

УДК 629.072.19 (075.8)

В.И. Макеев<sup>1</sup>, В.И. Грабчак<sup>2</sup>, П.Е. Трофименко<sup>1</sup>, Ю.И. Пушкарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сумской государственной университет, Сумы

<sup>2</sup>Львовский институт Сухопутных войск им. гетмана П. Сагайдачного НУ «ЛП»

## МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЙВАНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ И ОПЕРЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

*Предлагается аналитический метод определения характеристик рассеивания по дальности, высоте и направлению как вращающихся, так и оперенных реактивных снарядов (мин), который позволяет аналитически, с помощью численных методов решения системы дифференциальных уравнений на ЭВМ, в зависимости от дальности стрельбы, заряда, рассчитать характеристики рассеивания снарядов (мин) для различных артиллерийских систем, что позволяет значительно уменьшить затраты на проведение опытных стрельб. Приведены результаты расчетов характеристик рассеивания по предлагаемому методу для 152-мм СП 2С5 и РСЗО БМ-21.*

**Ключевые слова:** вращающиеся и оперенные реактивные снаряды, коэффициент рассеивания, дальность стрельбы, угол бросания, активный и пассивный участок траектории, эллипс рассеивания.

### Введение

Траектория движения вращающихся и оперенных снарядов (мин) зависит от большого числа параметров, определяемых их конструкцией, применяемыми материалами, видом заряда (топлива), пусковым устройством, состоянием атмосферы, значения которых при каждом полете будут всегда разно-

образными, несколько отличными от значений, полученных при ранее проведенных опытах [1, 2]. Это несоответствие траекторий вращающихся и оперенных снарядов, изготовленного по одним и тем же чертежам, снабженного одним и тем же зарядом и запускаемого при одних и тех же расчетных установках, называется рассеиванием [1, 2].

На практике рассеивание снарядов рассматривают в горизонтальной и вертикальной плоскостях: горизонтальная плоскость проходит через пусковое устройство, а вертикальная перпендикулярна направлению стрельбы. В вертикальной и горизонтальной плоскостях рассеивание точек падения относительно центра рассеивания складывается из рассеивания этих точек по высоте Вв, по дальности Вд и бокового рассеивания Вб (рассеивание по направлению) [3, 4].

Увеличение рассеивания снаряда ведет к увеличению расхода снарядов на выполнение огневой задачи. Особенно актуально этот вопрос стоит при разработке высокоточных боеприпасов для ствольной артиллерии [5].

**Целью статьи** является разработка метода определения характеристик рассеивания по дальности, высоте и направлению, как вращающихся, так и оперенных реактивных снарядов для различных артиллерийских систем, который позволяет значительно уменьшить затраты на проведение опытных стрельб.

**Основная часть**

**Определение характеристик рассеивания летательных аппаратов стабилизируемых вращением.** Характеристики рассеивания (срединные отклонения) снарядов ствольных систем по дальности Вд, по высоте Вв и по направлению Вб рассчитывают, исходя из учета рассеивания основных баллистических параметров, определяющих траекторию полета снаряда. Поскольку дальность полета снаряда определяется углом бросания  $\theta_0$ , начальной скоростью  $v_0$  и баллистическим коэффициентом  $c$ , суммарное срединное отклонение по дальности рассчитывают, исходя из срединных отклонений трех баллистических параметров  $r_{\theta_0}$ ,  $r_{v_0}$ ,  $r_c$ , называемых коэффициентами рассеивания. По опытным данным эти коэффициенты для снарядов находятся в следующих пределах [3, 4, 6]  $r_{\theta_0} = 0,3 \div 0,6$  тыс.;  $r_{v_0} = 0,22 \div 0,30$  %;  $r_c = 0,5 \div 2$  %. Для мин  $r_{\theta_0} = 1,5 \div 3,0$  тыс.;  $r_{v_0} = 0,25 \div 0,50$  %;  $r_c = 1 \div 2$  %.

Срединным отклонениям или коэффициентам рассеивания угла бросания  $r_{\theta_0}$ , начальной скорости  $r_{v_0}$  и баллистического коэффициента  $r_c$  соответствует срединное отклонение дальности полета снаряда  $Вд_{\theta_0}$ ,  $Вд_{v_0}$ ,  $Вд_c$  определяемых по методу дифференциалов [1, 3, 4]:

$$Вд_{\theta_0} = \frac{\partial X}{\partial \theta_0} r_{\theta_0}; \quad Вд_{v_0} = \frac{\partial X}{\partial v_0} r_{v_0}; \quad Вд_c = \left| \frac{\partial X}{\partial c} \right| r_c = \frac{Q_{\delta c}}{c} r_c,$$

где  $\frac{\partial X}{\partial \theta_0}$ ,  $\frac{\partial X}{\partial v_0}$ ,  $\frac{\partial X}{\partial c}$ ,  $\frac{Q_{\delta c}}{c}$  – поправочные коэффициенты дальности, выражающие изменение дальности полета снаряда при изменении соответственно

