

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПЛАНИРУЮЩИХ БОЕПРИПАСОВ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОЦЕНКИ ИХ ЗОН ОПТИМАЛЬНОГО РАЗВЕДЕНИЯ**

**METHODOLOGY OF TESTING OF PLANNING AMMUNITION
OF PROMISING ROCKETS WITH THE POSSIBILITY
OF EVALUATING THEIR OPTIMAL DILUTION ZONES**

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

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

¹*Михайловская военная артиллерийская академия,*

²*ЦНИИИ Инженерных войск им. Д.М. Карбышева*

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

Из-за отсутствия достаточного количества опытных образцов при проведении испытаний в рамках выполнения опытно-конструкторской работы оценка зоны разрешенного разведения перспективных реактивных снарядов (РС) перед началом проведения испытаний может быть осуществлена методом статистического моделирования пусков на ЭВМ.

Ключевые слова: приемочные испытания, точностные характеристики, ракеты и реактивные снаряды, нормативная база, стандартизация, имитационное моделирование.

Due to the lack of a sufficient number of prototypes during testing as part of the implementation of experimental design work, the assessment of the zone of permitted dilution of promising rockets before the start of testing can be carried out by the method of statistical modeling of computer launches.

Keywords: acceptance tests, accuracy characteristics, rockets and rockets, regulatory framework, standardization, simulation modeling.

Решение задачи разработки методики расчета и визуализация зоны разрешенного разведения планирующих боевых блоков разделяющейся головной части (ПББ РГЧ) перспективных реактивных снарядов (РС) для задания требований безопасности при проведении испытаний во многом определяется формой задания требований по точности в тактико-техническом задании (ТТЗ) на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) заказчиком. В качестве характеристики точности принято задавать радиус круга, в который должен по-

падать реактивный снаряд с заданной вероятностью [1, 5–10].

До начала проведения испытаний по оценке точности осуществляется имитационное моделирование, при котором задаются условия и порядок его проведения. В частности, указываются дальности пусков, для которых проводятся статистические расчеты. В каждой i -ой реализации возмущения задаются случайным образом. При этом указываются диапазоны изменения и законы распределения всех возмущающих факторов.

Перед имитационным моделированием должны быть заданы случайные отклонения конструктивных параметров и аэродинамических характеристик реактивных снарядов, а также параметров двигательных установок от их номинальных значений, случайные погрешности приборов системы управления, ошибки системы прицеливания [1].

В случае, если предусмотрена возможность стрельбы перспективными РС, оснащенными ПББ РГЧ, при различных режимах их подготовки, должно быть заранее определена и задана вероятность, с которой применяется тот или иной режим (в простейшем виде — равновероятное применение).

Азимут стрельбы и широта точки старта принимаются и задаются распределенными по равновероятному закону. При этом диапазон изменения азимута составляет от 0° до 360° , а диапазон изменения широты боевого применения обычно специально оговаривается в ТТЗ.

Зоны оптимального разведения (ЗОР) строятся в зависимости от начальных условий, высоты боевой машины (БМ) H_c , определяемой как функция случайной величины f , равномерно распределенной в интервале $[0, 1]$, представлены в табл. 1. Приведем вариант такой функции, полученной при обработке топографических карт различных регионов.

Если случайное значение H_c превышает диапазон боевого применения реактивной системы залпового огня (РСЗО), то данный вариант пропускается, и осуществляется переход к следующему варианту расчета.

Значение высоты цели $H_{ц}$ относительно H_c принимается распределенным по нормальному закону и вычисляется по формуле:

$$H_{ц} = H_c + K\sigma_{\Delta H},$$

где K — случайная величина, распределенная по нормальному закону с характеристиками $m = 0$ и $\sigma = 1$.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\Delta H}$ определяется как функция H_c и дальности пуска L путем интерполирования данных, приведенных в табл. 2, и полученных также в результате обработки топографических карт отдельных регионов. Высота расположения пусковой установки изменялась в диапазоне 0–3000 м.

Значения термодинамических параметров атмосферы и характеристик скорости ветра, а также методика их задания в модели устанавливаются в соответствии с действующим стандартом.

Параметры гравитационного поля и фигуры Земли задаются в модели в соответствии с руководящими документами.

