

где  $\beta_1 = \frac{1}{2}(\beta^{(2)} - \beta^{(1)})$  — угол поворота в общем ГШ. Тогда моменты на втулке равны

$$-\gamma \frac{2C_{M_y}}{\sigma a} = I_\beta^* (v_\beta^2 - 1) 2\beta_1 \cos \psi,$$

$$\gamma \frac{2C_{M_x}}{\sigma a} = I_\beta^* (v_\beta^2 - 1) 2\beta_1 \sin \psi.$$

Аналогично продольная и поперечная силы винта зависят от полуразности  $\zeta_1 = (\zeta^{(2)} - \zeta^{(1)})/2$  углов качания:

$$\gamma \frac{2C_H}{\sigma a} = \frac{2\gamma}{N} \sum_{m=1}^N \left[ \cos \psi_m \int_0^1 \frac{F_r}{ac} dr + \sin \psi_m \int_0^1 \frac{F_x}{ac} dr \right] -$$

$$- 2S_\zeta^* [(\zeta_1 - \zeta_1) \sin \psi + 2\zeta_1 \cos \psi],$$

$$\gamma \frac{2C_Y}{\sigma a} = \frac{2\gamma}{N} \sum_{m=1}^N \left[ \sin \psi_m \int_0^1 \frac{F_r}{ac} dr - \cos \psi_m \int_0^1 \frac{F_x}{ac} dr \right] +$$

$$+ 2S_\zeta^* [(\zeta_1 - \zeta_1) \cos \psi - 2\zeta_1 \sin \psi].$$

Следовательно, хотя установившееся периодическое движение двухлопастного несущего винта аналогично таковому для винтов с тремя или более лопастями, динамика переходных процессов существенно отличается ввиду отсутствия степеней свободы, соответствующих наклону конуса лопастей.

## 9.6. ДВИЖЕНИЕ ВАЛА НЕСУЩЕГО ВИНТА

До сих пор в анализе динамики рассматривалось только движение самого несущего винта. Движение вала винта также является важным фактором как с точки зрения проблем устойчивости и управляемости вертолета, в которых рассматриваются степени свободы фюзеляжа как жесткого тела, так и в отношении проблем аэроупругости, включающих связанное движение упругого фюзеляжа и винта. На рис. 9.10 показаны линейные и угловые движения втулки. Возмущенное линейное смещение втулки относительно установившейся траектории полета обозначается перемещениями  $x_{вт}$ ,  $y_{вт}$  и  $z_{вт}$ ; возмущенное угловое смещение — углами  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  и  $\alpha_z$ . В данном случае используется инерциальная система координат, которая остается неподвижной в пространстве при возмущенном движении втулки.

Движение вала создает дополнительные ускорения в плоскостях взмаха и вращения, которые следует учесть в уравнениях движения изгиба. Рассмотрим модель движения жесткой лопасти в плоскостях взмаха и вращения, представленную в разд. 9.2.1 и 9.3.1.