параметров  $\theta_0$ ,  $v_0$  и  $c$  на 1 единицу (например, угла бросания на 1 угл. мин. или 1 тыс., начальной скорости – на 1 м/сек или 1%, баллистического – коэффициента на 1%), которые рассчитываются с помощью систем дифференциальных уравнений движения центра масс летательного аппарата:

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cdot \cos \theta \cdot \cos \psi / 1 + \frac{2Y}{R_3}; \\ \dot{y} = V \cdot \sin \theta; \\ \dot{z} = V \cdot \cos \theta \cdot \sin \psi; \\ \dot{V} = a(t) - a_x \cos \gamma - g \cdot \sin \theta \left( 1 - \frac{2Y}{R_3} \right); \\ \dot{\theta} = - \frac{\cos \theta \cdot g (1 - 2Y/R_3)}{V} - \frac{a_x \cdot \cos \gamma \cdot W_x \cdot \sin \theta}{V} + \\ + \frac{V \cdot \cos \theta}{R_3 + Y} + 2\Omega_3 \cos B \cdot \sin a_{\Gamma}; \\ \dot{\psi} = \frac{a_x \cdot \cos \gamma \cdot W_z}{V} + 2\Omega_3 (\sin B - \cos B \cdot \cos a_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \theta); \\ \pi(y) = - \frac{\pi(y) \cdot \dot{y}}{R [\tau(y) + \Delta \tau]}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $a(t) = \frac{\omega_0 \cdot I_1}{m_0 \cdot \tau_a \cdot (1 - \mu_y)}$ ;  $\mu_y = \frac{\omega \cdot t}{g_0 \cdot m_0 \cdot \tau_a}$ ;

$$a_x = \frac{id^2}{q_H} 10^3 \pi(y) \frac{\tau_{ON}}{\tau_y} \frac{F_{58}(V_{\Gamma T}) \cdot \cos \gamma}{1 - \mu_y};$$

$$\cos \gamma = \frac{V - W_x \cdot \cos \theta}{V_{\Gamma}};$$

$$V_{\Gamma} = V \sqrt{1 - \frac{\left( 2W_x (\cos \theta \cdot \cos \theta \delta - \sin \theta \cdot \sin \theta \delta) \times \right.}{V} \left. \times (\cos \psi \cdot \cos \Delta \psi - \sin \psi \cdot \sin \Delta \psi) \right)} - \sqrt{- \frac{\left( 2W_z (\cos \theta \cdot \cos \theta \delta - \sin \theta \cdot \sin \theta \delta) \times \right.}{V} \left. \times (\sin \psi \cdot \cos \Delta \psi + \cos \psi \cdot \sin \Delta \psi) \right) + \frac{W^2}{V^2}};$$

$$W^2 = W_x^2 + W_z^2; \quad V_{\Gamma T} = V_{\Gamma}; \quad \sqrt{\frac{\tau_{ON}}{\tau(y) + \Delta \tau}},$$

$i$  – коэффициент формы снаряда (мины);  $d$  – калибр снаряда (мины);  $q_H$  – вес снаряда (мины);  $\Pi(y)$  – функция распределения давления атмосферы с высотой;  $\tau_{ON} = 288,9^\circ K$ ;  $\tau_y$  – распределение виртуальной температуры с высотой;  $F_{58}$  – функция сопротивления воздуха;  $W_x, W_z$  – слагающие баллистического ветра;  $\theta$  – угол бросания;  $\omega_0$  – вес реактивного заряда;  $m_0$  – масса снаряда (мины);  $I_1$  – единичный импульс тяги;  $\tau_a$  – время работы двигателя;  $V$  – скорость полета снаряда (мины);  $t$  – время полета снаряда,  $g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\Delta \tau$  – отклонение виртуальной температуры от табличной;  $R_3$  – радиус Земли;

$\Omega_3$  – угловая скорость вращения Земли;  $B$  – географическая широта;  $a_T$  – азимут стрельбы;  $Y$  – высота траектории полета снаряда (мины);  $R$  – газовая постоянная для 1 кг сухого воздуха.

Рассматривая влияние на рассеивание траекторий по дальности только баллистических параметров, полагая, что каждая составляющая суммарного рассеивания по дальности подчиняется нормальному закону и считая независимыми причины, вызывающие рассеивания угла бросания  $\theta_0$ , начальной скорости  $v_0$  и баллистического коэффициента  $c$ , на основании правила сложения независимых случайных величин, подчиняющихся нормальному закону, для определения среднего отклонения по дальности получаем соотношение

$$V_d = \sqrt{V_{d\theta_0}^2 + V_{dv_0}^2 + V_{dc}^2}$$

или 
$$V_d = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial \theta_0} r_{\theta_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial v_0} r_{v_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial c} r_c\right)^2} \quad (2)$$

