

УДК 623.55.024.4

О КИНЕМАТИЧЕСКОМ УПРЕЖДЕНИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИСХОДНЫХ УСТАНОВОК

В. Н. МОШНИН, инж. (КП ХКБМ им. А. А. Морозова, г. Харьков)

Предложены уравнения для расчета кинематических упреждений при вычислении начальных установок для стрельбы из вооружения боевых бронированных машин. Приведен перечень параметров, которые должны измеряться датчиками боевых бронированных машин, для расчета кинематических упреждений.

Запропоновано рівняння для розрахунку кінематичних попереджень при обчисленні початкових установок для стрільби з озброєння бойових броньованих машин. Наведено перелік параметрів, які повинні вимірюватися датчиками бойових броньованих машин, для розрахунку кінематичних попереджень.

The equations are suggested for calculation of kinematic leads when calculating initial settings for fire from the armed fighting armored vehicles. The list of parameters is presented which should be measured by sensors of fighting armored vehicles for calculation of kinematic leads.

Современные боевые бронированные машины (ББМ) в своем составе имеют различные виды вооружения: пулеметы различных калибров, малокалиберные автоматические пушки, гранатометы, танковые пушки и др. Актуальным вопросом для обеспечения высокой вероятности попадания в цель является эффективное решение задачи встречи снаряда с целью в условиях высокой динамики боя, т. е. расчет исходных установок для стрельбы (углов прицеливания и бокового упреждения с учетом отклонений условий стрельбы от нормальных) с минимально допустимой погрешностью и минимальными временными затратами.

Известно [1], что задача встречи, предполагающая определение координат точки ожидаемой встречи снаряда с целью (упрежденной точки пространства), заключается в решении векторного уравнения

$$\bar{D}_y = \bar{D}_0 + \bar{L}, \quad (1)$$

где \bar{D}_y — вектор упрежденной дальности до цели; \bar{D}_0 — вектор дальности до цели в момент выстрела; \bar{L} — вектор линейного упреждения.

В связи со сложностью автоматизированного решения пространственных векторных

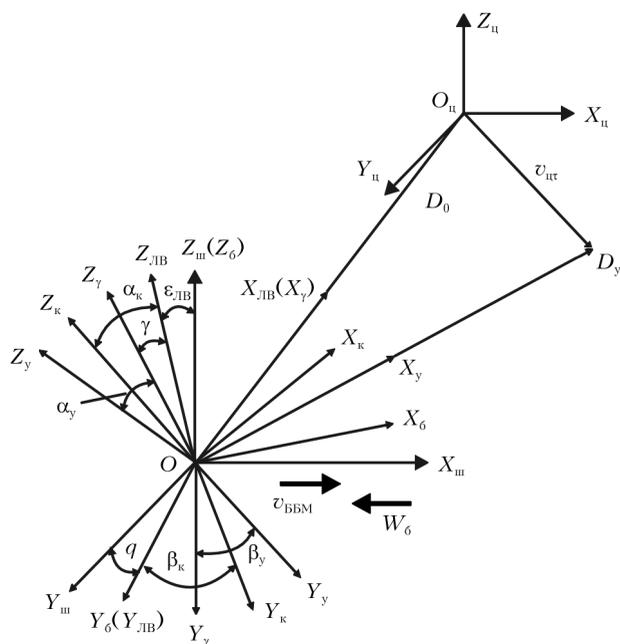
задач рассматриваемую задачу целесообразно свести к системе скалярных уравнений, из которых в дальнейшем можно определить баллистические параметры (угол прицеливания и время полета) и углы наводки оружия. Составной частью системы скалярных уравнений являются кинематические уравнения задачи встречи, или уравнения для определения кинематических упреждений.

Данная статья посвящена выводу уравнений для определения кинематических упреждений задачи встречи снаряда с целью.

