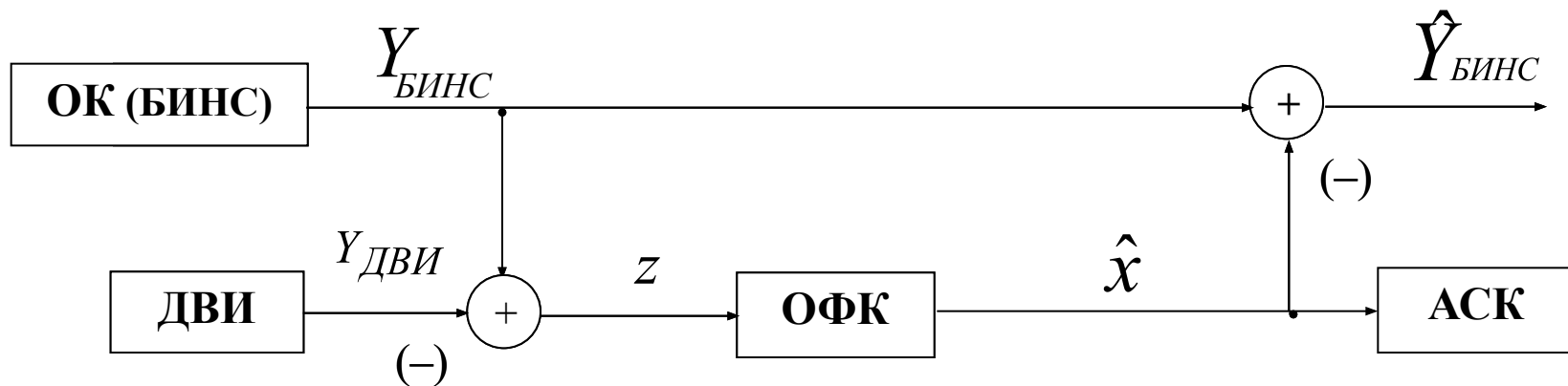


## **6.9. Типовые наблюдения при испытаниях инерциальных навигационных систем (ИНС)**

# Структурная схема бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) как типового динамического объекта стохастического контроля и оценивания ошибок



$x_{БИНС}^T = [x_\delta \ x_K \ x_V \ x_\omega \ x_a]$  – вектор ошибок БИНС

$Z_i$  – вектор наблюдений

$v_i = Z_i - H_i \Phi_i \hat{x}_{i-1}$  – вектор невязок

$H_i$  – матрица связи;  $\Phi_i$  – переходная матрица

**ДВИ** – датчик внешней по отношению к БИНС информации, например, спутниковая навигационная система; **ОФК** – оптимальный фильтр Калмана;

**Прогноз:**

$$m_0 = \hat{x}_{i/i-1} = \Phi_i \hat{x}_{i-1/i-1} \quad (4.12)$$

$$M_0 = P_{i/i-1} = \Phi_i P_{i-1/i-1} \Phi_i^T + \tilde{Q}_i \quad (4.13)$$

**Коррекция:**

$$v_j = z_j - H_j m_{j-1} \quad (4.14)$$

$$\alpha_j = H_j M_{j-1} H_j^T + R_j \quad (4.15)$$

$$K_j = M_{j-1} H_j^T / \alpha_j \quad (4.16)$$

$$m_j = m_{j-1} + K_j v_j \quad (4.17)$$

$$M_j = M_{j-1} - K_j H_j M_{j-1}; \quad j = \overline{1, l} \quad (4.18)$$

$$\hat{x}_{i/i} = m_l; \quad P_{i/i} = M_l \quad (4.19)$$



**Инерциальная система координат (СК)  $OuXuYuZu$**  : ось  $OuXu$  лежит в плоскости небесного экватора (условно можно считать, что он совпадает с земным экватором) и направлена в точку весеннего равноденствия на небесной сфере, ось  $OuZu$  направлена по оси вращения Земли, а ось  $OuYu$  составляет с осями  $OuXu$  и  $OuZu$  правый трехгранник.

Положение инерциальной СК относительно звезд неизменно.

**Гринвичская геоцентрическая СК  $OuXYZ$** : ось  $OuX$  лежит в плоскости земного экватора и направлена в точку пересечения гринвичского меридиана с экватором, ось  $OuZ$  направлена по оси вращения Земли, а ось  $OuY$  составляет с осями  $OuX$  и  $OuZ$  правый трехгранник.

**Сопровождающий трехгранник  $OENH$  геодезической СК**: ось  $OH$  направлена вверх по местной вертикали, ось  $OE$  направлена по север касательной к географической параллели, ось  $ON$  направлена на восток по касательной к географическому меридиану в точке местонахождения ОК.