При расчете характеристик рассеивания для Таблиц стрельбы в качестве поправочных коэффициентов дальности удобно брать поправочные коэффициенты, указываемые в Таблицах стрельбы [6, 7]:

$$\frac{\partial X}{\partial \theta_0} = \Delta X_{\text{тыс}}; \quad \frac{\partial X}{\partial v_0} = \Delta X_{v_0} \text{ (на 1\% } v_0) \text{ и вместо}$$

$\left|\frac{\partial X}{\partial c}\right|$  – коэффициент  $Q_{\delta c/c}$ . При этом зависимость

(2) примет вид

$$V_d = \sqrt{(\Delta X_{\text{тыс}} r_{\theta_0})^2 + (\Delta X_{v_0} r_{v_0})^2 + (\Delta X_c r_c)^2}, \quad (3)$$

где для однообразия обозначено  $\Delta X_c = Q_{\delta c/c}$ , а размерности коэффициентов:  $r_{\theta_0}$  – в тысячных,  $r_{v_0}$  – в процентах,  $r_c$  – в процентах.

Характер изменения величин  $V_{d\theta_0}$ ,  $V_{dv_0}$  и  $V_{dc}$  при изменении дальности стрельбы (угла бросания) будет такой же, как и характер изменения поправочных коэффициентов.

$$\text{Поправочный коэффициент } \Delta X_{\text{тыс}} = \frac{\partial X}{\partial \theta_0},$$

убывает до угла наибольшей дальности (до  $45^\circ$ ), после которого снова возрастает. Поправочные ко-

эффициенты  $\Delta X_{v_0} = \frac{\partial X}{\partial v_0}$  и  $\Delta X_c = Q_{\delta c/c}$  с увеличе-

нием угла бросания увеличиваются, достигая максимального значения при угле наибольшей дальности, а при дальнейшем увеличении угла бросания уменьшаются.

Соотношение между величинами  $V_{d\theta_0}$ ,  $V_{dv_0}$ ,  $V_{dc}$ ,  $V_d$  и характер их изменения в зависимости от дальности стрельбы (угла бросания) для ствольной системы (гаубицы) при  $r_{\theta_0} = r_\gamma = 0,3$  тыс.,  $r_{v_0} = 0,23\%$  и  $r_c = 0,8\%$  показаны на рис. 1.

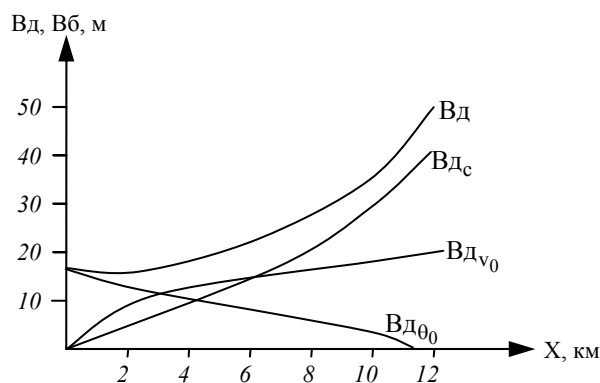


Рис. 1. Составляющие  $V_{d\theta_0}$ ,  $V_{dv_0}$ ,  $V_{dc}$  и суммарное среднее отклонение снарядов по дальности  $V_d$  в зависимости от дальности стрельбы

Преобладающее влияние на всех дальностях, за исключением малых, оказывает рассеивание баллистического коэффициента, на малых дальностях – рассеивание угла бросания, так что его уменьшение приводит к уменьшению  $V_d$  (на дальности до 2 км). Влияние рассеивания баллистического коэффициента на малых дальностях – наименьший из всех трех факторов. На средних и больших дальностях влияние рассеивания начальной скорости превышает влияние рассеивания угла бросания, но остается меньше влияния рассеивания баллистического коэффициента.

Рассматривая рассеивания пучка траекторий в вертикальной плоскости (рис. 2) и полагая, что рассеивание траекторий по высоте не зависит от рассеивания в боковом направлении, получаем следующие выражения для среднего отклонения точки разрыва по высоте

$$B_b = V_d \cdot \text{tg} |\theta_c|. \quad (4)$$

Рассеивание точки падения снаряда в боковом направлении определяется рассеиванием углов горизонтальной наводки и деривационного отклонения снарядов.

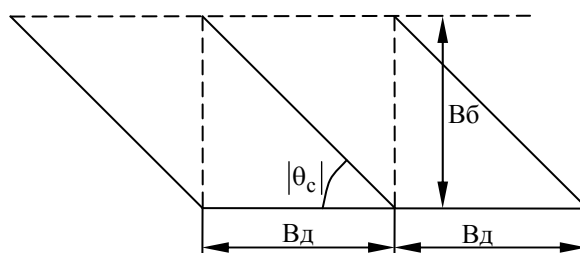


Рис. 2. Характеристики рассеивания траектории в вертикальной плоскости

В соответствии с этим среднее отклонение линейных отклонений точки падения снаряда в боковом направлении вычисляется по формуле

$$B_b = \sqrt{B_{b\omega}^2 + B_{bz}^2} = \sqrt{\left(\frac{X}{955} r_{\omega}\right)^2 + (X \sin \theta_0 r_z)^2}, \quad (5)$$

где  $r_{\omega}$  – коэффициент рассеивания (среднее отклонение) горизонтальной составляющей угла выле-

та в тысячных; для снарядов  $r_{\omega} = 0,3 \div 0,4$  тыс.; для мин  $r_{\omega} = 0,5 \div 1,5$  тыс.;  $r_z$  – коэффициент рассеивания (срединное отклонение) в радианах.

$$\text{Вб}_{\omega} = \frac{X}{955} r_{\omega}$$

учитывает влияние рассеивания горизонтальной оставляющей угла вылета на рассеивание снарядов в боковом направлении, причем коэффициент  $X/955$  переводит тысячные в линейную величину.