Для вывода этих уравнений используем следующие системы координат [1]: $OX_{ш}Y_{ш}Z_{ш}$ — подвижная прямоугольная система координат, связанная с шасси ББМ; $OX_6Y_6Z_6$ — подвижная система координат, связанная с башней ББМ и повернутая относительно $OX_{ш}Y_{ш}Z_{ш}$ на угол q (курсовой угол) вокруг оси $OZ_{ш}$; $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ — прямоугольная система координат, связанная с линией прицеливания и повернутая относительно системы $OX_6Y_6Z_6$ на угол $\epsilon_{ЛВ}$ (угол места цели относительно линии визирования) вокруг оси OY_6 ; $OX_\gamma Y_\gamma Z_\gamma$ — прямоугольная система координат, связанная с линией цели и повернутая относительно системы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ на угол γ (угол крена) вокруг оси $OX_{ЛВ}$;

© В. Н. МОШНИН, 2009

$OX_yY_yZ_y$ — прямоугольная система координат, связанная с линией цели в момент упреждения и повернутая относительно системы $OX_yY_yZ_y$ на углы β_y вокруг оси OZ_y и α_y вокруг оси OY_y ; $OX_kY_kZ_k$ — прямоугольная система координат, связанная с орудием в момент выстрела и повернутая относительно системы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ на углы β_k вокруг оси $OZ_{ЛВ}$ и α_k вокруг оси $OY_{ЛВ}$; $OX_{Ц}Y_{Ц}Z_{Ц}$ — прямоугольная система координат, связанная с целью. Графическое представление указанных выше систем координат приведено на рисунке.



Системы координат для вывода уравнений кинематических упреждений (обозначения в тексте)

Вывод уравнений для определения кинематических упреждений производим с учетом того, что в системе управления огнем ББМ ввод углов упреждения — прицеливания α и бокового упреждения β — производится относительно линии прицеливания.

Рассмотрим влияние крена башни (оси цапф оружия) на углы прицеливания и упреждения. Для определения поправок на крен башни используем матрицы перехода к системе координат $OX_kY_kZ_k$ от систем координат $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ [2]. Матрица перехода от сис-

темы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ к системе $OX_kY_kZ_k$ может быть представлена в виде двух вариантов:

I вариант

$$A_{ЛВ}^{(к)} = A_{ЛВ}^{(γ)} A_{γ}^{(к')} A_{(к')}^{(к)},$$

или

$$A_{ЛВ}^{(к)} = \begin{pmatrix} \bar{x}_k^0 & \bar{y}_k^0 & \bar{z}_k^0 \\ \cos\alpha\cos\beta & -\sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta \\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\beta\cos\gamma & -\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma \\ -\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma + \sin\alpha\cos\gamma & -\cos\beta\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{x}_{ЛВ}^0 \\ \bar{y}_{ЛВ}^0 \\ \bar{z}_{ЛВ}^0 \end{pmatrix}$$

II вариант

$$A_{ЛВ}^{(к)} = A_{ЛВ}^{(к')} \beta_{к(γ)} A_{(к')}^{(к)} \alpha_{к(γ)},$$

или

$$A_{ЛВ}^{(к)} = \begin{pmatrix} \bar{x}_k^0 & \bar{y}_k^0 & \bar{z}_k^0 \\ \cos\alpha_{к(γ)}\cos\beta_{к(γ)} & -\sin\beta_{к(γ)} & -\sin\alpha_{к(γ)}\cos\beta_{к(γ)} \\ \cos\alpha_{к(γ)}\sin\beta_{к(γ)} & \cos\beta_{к(γ)} & -\sin\alpha_{к(γ)}\sin\beta_{к(γ)} \\ \sin\alpha_{к(γ)} & 0 & \cos\alpha_{к(γ)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{x}_{ЛВ}^0 \\ \bar{y}_{ЛВ}^0 \\ \bar{z}_{ЛВ}^0 \end{pmatrix}$$

В связи с тем, что первые столбцы матриц есть не что иное, как проекции линии прицеливания в горизонтальной и вертикальной плоскостях на линию цели в момент упреждения, приравняем вторые и третьи члены первых столбцов матриц:

$$\cos\alpha_{к(γ)}\sin\beta_{к(γ)} = \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma,$$

$$\sin\alpha_{к(γ)} = -\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma + \sin\alpha\cos\gamma,$$

где $\alpha_{к(γ)}$, $\beta_{к(γ)}$ — поправки, учитывающие крен башни (оси цапф оружия).