Для определения углов ориентации системы координат  $oxuz$ , связанной с инерциальным измерительным модулем (ИИМ), относительно инерциальной СК  $Ox_iy_iZ_i$ , а также для координатных преобразований может быть использована универсальная матрица направляющих косинусов (МНК)  $B_0$ ,

$$B_0 = \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \bar{b}_{13} \\ \bar{b}_{21} & \bar{b}_{22} & \bar{b}_{23} \\ \bar{b}_{31} & \bar{b}_{32} & \bar{b}_{33} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = B_0 \begin{bmatrix} X_{И} \\ Y_{И} \\ Z_{И} \end{bmatrix}$$

которая получается путем трех поворотов на углы  $\bar{\psi}$ ,  $\bar{\vartheta}$ ,  $\bar{\gamma}$ .

Полагается, что начальные направления осей трехгранников  $Ox_i Y_i Z_i$  и  $oxuz$  совпадают, а все повороты выполняются против часовой стрелки следующим образом: первый – на угол  $\bar{\Psi}$  вокруг третьей оси  $OZ_i$ ; второй – на угол  $\bar{\vartheta}$  вокруг нового положения первой оси  $Ox'_i$ ; третий – на угол  $\bar{\gamma}$  вокруг нового положения второй оси  $OY'_i$ .

Ниже показаны преобразования при последовательных поворотах, связывающих трехгранники  $oxuz$  и  $ox_i Y_i Z_i$  с помощью матрицы направляющих косинусов  $B_0$ .

$$\begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\text{И}} \\ Y'_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix}$$

$$\left. \vphantom{\begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix}} \right\} B_{\bar{\psi}}$$

$$\begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\bar{\vartheta} & \sin\bar{\vartheta} \\ 0 & -\sin\bar{\vartheta} & \cos\bar{\vartheta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y'_{\text{И}} \\ Z_{\text{И}} \end{bmatrix}$$

$$\left. \vphantom{\begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix}} \right\} B_{\bar{\vartheta}}$$

$$\begin{bmatrix} X''_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z''_{\text{И}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\bar{\gamma} & 0 & -\sin\bar{\gamma} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\bar{\gamma} & 0 & \cos\bar{\gamma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z'_{\text{И}} \end{bmatrix}$$

$$\left. \vphantom{\begin{bmatrix} X''_{\text{И}} \\ Y''_{\text{И}} \\ Z''_{\text{И}} \end{bmatrix}} \right\} B_{\bar{\gamma}}$$



$$B_0 = B_{\bar{\gamma}} B_{\bar{\vartheta}} B_{\bar{\psi}} \quad (*)$$

После перемножения (\*) элементы матрицы  $B_0$  будут иметь вид

$$\bar{b}_{11} = \cos \bar{\psi} \cos \bar{\gamma} - \sin \bar{\psi} \sin \bar{\gamma} \sin \bar{\vartheta}$$

$$\bar{b}_{12} = \sin \bar{\psi} \cos \bar{\gamma} + \cos \bar{\psi} \sin \bar{\vartheta} \sin \bar{\gamma}$$

$$\bar{b}_{13} = -\cos \bar{\vartheta} \sin \bar{\gamma}$$

$$\bar{b}_{21} = -\cos \bar{\vartheta} \sin \bar{\psi}$$

$$\bar{b}_{22} = \cos \bar{\vartheta} \cos \bar{\psi}$$

$$\bar{b}_{23} = \sin \bar{\vartheta}$$

$$\bar{b}_{31} = \cos \bar{\psi} \sin \bar{\gamma} + \sin \bar{\psi} \sin \bar{\vartheta} \cos \bar{\gamma}$$

$$\bar{b}_{32} = \sin \bar{\psi} \sin \bar{\gamma} - \cos \bar{\psi} \sin \bar{\vartheta} \cos \bar{\gamma}$$

$$\bar{b}_{33} = \cos \bar{\vartheta} \cos \bar{\gamma}$$

Элементы МНК  $B_i$  и перестановочных матриц  $P_i$  определяются путем присвоения углам  $\bar{\psi}, \bar{\vartheta}, \bar{\gamma}$  конкретных значений углов, характеризующих взаимную ориентацию трехгранников в соответствии с таблицей.

$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_3^*$	$B_4$	$P_3$
$\bar{\psi}$	$\Lambda + \Omega \Delta t$	$\lambda$	$\psi_{\Gamma}$	$\Psi$	$A$	$\pi/2$
$\bar{\vartheta}$	0	0	$\vartheta$	$\vartheta$	0	$\pi/2$
$\bar{\gamma}$	0	$-\varphi$	$\gamma$	$\gamma$	0	0