Второй член  $\text{Вб}_z = X \sin \theta_0 r_z$  учитывает суммарное влияние рассеивания деривации и бокового ветра, которое принимается пропорциональным боковому ускорению снаряда, принимаемому постоянным, и квадрату времени  $T$  полета. Но для траекторий снарядов в воздухе  $T^2$  пропорционально величине  $X \sin \theta_0$ , фигурирующей в формуле (4).

Соотношение между составляющими  $\text{Вб}_{\omega}$ ,  $\text{Вб}_z$  и суммарной характеристикой рассеивания в боковом направлении  $\text{Вб}$  в зависимости от дальности стрельбы для ствольной системы (гаубицы) при  $r_{\omega} = 0,3$  тыс. и  $r_z = 0,001$  иллюстрируется рис. 3.

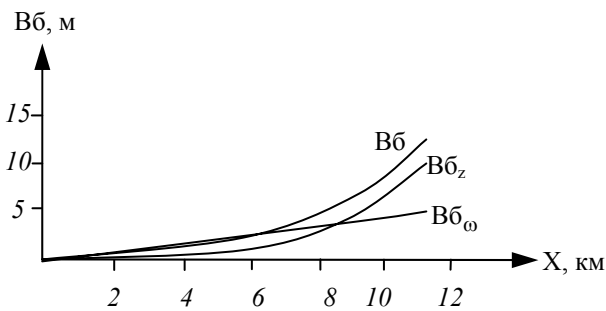


Рис. 3. Составляющие  $\text{Вб}_{\omega}$ ,  $\text{Вб}_z$  и суммарное срединное отклонение снарядов в боковом направлении  $\text{Вб}$  в зависимости от дальности стрельбы

Как видно из рис. 3, на малых дальностях рассеивание точки падения снарядов в боковом направлении определяется главным образом рассеиванием боковой составляющей угла вылета, а на больших дальностях – рассеиванием деривационных отклонений.

Для снарядов ствольных систем для всех дальностей стрельбы рассеивание по дальности  $\text{Вд}$  в несколько раз превышает рассеивание по боковому направлению  $\text{Вб}$  (рис. 4). Это объясняется сравнительно малым рассеиванием направления полета снаряда, т.е. малым значением коэффициента  $r_{\omega}$  рассеивания боковой составляющей угла вылета.

**Определение характеристик рассеивания неуправляемых оперённых летательных аппаратов.** Характеристики рассеивания неуправляемых реактивных снарядов (РС) рассчитываются по аналогии с характеристиками рассеивания снарядов, исходя из учета рассеивания основных баллистических параметров, определяющих траекторию полета РС и характеризующих начальные параметры траектории и условия полета РС на траектории.

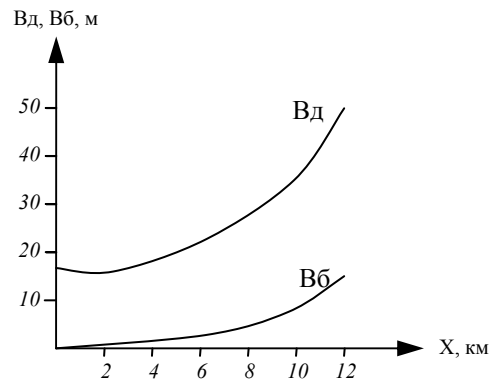


Рис. 4. Соотношение между  $\text{Вд}$  и  $\text{Вб}$  для ствольных систем

Не рассматривая непосредственно влияние рассеивания метеорологических условий полета, определим характеристики так называемого технического рассеивания неуправляемых РС, обусловленного рассеиванием баллистических условий стрельбы.

Дальность полета РС складывается из дальности активного  $x_k$  и пассивного  $X_{\Pi}$  участков траектории:  $X = X_{\Pi} + x_k$ , причем дальность пассивного участка траектории  $X_{\Pi}$  определяется основными баллистическими параметрами  $\theta_k, v_k, c_k$  и высотой  $y_k$  конца активного участка траектории [8]. Поэтому срединное отклонение точки падения РС по дальности  $\text{Вд}$  выразим в зависимости от характеристик рассеивания параметров  $\theta_k, v_k, c_k, y_k, x_k$ , т.е. как функцию срединных отклонений (коэффициентов рассеивания)  $r_{\theta_k}, r_{v_k}, r_{c_k}, r_{y_k}, r_{x_k}$ , которые определяются опытным путем.