Упростим полученные выражения, принимая во внимание небольшое значение углов α , $\alpha_{к(γ)}$, β и $\beta_{к(γ)}$, а также учитывая, что $\beta = 0$. В результате

$$\alpha_{к(γ)} = \alpha\cos\gamma, \tag{2}$$

$$\beta_{к(γ)} = \alpha\sin\gamma. \tag{3}$$

Для определения углов кинематического упреждения α_k и β_k упрежденной дальности D_y используем векторное уравнение (1). Примем следующие допущения, что параметры движения цели постоянные в течение полета снаряда до точки встречи и стреляющий танк

неподвижен. С учетом принятых допущений векторное уравнение (1) примет вид

$$\bar{D}_y = \bar{D}_0 + \bar{v}_ц \tau, \quad (4)$$

где $\bar{v}_ц$ — вектор скорости движения цели; τ — время полета снаряда для дальности до цели в момент выстрела D_0 .

Спроектируем уравнение (4) на оси системы координат $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$. Проекция вектора упрежденной дальности \bar{D}_y на оси системы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \bar{D}_{y_{x_{ЛВ}}} &= D_0 + v_{ц_{x_{ЛВ}}} \tau, \quad \bar{D}_{y_{y_{ЛВ}}} = v_{ц_{y_{ЛВ}}} \tau, \\ \bar{D}_{y_{z_{ЛВ}}} &= v_{ц_{z_{ЛВ}}} \tau, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{D}_{y_{x_{ЛВ}}}$, $\bar{D}_{y_{y_{ЛВ}}}$, $\bar{D}_{y_{z_{ЛВ}}}$ — проекции вектора упрежденной дальности на оси системы координат $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$; $v_{ц_{x_{ЛВ}}}$, $v_{ц_{y_{ЛВ}}}$, $v_{ц_{z_{ЛВ}}}$ — проекции вектора скорости движения цели на оси системы координат $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$.

Из выражения (5) найдем интересующие нас углы α_y , β_y и упрежденную дальность D_y :

$$\begin{aligned} (\alpha_y)_{v_{ц}} &= \frac{v_{ц_{z_{ЛВ}}} \tau}{D_0 + v_{ц_{x_{ЛВ}}} \tau}, \\ (\beta_y)_{v_{ц}} &= \frac{v_{ц_{y_{ЛВ}}} \tau}{D_0 + v_{ц_{x_{ЛВ}}} \tau}, \\ D_y &= D_0 + v_{ц_{x_{ЛВ}}} \tau. \end{aligned}$$

Учитывая, что из-за особенностей работы аппаратуры в ББМ в плоскостях $z_{ЛВ}$ и $y_{ЛВ}$ возможно измерение только относительных угловых скоростей движения цели относительно ББМ, которые определяются выражениями:

$$\begin{aligned} (\omega_{ц_{z_{ЛВ}}})_{от} &= \frac{v_{ц_{z_{ЛВ}}}}{D_0}, \\ (\omega_{ц_{y_{ЛВ}}})_{от} &= \frac{v_{ц_{y_{ЛВ}}}}{D_0}, \end{aligned}$$

а также приняв:

$$\frac{D_0}{D_y} \tau = \tau_y, \quad (\omega_{ц_{z_{ЛВ}}})_{от} = (\omega_{ц_{ВН}})_{от},$$

$$(\omega_{ц_{y_{ЛВ}}})_{от} = (\omega_{ц_{ВН}})_{от},$$

искомые уравнения примут вид

$$\delta\alpha_{к_{v_{ц}}} = (\omega_{ц_{ВН}})_{от} \tau_y, \quad (6)$$

$$\delta\beta_{к_{v_{ц}}} = (\omega_{ц_{ВН}})_{от} \tau_y, \quad (7)$$

$$D_y = D_0 + v_{ц_{x_{ЛВ}}} \tau, \quad (8)$$

где τ_y — время полета снаряда для упрежденной дальности D_y ; $\omega_{ц_{ВН}}$, $\omega_{ц_{ВН}}$ — угловая скорость в плоскости соответственно горизонтального и вертикального наведения.

