяющими крайние выступающие точки цели.

Оцениваемыми показателями точности являются:

– вероятность попадания при стрельбе на максимальную дальность, минимальную, промежуточную;

– средняя вероятность попадания во всем диапазоне дальностей.

Определение выборочного значения (точечной оценки) вероятности попадания в цель (или в зону, в которой расположена цель) производится по соотношению:

$$P_{\text{сн}} = \frac{l}{n},$$

где n — количество счетных по точности выстрелов, производимых на данную дальность или общее количество счетных выстрелов;

l — количество попаданий в цель (или в заданную зону) из n выстрелов.

Примечание. Точечную оценку вероятности попадания в цель допускается оценивать сравнением характеристик закона распределения промаха снаряда с размерами цели.

Значения P_{L1}^n и P_{U1}^n доверительных границ выборочного значения вероятности попадания являются корнями уравнений Клоппера-Пирсона:

$$\sum_{k=0}^m \binom{n}{k} P_{L1}^{n-k} (1 - P_{L1})^k = 1 - \gamma;$$

$$\sum_{k=0}^{m-1} \binom{n}{k} P_{U1}^{n-k} (1 - P_{U1})^k = \gamma,$$

где γ — заданная доверительная вероятность;

$\binom{n}{k}$ — число сочетаний из n по k ;

$$m = n - l.$$

Приближенные значения P_{L1}^n , P_{U1}^n могут быть определены по зависимостям (при $P > 0,9$):

$$P_{L1}^n = 1 - \frac{\chi_{\gamma}^2(2(n-l))}{2n};$$

$$P_{U1}^n = 1 - \frac{\chi_{1-\gamma}^2(2(n-l))}{2n}.$$

В случае отсутствия промахов ($l = n$) значения P_{L1}^n , P_{U1}^n находятся в виде:

$$P_{L1}^n = (1 - \gamma)^{v_n};$$

$$P_{U1}^n = 1.$$

Кроме того, по согласованию между разработчиком и заказчиком, вместо точечной оценки определяется значение нижней доверительной границы P_n^* при доверительной вероятности $\gamma_l = 0,9$ по формуле:

$$P_n^* = \sqrt[n]{0,9}.$$

При определении вероятности попадания как функции отклонения от центра цели за центр цели принимается геометрический центр фигуры, ограничивающей габариты цели (фиксируется у каждой цели до стрельбы). Под промахом принимается величина отклонения разрыва снаряда (точка падения) от центра цели или его координаты.

В качестве аппроксимирующих законов статистических данных результатов стрельбовых испытаний выбираются:

- нормальный закон распределения;
- логарифмически нормальный закон распределения;
- экспоненциальный закон распределения [2].

Если аппроксимирующий закон распределения нормальный, считаются среднее значение конечных промахов r и его среднее квадратическое отклонение (σ_r):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n};$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - r)^2}.$$

Если вид аппроксимирующего закона до проведения испытаний не известен, то параметры и зависимости вероятности попадания

от величины конечного промаха определяются для всех видов законов распределения. Кроме приведенных в методике законов, для аппроксимации могут использоваться и другие законы распределения.

Стрельбовые испытания должны проводиться во всем диапазоне дальностей пусков, в различных климатических, географических и тактических условиях.

Для повышения достоверности оценки точностных характеристик испытываемых перспективных ПББ средств боевого оснащения реактивных снарядов необходимо использовать результаты математического, имитационного моделирования и предыдущих этапов испытаний.

При анализе статистической информации стоит задача повышения точности и достоверности оценок надежности путем привлечения для анализа априорной информации. Оценка производится из выборок значений $T_{a1}, T_{a2}, \dots, T_{ak}$, полученных при проведении стрельбовых испытаний, выборки $T_{b1}, T_{b2}, \dots, T_{bk}$ на основе математического, имитационного моделирования, а также результатов, зафиксированных на предыдущих исследованиях. Указанные выборки могут содержать как полные данные, так и цензурированные (неполные) данные. По каждой из этих выборок можно построить эмпирическую функцию распределения с последующей обработкой и получением точностных характеристик ПББ средств боевого оснащения реактивных снарядов. Объединение выборок в одну может привести к повышению точности оценок, но только если выборка, полученная в результате проведения стрельбовых испытаний, однородна выборкам, полученным путем имитационного моделирования, и результатами, зафиксированными на предыдущих исследованиях. Таким образом, правомерность объединения информации может быть доказана обоснованием ее однородности.

Общая схема классификации методов оценки однородности приведена на рисунке. Совместимость результатов вычислительных экспериментов с результатами стрельбовых испытаний проверяется с помощью различных критериев согласия (Пирсона, Колмогорова и т.д.).

Обработка, анализ и оценка результатов испытаний производятся из статистических данных, полученных по всем видам стрельбо-

вых испытаний, предусмотренных программой испытаний.

Сравнение статистических данных, полученных при проведении испытаний, осуществляется с теоретическими, получаемыми в соответствии с выбранным законом распределения [2].

Если объем выборки небольшой — $n < 30$, строится вариационный ряд, если объем выборки $n > 30$, производится группировка исходных данных.

Выбирается один из критериев согласия: Пирсона, Колмогорова и сравниваются эмпирические (опытные) значения функции распределения и значения, получаемые по законам распределения [3].

Если используется критерий согласия Пирсона, то вычисляются значения:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(n_i - P_n(r_i)n)^2}{n_i} \right]$$

и по таблице критических точек распределения χ^2 по заданному уровню значимости γ и числу степеней свободы находится критическая точка $\chi_{кр}^2(\gamma, k)$.

Если $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, то такие законы достаточно удовлетворительно аппроксимируют полученные в ходе испытаний статистические данные. Число степеней свободы определяется по формуле:

$$k = n - l - q,$$

где q — число параметров предполагаемого распределения по данной выборке.

Сравнение статистических данных, полученных на данном этапе испытаний, с данными, полученными на предыдущих этапах, с целью их объединения осуществляется по соотношению:

$$\left| \frac{m_1}{n_1} - \frac{m_2}{n_2} \right| \leq \frac{\chi_{\gamma}^2 [2(m_1 + m_2)] - \chi_{1-\gamma}^2 [2(m_1 + m_2)]}{2(n_1 + n_2)},$$

где n_1, n_2 — объемы стрельбовых испытаний на сравниваемых этапах;

m_1, m_2 — количество промахов при стрельбе на сравниваемых этапах;

γ — односторонняя доверительная вероятность, соответствующая принятому уровню значимости [3].



Рис. Классификация методов оценки однородности

Таким образом, испытываемый перспективный ПББ средств боевого оснащения реактивных снарядов отвечает требованиям тактико-технического задания (ТТЗ) по точностным характеристикам, если значение точечной оценки вероятности попадания не меньше заданной вероятности попадания, т.е.

$$P_n \geq P_{\text{зад}}$$

Закон распределения, наилучшим образом аппроксимирующий полученные при испытаниях статистических данных, тот, для которого значение χ^2 — минимальное.

Литература

1. Конструкции авиационных средств поражения: Учебное пособие / Под ред. М.Я. Водопьянова. — СПб: Балт. гос.техн. ун-т. — СПб. 2004. 123 с.
2. Семенов С.С. Современные управляемые авиационные бомбы // Зарубежное военное обозрение. 2005. № 4. 2005. С.45–51.
3. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.Н. Круглов, А.Г. Кузнецов и др.: Учебн. пособие. — М.: Лотос. 2003. 763 с.: ил.