Срединным отклонением каждого из указанных элементов конца активного участка траектории ( $\theta_k, v_k, c_k, y_k, x_k$ ) соответствуют составляющие суммарного срединного отклонения точки падения РС по дальности:

$$\text{Вд}_{\theta_k} = \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial \theta_k} r_{\theta_k}; \quad \text{Вд}_{v_k} = \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial v_k} r_{v_k};$$

$$\text{Вд}_{c_k} = \left| \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial c_k} \right| r_{c_k}; \quad \text{Вд}_{y_k} = \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial y_k} r_{y_k}; \quad \text{Вд}_{x_k} = r_{x_k}.$$

Считая элементы конца активного участка траектории  $\theta_k, v_k, c_k, y_k, x_k$  при данном угле бросания  $\theta_0$  независимыми случайными величинами, получим следующее общее выражение для определения срединного отклонения точки падения РС по дальности  $\text{Вд}$ :

$$\text{Вд}^2 = \text{Вд}_{\theta_k}^2 + \text{Вд}_{v_k}^2 + \text{Вд}_{c_k}^2 + \text{Вд}_{y_k}^2 + \text{Вд}_{x_k}^2 \quad \text{или}$$

$$\text{Вд} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial \theta_k} r_{\theta_k} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial v_k} r_{v_k} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial c_k} r_{c_k} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{\Pi}}{\partial y_k} r_{y_k} \right)^2 + r_{x_k}^2}, \quad (6)$$

где  $r_{\theta_k}, r_{v_k}, r_{c_k}, r_{y_k}, r_{x_k}$  – коэффициент рассеивания или срединное отклонение соответствующих элементов конца активного участка траектории (угла  $\theta_k$ ,

скорости  $v_k$  баллистического коэффициента  $c_k$ , координат  $y_k$  и  $x_k$ );  $\frac{\partial X_{II}}{\partial \theta_k}, \frac{\partial X_{II}}{\partial v_k}, \frac{\partial X_{II}}{\partial c_k}, \frac{\partial X_{II}}{\partial y_k}$  и  $\left(\frac{\partial X_{II}}{\partial x_k} = 1\right)$  – поправочные коэффициенты, учитывающие изменение дальности полета РС при изменении соответствующих параметров ( $\theta_k, v_k, c_k, y_k, x_k$ ) на одну единицу, определяются с помощью системы дифференциальных уравнений (1).

Рассеивание точки падения РС в боковом направлении определяется рассеиванием угла  $\psi_k$ , характеризующего направление вектора скорости  $v_k$  в конце активного участка траектории в боковой наклонной плоскости, и рассеиванием на пассивном участке траектории. В соответствии с этим суммарное срединное отклонение точки падения РС в боковом направлении  $B\delta$  вычисляется по формуле

$$B\delta = \sqrt{B\delta_{\psi_k}^2 + B\delta_z^2} = \sqrt{\left(\frac{X}{955} \cdot \frac{r_{\psi_k}}{\cos \theta_k}\right)^2 + \left(\frac{X}{955} r_z\right)^2}, \quad (7)$$

где  $r_{\psi_k}$  – коэффициент рассеивания или срединное отклонение угла  $\psi_k$  в боковой наклонной плоскости в тысячных;  $r_z$  – коэффициент рассеивания или срединное отклонение в боковом направлении на пассивном участке траектории в тысячных.

Первое слагаемое в формуле (7)

$B\delta_{\psi_k} = \frac{X}{955} \cdot \frac{r_{\psi_k}}{\cos \theta_k}$  представляет собой срединное боковое линейное отклонение точки падения РС, вызванное рассеиванием угла  $\psi_k$ , причем  $\frac{r_{\psi_k}}{\cos \theta_k}$  есть проекция угла  $r_{\psi_k}$  на горизонтальную плоскость, а множитель  $X/955$  переводит тысячные в линейную величину.

Второе слагаемое  $B\delta_z = (X/955) \cdot r_z$  представляет собой срединное боковое отклонение точки падения РС, обусловленное действием возмущающих факторов на пассивном участке траектории.

Коэффициент рассеивания неуправляемых РС определяются по результатам измерений элементов траекторий (в конце активного участка и в точке падения) при опытных стрельбах. Для неуправляемых РС с дальностью стрельбы до 20 км коэффициенты рассеивания в среднем составляют [6, 7]:  $r_{v_k} = 0,25\%$ ;  $r_{c_k} = 1,2\%$ ;  $r_{\theta_k} = 5 \div 6$  тыс.;  $r_{\psi_k} = 5 \div 6$  тыс.