Результатом статистического моделирования является выборка из n -пусков значений отклонений точек падения от точки прицеливания по дальности ΔL_i и направлению ΔZ_i , $i = 1, n$.

Полученные значения ΔL_i и ΔZ_i суммируют:

- со случайными значениями ошибок топопривязки ΔL_{moni} , ΔZ_{moni} ;
- с ошибками от неучтенных в модели факторов $\Delta L_{H\Phi i}$, $\Delta Z_{H\Phi i}$;
- с ошибками адекватности ΔL_{adi} , ΔZ_{adi} .

Таблица 1

Начальные условия, высоты БМ

f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
H_c	0	0,06	0,12	0,18	0,28	0,39	0,54
f	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98	1
H_c	0,73	1	1,28	1,63	2,4	3	5

Таблица 2

Зоны разрешенного разведения строятся в зависимости от начальных условий параметров среднего квадратического отклонения превышения $\sigma_{\Delta H}$ от высоты БМ H_c м и дальности пуска L

L , км	0–200	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
40	66	133	190	245	295	405	500	590	655
70	66	133	200	266	333	473	590	685	760
>100	66	133	200	266	333	500	666	833	1000

Диапазоны изменения (предельные значения) ошибок топопривязки задаются в соответствии с диапазоном применения ПББ, а ошибки от неучтенных факторов определяются разработчиком комплекса. Ошибки адекватности определяются по методике оценки адекватности модели [1].

Суммарные случайные отклонения в каждой i -ой реализации определяются по соотношениям:

$$\Delta L_{i\Sigma} = \Delta L_i + \Delta L_{\text{moni}} + \Delta L_{\text{adi}} + \Delta L_{\text{HPhi}};$$

$$\Delta Z_{i\Sigma} = \Delta Z_i + \Delta Z_{\text{moni}} + \Delta Z_{\text{adi}} + \Delta Z_{\text{HPhi}}.$$

Выборка значений $\Delta L_{i\Sigma}$ и $\Delta Z_{i\Sigma}$ ($i=1, n$), полученная для конкретных дальностей стрельбы, является исходной для проверки статистической гипотезы о значимости систематических составляющих. По отклонениям $\Delta L_{i\Sigma}$ и $\Delta Z_{i\Sigma}$ вычисляют радиальное отклонение

$$R_i = \sqrt{\Delta L_{i\Sigma}^2 + \Delta Z_{i\Sigma}^2}.$$

Таким образом, окончательным результатом статистических расчетов является выборка значений радиальных отклонений R_i ($i=1, n$), которая далее используется для оценки ЗОР при стрельбе и определении требования безопасности при проведении натурных испытаний.

Далее осуществляются обработка, анализ и оценка результатов статистического моделирования.

Для полученных случайных выборок отклонений $\Delta L_{i\Sigma}$ и $\Delta Z_{i\Sigma}$ ($i=1, n$) оценивают их математические ожидания (МО) и дисперсии по формулам [2]:

$$\widetilde{M}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i; \quad (1)$$

$$\widetilde{M}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i; \quad (2)$$

$$\widetilde{D}_x = \widetilde{\sigma}_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{M}_x)^2}{n-1};$$

$$\widetilde{D}_z = \widetilde{\sigma}_z^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \widetilde{M}_z)^2}{n-1},$$

где $x_i = \Delta L_{i\Sigma}$; $z_i = \Delta Z_{i\Sigma}$.

Результаты расчетов по формулам (1) и (2) используются для проверки значимости оценок МО отклонений по дальности и направлению [3].

В целях такой проверки рассчитывают доверительные интервалы:

– верхние границы интервалов

$$\text{ВГ}_x = \widetilde{M}_x + t_p \frac{\widetilde{\sigma}_x}{\sqrt{n}}; \quad (3)$$

$$\text{ВГ}_z = \widetilde{M}_z + t_p \frac{\widetilde{\sigma}_z}{\sqrt{n}}; \quad (4)$$

– нижние границы интервалов

$$\text{НГ}_x = \widetilde{M}_x - t_p \frac{\widetilde{\sigma}_x}{\sqrt{n}};$$

$$\text{НГ}_z = \widetilde{M}_z - t_p \frac{\widetilde{\sigma}_z}{\sqrt{n}}.$$

Значение коэффициента t_p выбирается из таблицы 3 работы [4] в зависимости от объема выборки n и доверительной вероятности P ; P — вероятности того, что математическое ожидание находится внутри интервала, определенного верхними и нижними границами.