С учетом ранее принятых допущений уравнения (6) и (7) действительны для стрельбы из неподвижной ББМ. Необходимо ввести поправку на скорость движения ББМ относительно цели.

Спроектируем вектор скорости движения ББМ $\bar{v}_{ББМ}$ на оси системы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$, используя матрицы перехода. Матрица перехода от системы $OX_{Ш}Y_{Ш}Z_{Ш}$ к системе $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ может быть получена путем последовательного перехода от системы $OX_{Ш}Y_{Ш}Z_{Ш}$ к системе $OX_6Y_6Z_6$ и от системы $OX_6Y_6Z_6$ к системе $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ и представлена в виде

$$A_{Ш_{q\epsilon_{ЛВ}}^{(ЛВ)}} = A_{Ш_q}^{(6)} A_{\epsilon_{ЛВ}}^{(ЛВ)}$$

или

$$A_{Ш_{q\epsilon_{ЛВ}}^{(ЛВ)}} = \begin{vmatrix} \bar{x}_{ЛВ}^0 & \bar{y}_{ЛВ}^0 & \bar{z}_{ЛВ}^0 \\ \cos q \cos \epsilon_{ЛВ} & -\sin q & -\cos q \sin \epsilon_{ЛВ} \\ \sin q \cos \epsilon_{ЛВ} & \cos q & -\sin q \sin \epsilon_{ЛВ} \\ \sin \epsilon_{ЛВ} & 0 & \cos \epsilon_{ЛВ} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{x}_{Ш}^0 \\ \bar{y}_{Ш}^0 \\ \bar{z}_{Ш}^0 \end{vmatrix}$$

Следовательно, проекция вектора скорости движения ББМ $\bar{v}_{ББМ}$ на оси системы $OX_{ЛВ}Y_{ЛВ}Z_{ЛВ}$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \bar{v}_{ББМ_{x_{ЛВ}}} &= v_{ББМ} \cos q \cos \epsilon_{ЛВ}, \\ \bar{v}_{ББМ_{y_{ЛВ}}} &= -v_{ББМ} \sin q, \\ \bar{v}_{ББМ_{z_{ЛВ}}} &= -v_{ББМ} \cos q \sin \epsilon_{ЛВ}. \end{aligned}$$

Соответственно угловую относительную скорость ББМ относительно неподвижной

цели можно определить из следующих выражений:

$$(\omega_{\text{ББМ}_y})_{\text{от}} = \frac{v_{\text{ББМ}} \sin \epsilon_{\text{ЛВ}} \cos q}{D_0},$$

$$(\omega_{\text{ББМ}_z})_{\text{от}} = -\frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{D_0}.$$

Таким образом, если ББМ и цель движутся относительно друг друга, для определения поправок в кинематическое упреждение, связанных с движением ББМ и цели относительно друг друга, необходимо использовать следующие выражения:

$$\delta \alpha_{\kappa_{\omega_{\text{и}}}} = \left[(\omega_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} + \frac{v_{\text{ББМ}} \sin \epsilon_{\text{ЛВ}} \cos q}{D_0} \right] \tau_y, \quad (9)$$

$$\delta \beta_{\kappa_{\omega_{\text{и}}}} = \left[(\omega_{\text{ЦГН}})_{\text{от}} - \frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{D_0} \right] \tau_y. \quad (10)$$