Коэффициент рассеивания  $r_{v_k}$  и  $r_{c_k}$  для реактивных и ствольных систем отличаются незначительно. Однако коэффициенты рассеивания  $r_{\theta_k}$  и  $r_{\psi_k}$ , характеризующие рассеивание направления вектора скорости РС в конце активного участка траектории, примерно в 15 раз больше, чем коэф-

фициенты рассеивания  $r_{\theta_k}$  и  $r_{\omega}$  для артиллерийских снарядов. Большое угловое рассеивание вектора скорости в конце активного участка траектории является основным фактором, определяющим значительно большее рассеивание неуправляемых РС по направлению и по дальности при малых дальностях пуска по сравнению со снарядами ствольных систем.

Рассмотрим влияние отдельных факторов на суммарное рассеивание по дальности неуправляемых РС на примере РС с небольшой дальностью пуска. Пренебрегая в формуле (6) влиянием рассеивания координат  $y_k$  и  $x_k$ , для малых дальностей пуска можно рассчитать характеристику  $Вд$  с учетом первых трех членов, отражающих влияние рассеивание параметров:  $\theta_k, v_k$  и  $c_k$ .

Составляющие суммарного рассеивания по дальности  $Вд$  ( $Вд_{\theta_k}, Вд_{v_k}, Вд_{c_k}$ ) для РС с небольшой дальностью стрельбы иллюстрируют графиками на рис. 5.

При малых углах бросания или малых дальностях пуска составляющие  $Вд_{\theta_k}$  на порядок больше остальных составляющих и определяет суммарное рассеивание по дальности.

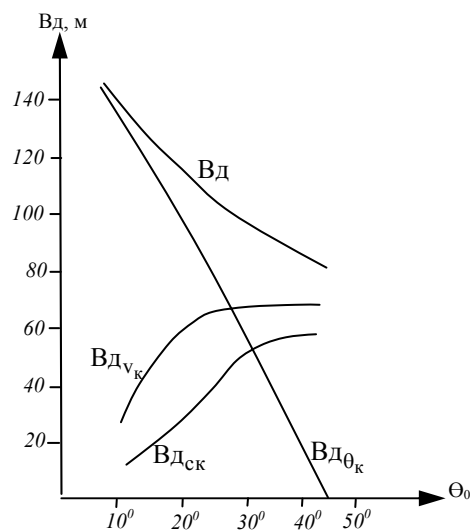


Рис. 5. Составляющие и суммарное значение  $Вд$  для оперенных РС

Поскольку рассеивание угла  $\theta_k$  для неуправляемых РС весьма значительно, при малых дальностях стрельбы происходит большое рассеивание по дальности неуправляемых РС.

С увеличением угла бросания или дальности стрельбы составляющих  $Вд_{\theta_k}$  уменьшается в соответствии с уменьшением поправочного коэффициента  $\frac{\partial X_{II}}{\partial \theta_k}$ , предопределяя уменьшение суммарной характеристики  $Вд$ , несмотря на возрастание со-

ставляющих  $V_{d_{v_k}}$  и  $V_{d_{c_k}}$ . При углах бросания, близких к углу наибольшей дальности, составляющая  $V_{d_{\theta_k}}$  мала (при  $\theta_k = \theta_k^*$ ,  $V_{d_{\theta_k}} = 0$ ) и суммарное рассеивание по дальности определяется практически лишь рассеиванием скорости  $v_k$  и баллистического коэффициента  $c_k$ .

Следовательно, в отличие от артиллерийских снарядов, рассеивание по дальности неуправляемых РС с ограниченной дальностью полета уменьшается с увеличением угла бросания или дальности стрельбы. Это объясняется большим рассеиванием угла  $\theta_k$  и уменьшением его влияния на рассеивание по дальности с увеличением угла бросания в пределах угла наибольшей дальности.

Рассеивание точки падения неуправляемых РС в боковом направлении возрастает с увеличением дальности стрельбы, как это следует из формулы (7). Определяющее влияние на рассеивание неуправляемых РС в боковом направлении оказывает рассеивание угла  $\psi_k$  отклонение вектора скорости ракеты в конце активного участка траектории от плоскости пуска. Соотношение между средними отклонениями по дальности  $V_d$  и по направлению  $V_b$  изменяется в зависимости от дальности пуска (рис. 6, 7).

При малых углах бросания  $V_d > V_b$  (эллипс рассеивания вытянут в направлении стрельбы), при некотором угле бросания в диапазоне  $25-35^\circ$   $V_d = V_b$  (эллипс рассеивания превращается в круг), а при углах бросания, близких к углу наибольшей дальности,  $V_d < V_b$  (эллипс рассеивания вытянут в боковом направлении). Такой характер изменения средних отклонений по дальности и по направлению и ориентации эллипса рассеивания связан с доминирующим влиянием на рассеивание неуправляемых РС по дальности и направлению большого по величине углового рассеивания направления вектора скорости в конце активного участка траектории, причем с увеличением угла бросания (дальности стрельбы)  $V_d$  уменьшается, а  $V_b$  увеличивается.