Значения коэффициента $\frac{t_p}{n}$, где $t_p = f_p$, удовлетворяют условию $P = \text{Вер}\{|f| \leq f_p\} = 0,95$ при различных объемах выборки n , приведены в табл. 3.

Если полученные по формулам (3) и (4) значения $\text{ВГ}_{x(z)}$ и $\text{НГ}_{x(z)}$ окажутся фазных знаков (т.е. точка прицеливания окажется внутри интервала), то это значит, что среднее отклонение от точки прицеливания \widetilde{M}_x (\widetilde{M}_z) незначимо и вызвано случайностями данной выборки. Если значения $\text{ВГ}_{x(z)}$ и $\text{НГ}_{x(z)}$ окажутся одного знака (т.е. точка прицеливания окажется вне интервала $\text{ВГ}_{x(z)}$ и $\text{НГ}_{x(z)}$), то проверяемое \widetilde{M}_x (\widetilde{M}_z) значимо, и необходимо искать причины получения такого систематического смещения отклонений $x(z)$. Если такие причины не будут найдены, и оценки МО не будут снижены до величин, при которых они становятся незначимы, то может быть принято решение о снижении оценки МО путем введения поправок в начальные условия моделирования.

Дальнейшие оценки необходимо проводить после снижения оценок МО до незначительных величин.

Значения коэффициента $\frac{t_p}{\sqrt{n}}$ при $P = 0,95$

n	$\frac{t_p}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{t_p}{\sqrt{n}}$
89	0,2106	487	0,0890
145	0,1641	533	0,0851
199	0,1398	578	0,0817
250	0,1246	622	0,0788
299	0,1138	668	0,0760
347	0,1056	712	0,0736
394	0,0990	757	0,0714
440	0,0937	–	–

Такие расчеты проводятся для установленных дальностей стрельбы. После расчетов строится визуализированная схема стрельбы ПББ РГЧ перспективных РС. Следующим этапом оценки является проверка соответствия ЗОР требованиям безопасности, предъявляемым к полигону при проведении натуральных испытаний.

В заключение отметим, что разработанная методика является инвариантной к виду закона распределения точек падения ПББ от точки прицеливания.

Литература

1. Оценка адекватности математических моделей полета ракет / В.И. Фесенко, В.Л. Кожемякин, О.И. Мамалыга, Ю.И. Меркулов // Оборонная техника. 2001. № 3. С. 29–34.
2. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. — М.: Мир. 1980. 51 с.
3. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. — М.: Изд-во иностр. лит. 1956. 96 с.
4. Большев Л.Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука. 1983. 63 с.
5. Буренок В.М., Чижевский О.Т., Иванов К.М., Кэрт Б.Э. и др. Некоторые перспективные направления развития боеприпасов и выстрелов. Часть 2 // Известия Российской ака-

демии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 2 (117). С. 11–24.

6. Паршин Н.М. Перспективы развития ракетно-артиллерийского вооружения Сухопутных и Воздушно-десантных войск // Военная мысль. 2021. № 5. С. 92–104.

7. Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов // Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции (01–02 октября 2020 г., г. Нижний Тагил); Мин-во науки и высш. образования РФ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). — Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ. 2021. 462 с.

8. Моисеев В.С., Козар А.Н. Основы теории применения управляемых артиллерийских снарядов: Монография. — Казань: Казанское высшее артиллерийское командное училище (военный институт) им. маршала артиллерии М.Н. Чистякова. 2004. 352 с.

9. Калабин А. «Дрель» для бомбардировщика: супероружие России. <https://www.porrmec.ru/weapon/468542-drel-dlya-bombardirovshchika-superoruzhie-rossii/>

10. Асташов В.С., Грушичев С.Н., Иванов А.С., Поляков А.А. Направления повышения точности и дальности стрельбы управляемых реактивных снарядов систем залпового огня // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 11. С. 122–126.