Выражения (9) и (10) справедливы для случая, когда цель движется относительно ББМ с постоянной угловой относительной скоростью. На практике данная ситуация практически невозможна. Поэтому при расчете кинематического упреждения необходимо учитывать относительное среднее угловое ускорение движения цели относительно ББМ, которое можно определить из выражений

$$(\bar{a}_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{((\omega_{\text{ЦВН}})_{\text{от}})_i - ((\omega_{\text{ЦВН}})_{\text{от}})_{i-1}}{\Delta t}}{n}, \quad (11)$$

$$(\bar{a}_{\text{ЦГН}})_{\text{от}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{((\omega_{\text{ЦГН}})_{\text{от}})_i - ((\omega_{\text{ЦГН}})_{\text{от}})_{i-1}}{\Delta t}}{n}, \quad (12)$$

где $(\bar{a}_{\text{ЦВН}})_{\text{от}}$, $(\bar{a}_{\text{ЦГН}})_{\text{от}}$ — среднее угловое ускорение цели в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно линии прицеливания; $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ — такт расчета; t_1 — время в момент измерения дальности до цели; t_n — время в момент выстрела; n — количество тактов расчета от момента измерения дальности до момента выстрела.

Выражения (9) и (10) с учетом выражений (11) и (12) примут вид

$$\delta \alpha_{\kappa_{\omega_{\text{и}}}} = \left[(\omega_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} + \frac{(\bar{a}_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} \tau}{2} + \frac{v_{\text{ББМ}} \sin \epsilon_{\text{ЛВ}} \cos q}{D_0} \right] \tau_y, \quad (13)$$

$$\delta \beta_{\kappa_{\omega_{\text{и}}}} = \left[(\omega_{\text{ЦГН}})_{\text{от}} + \frac{(\bar{a}_{\text{ЦГН}})_{\text{от}} \tau}{2} - \frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{D_0} \right] \tau_y. \quad (14)$$

Кроме того, при стрельбе с ходу необходимо вводить кинематические поправки на скорость собственного движения, влияющую на начальную скорость снаряда, что приводит к изменению траектории его вылета. Для определения этих поправок рассмотрим векторное уравнение скорости вылета снаряда из орудия:

$$\bar{v}_c = \bar{v}_0 + \bar{v}_{\text{ББМ}},$$

где \bar{v}_0 — вектор скорости вылета снаряда из орудия, установленного на неподвижной ББМ; $\bar{v}_{\text{ББМ}}$ — вектор скорости ББМ.

Спроецируем векторное уравнение скорости вылета снаряда из орудия на оси системы $OX_K Y_K Z_K$, для чего используем матрицы перехода. Матрица перехода от системы $OX_{\text{ш}} Y_{\text{ш}} Z_{\text{ш}}$ к системе $OX_K Y_K Z_K$ может быть получена путем последовательного перехода от системы $OX_{\text{ш}} Y_{\text{ш}} Z_{\text{ш}}$ к системе $OX_6 Y_6 Z_6$ и системы $OX_6 Y_6 Z_6$ к системе $OX_K Y_K Z_K$ (в части угла возвышения орудия относительно башни) и представлена в виде

$$A_{\text{ш}q\phi}^{(\kappa)} = A_{\text{ш}q}^{(6)} A_6^{(\kappa)} \phi,$$

или

$$A_{\text{ш}q\phi}^{(\kappa)} = \begin{vmatrix} \bar{x}_K^0 & \bar{y}_K^0 & \bar{z}_K^0 \\ \cos q \cos \phi & -\sin q & -\cos q \sin \phi \\ \sin q \cos \phi & \cos q & -\sin q \sin \phi \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{x}_{\text{ш}}^0 \\ \bar{y}_{\text{ш}}^0 \\ \bar{z}_{\text{ш}}^0 \end{vmatrix}.$$

Проекция вектора скорости вылета снаряда \bar{v}_0 из орудия, установленного на неподвижной ББМ, на оси системы $OX_K Y_K Z_K$ имеет следующий вид:

$$\bar{v}_{0x} = v_0 \cos \phi, \quad \bar{v}_{0y} = 0, \quad \bar{v}_{0z} = v_0 \sin \phi.$$