По данному методу разработана программа для ЭВМ на языке C++. Программа выполняет

расчет характеристик рассеивания снарядов (мин) в зависимости от дальности стрельбы (угла бросания), зарядов, для различных артиллерийских систем. Расчет траектории полета снарядов (мин) сводится к решению системы дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

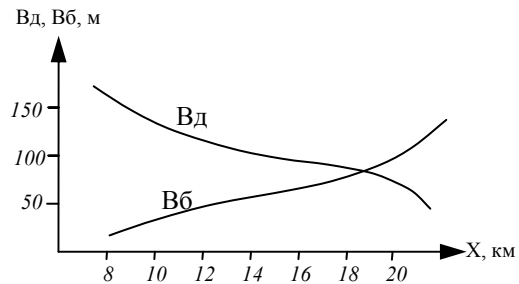


Рис. 6. Изменение  $V_d$  и  $V_b$  в зависимости от дальности стрельбы для неуправляемых ОРС

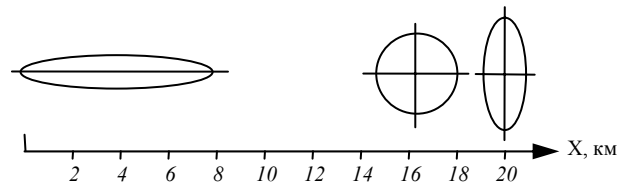


Рис. 7. Изменение ориентации и размеров эллипса рассеивания ОРС в зависимости от дальности стрельбы

Результаты расчетов по предлагаемому методу и опытными данным для 152-мм СП 2С5 снарядом ОФ-29 и РС М21-ОФ БТК приведены в табл. 1 – 3 и на рис. 8 – 9.

### Выводы

Предложенный метод определения характеристик рассеивания по дальности, высоте и направлению, как вращающихся, так и оперенных реактивных снарядов (мин) для различных артиллерийских систем, позволяет значительно уменьшить затраты на проведение опытных стрельб. Рассчитанные данные по предложенному методу хорошо согласуются с опытными данными, что дает нам основание использовать данный метод при расчете и составлении Таблиц стрельбы для разрабатываемых и модернизируемых артиллерийских боеприпасов.

Таблица 1

Расчетные и опытные данные характеристик рассеивания  $V_d$ ,  $V_v$ ,  $V_b$  (152-мм СП 2С5. Снаряд ОФ-29. Заряд Полный. Начальная скорость 945 м/с)

	Хт, м	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	24000	26000	28000
		$\theta_0$ , град	1,32	2,29	3,37	5,01	6,44	8,52	11,31	14,45	18,33	23	28,09	34,26
Расчетные данные	$V_d$ , м	33	32	31	32	35	40	46	53	59	68	77	88	104
	$V_v$ , м	1,1	1,8	2,8	4,4	7,1	12	19	30	44	66	90	135	209
	$V_b$ , м	1	1,6	2,1	2,7	3,3	4	4,7	5,7	6,9	8,5	10,3	12,4	16,2
	$V_{b_{\theta}}$ , м													
Опытные данные	$V_d$ , м	35	32	31	32	35	40	46	53	60	67	75	86	100
	$V_v$ , м	1,1	1,7	2,7	4,3	7	12	19	30	45	64	91	132	207
	$V_b$ , м	1	1,6	2,1	2,7	3,3	4	4,7	5,7	6,9	8,3	10	12	15

Таблица 2

Расчетные и опытные данные характеристик рассеивания Вд, Вв, Вб  
(152-мм СП 2С5. Снаряд ОФ-29. Заряд Второй. Начальная скорость 560 м/с)

	Хт, м	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
	$\theta_0$ , град	0,55	1,58	3,1	4,32	6,06	7,54	9,57	12,17	14,53	17,46	20,59	24,39	28,59	34,41
Расчетные данные	Вд, м	13	14	14	15	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26
	Вв, м	0,2	0,5	0,9	1,5	2,2	3,2	4,5	6,1	8,0	10,2	13	16	20	27
	Вб, м	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,4	2,9	3,4	4	4,7	5,6	6,7
Опытные данные	Вд, м	15	14	14	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	26
	Вв, м	0,3	0,5	0,9	1,4	2,2	3,2	4,5	6,1	8	10	13	16	20	27
	Вб, м	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,4	2,9	3,4	4	4,7	5,6	6,7

Таблица 3

Расчетные и опытные данные характеристик рассеивания Вд, Вб  
122-мм РС М21-ОФ (без тормозного кольца)

	Хт, м	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000
	$\theta_0$ , град	7,42	8,39	9,41	10,51	12,08	13,34	15,1	17,01	19,04	21,22	23,54	26,44	29,55	33,36	38,12	45,46
Расчетные данные	Вд	256	240	222	201	186	161	153	142	135	127	121	114	109	104	99	95
	Вб	34	41	48	55	62	69	76	84	91	100	108	118	129	141	157	184
Опытные данные	Вд	258	240	222	203	185	169	155	143	133	125	119	114	109	104	100	98
	Вб	32	40	49	57	65	72	79	86	94	102	111	120	130	141	156	179

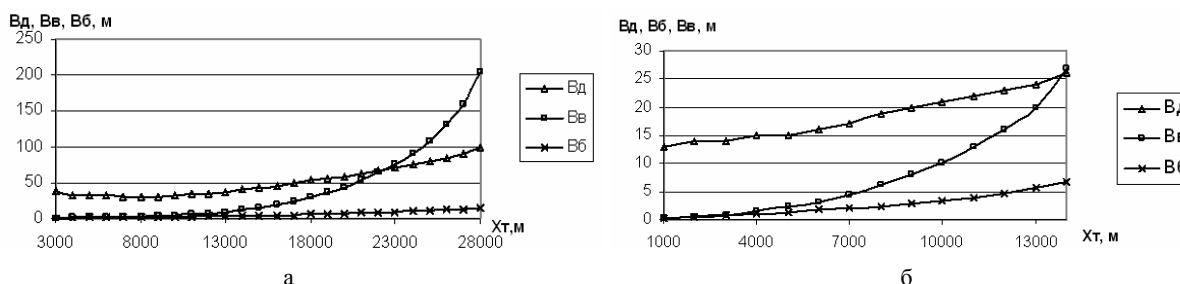


Рис. 8. Расчетные графики изменения характеристик рассеивания Вд, Вб, Вв в зависимости от дальности стрельбы (152-мм СП 2С5; Снаряд ОФ-29: а – заряд Полный; нач. скорость 945 м/с; б – заряд Второй; нач. скорость 560 м/с)

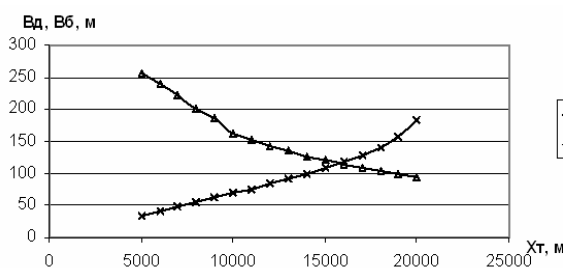


Рис. 10. Расчетные графики изменения характеристик рассеивания Вд, Вб в зависимости от дальности стрельбы (122-мм РС М21-ОФ (без тормозного кольца))

### Список литературы

1. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / И.Ф. Равдин. – Л.: ВАА, 1972. – 184 с.
2. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
3. Внешняя баллистика. Кн. 1. – М.: ВАИА им. Дзержинского, 1954. – 463 с.
4. Внешняя баллистика. Кн. 2. – М.: ВАИА им. Дзержинского, 1954 – 496 с.
5. Лисенко В.М. Теория полету / В.М. Лисенко, В.І. Грабчак, Д.А. Новак. – Суми: СумДУ, 2006. – 203 с.

6. Сборник таблиц для решения задач по внешней баллистике. – М.: МО СССР, 1989. – 128 с
7. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: МО СССР, 1987. – 376 с.
8. Стрельба наземной артиллерии: учебник. – М.: МО, 1962. – 367 с.

Поступила в редколлегию 16.12.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Косторной С.Д., Сумской государственной университет, Сумы.

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЮВАННЯ НЕКЕРОВАНИХ ОПЕРЕНИХ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ ТА РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ**

В.І. Макеев, В.І. Грабчак, П.Є. Трофименко, Ю.І. Пушкарьов

*Запропонований аналітичний метод визначення характеристик розсіювання за дальністю, висоті та напрямку оперених реактивних снарядів (мін) та реактивних снарядів (мін), що обертаються, який дозволяє аналітично, за допомогою чисельних методів рішення системи диференціальних рівнянь на ЕОМ, в залежності від дальності стрільби, заряду, розрахувати характеристики розсіювання снарядів (мін) для різних артилерійських систем, що дозволяє значно зменшити затрати на проведення пробних стрільб. Приведені результати розрахунків характеристик розсіювання за запропонованому методу для 152-мм СГ 2С5 та РСЗВ БМ-21.*

**Ключові слова:** оперені реактивні снаряди та реактивні снаряди, що обертаються, коефіцієнти розсіювання, дальність стрільби, кут кидання, активна та пасивна ділянка траєкторії, еліпс розсіювання.

**METHOD OF CALCULATION OF FEATURES OF DISPERSION OF NON-GUIDED REVOLVING AND WINGED JET-PROJECTILES**

V.I. Makeev, V.I. Grabchak, P.E. Trofimenko, Y.I. Pushkarov

*There is offered the analytical method of dispersion features calculation basing on range, altitude and direction of both revolving and winged jet-projectiles (mines), which allows analytically, by the numeral methods of solution of system of differential equations on computer, depending on range of firing, charge, to calculate features of projectiles (mines) for different artillery systems, that allows to decrease considerably expenses on conducting of the experimental firings. The results of calculations of features of dispersion on the offered method for 152-mm SPG 2S5 and MLRS BM-21 are presented.*

**Keywords:** revolving and winged jet-projectiles, coefficient of dispersion, range of firing, a casting angle, active and passive area of trajectory, ellipse of dispersion.