Проекция вектора скорости движения ББМ $\bar{v}_{\text{ББМ}}$ на оси системы $OX_K Y_K Z_K$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\bar{v}_{\text{ББМ}x} &= v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi, \\ \bar{v}_{\text{ББМ}y} &= -v_{\text{ББМ}} \sin q, \\ \bar{v}_{\text{ББМ}z} &= -v_{\text{ББМ}} \cos q \sin \varphi.\end{aligned}\quad (15)$$

Таким образом, проекция вектора скорости вылета снаряда \bar{v}_c из орудия, установленного на подвижной ББМ, на оси системы $OX_K Y_K Z_K$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\bar{v}_{cx} &= v_0 \cos \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi, \\ \bar{v}_{cy} &= -v_{\text{ББМ}} \sin q, \\ \bar{v}_{cz} &= v_0 \sin \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \sin \varphi.\end{aligned}\quad (16)$$

Соответственно с учетом некоторых упрощений искомые нами поправки можно найти из выражений

$$\delta\beta_{v_{\text{ББМ}}} = -\frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{v_0 \cos \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi}, \quad (17)$$

$$\delta\alpha_{v_{\text{ББМ}}} = -\frac{v_{\text{ББМ}} \cos q \sin \varphi}{v_0 \cos \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi}, \quad (18)$$

где $\delta\alpha_{v_{\text{ББМ}}}$, $\delta\beta_{v_{\text{ББМ}}}$ — кинематические поправки на скорость собственного движения.

При выводе кинематических уравнений рассмотрим также влияние боковой составляющей скорости ветра W_6 на траекторию полета снаряда. Используя [3], можно записать

$$\delta\beta_W = -W_6 k_W(D_y), \quad (19)$$

где $\delta\beta_W$ — поправка на боковое отклонение снаряда из-за действия бокового ветра; W_6 — скорость бокового ветра; $k_W(D_y) = \tau_{D_y} - D_y / (v_c)_{X_K}$ — поправки на боковой ветер.

Спроецируем вектор скорости бокового ветра \bar{W}_6 на оси системы $OX_Y Y_Y Z_Y$, используя матрицу перехода. Матрица перехода от системы $OX_{\text{ЛВ}} Y_{\text{ЛВ}} Z_{\text{ЛВ}}$ к системе $OX_Y Y_Y Z_Y$ имеет вид

$$A_{\text{ЛВ}}^{(Y)} = \begin{vmatrix} \bar{x}_Y^0 & \bar{y}_Y^0 & \bar{z}_Y^0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{x}_{\text{ЛВ}}, \\ \bar{y}_{\text{ЛВ}}, \\ \bar{z}_{\text{ЛВ}}. \end{vmatrix}$$

Проекция вектора скорости бокового ветра \bar{W}_6 на оси системы $OX_Y Y_Y Z_Y$ имеет следующий вид:

$$(\bar{W}_6)_{y_{\text{ЛВ}}} = W_6 \cos \gamma, \quad (20)$$

$$(\bar{W}_6)_{z_{\text{ЛВ}}} = W_6 \sin \gamma. \quad (21)$$

Учитывая, что поправка вводится относительно линии прицеливания, учет влияния бокового ветра на траекторию снаряда может быть осуществлен с помощью выражений:

$$\delta\beta_W = -W_6 k_W(D_y) \cos \gamma, \quad (22)$$

$$\delta\alpha_W = -W_6 k_W(D_y) \sin \gamma. \quad (23)$$

Уравнения (22) и (23) верны для случая неподвижной ББМ. Для случая, когда ББМ движется, происходит изменение значения относительного бокового ветра благодаря собственной скорости движения, связанное с методами измерения значения бокового ветра датчиком ББМ.

Учитывая, что $\bar{v}_{\text{ББМ}}$ на оси системы $OX_{\text{ЛВ}} Y_{\text{ЛВ}} Z_{\text{ЛВ}}$ определяется выражением (15), значение относительного бокового ветра можно определить из выражения:

$$(W_6)_{\text{от}} = W_6 \cos \gamma - v_{\text{ББМ}} \sin q. \quad (24)$$

Соответственно учет влияния относительного бокового ветра на траекторию снаряда может быть осуществлен с помощью выражений

$$\delta\beta_W = -(W_6)_{\text{от}} k_W(D_y) \cos \gamma, \quad (25)$$

$$\delta\alpha_W = (W_6)_{\text{от}} k_W(D_y) \sin \gamma. \quad (26)$$

Значение поправки $k_W(D_y)$ можно также брать из таблиц стрельб соответствующих боеприпасов.

Таким образом, искомые нами кинематические упреждения можно найти из выражений

$$\alpha_k = \left[\begin{aligned} & \left((\omega_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} + \frac{(\bar{a}_{\text{ЦВН}})_{\text{от}} \tau}{2} + \frac{v_{\text{ББМ}} \sin \epsilon_{\text{ЛВ}} \cos q}{D_0} \right) \tau_y - \\ & - \frac{v_{\text{ББМ}} \cos q \sin \varphi}{v_0 \cos \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi} + (W_6 \cos \gamma - v_{\text{ББМ}} \sin q) k_W(D_y) \sin \gamma \end{aligned} \right] \quad (27)$$

$$\beta_k = \left[\begin{array}{l} \alpha_\Sigma \sin \gamma + \left((\omega_{\text{ЦПН}})_{\text{от}} + \frac{(\bar{a}_{\text{ЦПН}})_{\text{от}} \tau}{2} - \frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{D_0} \right) \tau_y - \\ - \frac{v_{\text{ББМ}} \sin q}{v_0 \cos \varphi + v_{\text{ББМ}} \cos q \cos \varphi} - (W_0 \cos \gamma - v_{\text{ББМ}} \sin q) k_W (D_y) \cos \gamma \end{array} \right] \quad (28)$$

С учетом предложенного способа определения кинематических упреждений в КП ХКБМ разработаны алгоритмы расчета углов прицеливания и упреждения для стрельбы из вооружения различных ББМ, которые реализованы в баллистических вычислителях, установленных на ряде ББМ, разработанных КП ХКБМ: танке «ОПЛОТ»; танке «ЯТАГАН» с пушкой, соответствующей стандартам НАТО; боевом модуле «ГРОМ». Эффективность применения предложенного способа для баллистических расчетов подтверждена реальными стрельбами из вооружения различных ББМ, которые проводились как в Украине, так и во время тендерных или контрольных испытаний за рубежом.

Выводы

1. При расчете суммарного угла прицеливания необходимо учитывать влияние крена башни (оси цапф оружия) в соответствии с выражением (2).

2. При расчете исходных установок для стрельбы из вооружения ББМ (суммарных углов прицеливания и упреждения) необхо-

димо учитывать кинематические упреждения, определяемые выражениями (8), (27) и (28).

3. Для расчета кинематических упреждений в состав комплекса управления огнем ББМ должны входить датчики, которыми измеряются следующие параметры: линейная скорость движения ББМ; курсовой угол (угол поворота башни относительно шасси); угол места цели относительно линии прицеливания; угол возвышения оружия относительно башни; относительная угловая скорость цели (в горизонтальной и вертикальной плоскостях); дальность до цели; скорость относительного бокового ветра; крен башни.

4. Погрешность определения кинематических упреждений в основном зависит от погрешности измерения параметров, приведенных в п. 2. В зависимости от требований к эффективности стрельбы, предъявляемых к конкретной ББМ, на этапе проектирования ББМ необходимо определять состав датчиков и погрешность измерения соответствующих параметров. 🐼

1. *Теория и конструирование танка* / Под ред. П. П. Исакова. — Т. 2: Основы проектирования вооружения танка. — М.: Машиностроение, 1982. — 252 с.
2. *Постников А. Г., Чуйко В. С.* Внешняя баллистика неуправляемых авиационных ракет и снарядов. — М.: Машиностроение, 1985. — 248 с.
3. *Шапиро Я. М.* Внешняя баллистика. — М.: Оборонгиз, 1946. — 408 с.