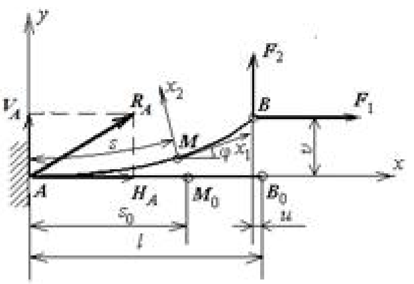
УДК 620.193.4:624.012.45

ПЛОСКИЙ ИЗГИБ ПРОДОЛЬНО СЖАТОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА

Фомин В.М. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)*

Досліджується плоский згин поздовжньо стиснутої консольної залізобетонної балки з врахуванням геометричної та фізичної нелінійностей й пластичної поведінки бетону.

Рассмотрим изгиб железобетонной консольной балки прямоугольного поперечного сечения, находящейся под действием двух сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ (рис.1). Предполагается, что нагружение балки происходит следующим образом: вначале (будем называть этот этап



нулевым) прикладывается сжимающая сила F_1, которая изменяется от нуля до некоторого отрицательного значения

$$H_5(s)\frac{d^2\text{ц}}{ds^2}+[\frac{dH_5(s)}{ds}-R_{A,2}(\text{ц})H_6(s)]\frac{d\text{ц}}{ds}-R_{A,1}(\text{ц})\frac{dH_6(s)}{ds}-R_{A,2}(\text{ц})=0$$

$$H_1(s)=b\tilde{E}_{1,1}(s)+E_a(S_1h_1-S_2h_2),\ H_2(s)=b\tilde{E}_{1,2}(s)+E_a(S_1h_1^2+S_2h_2^2),$$
$$H_5(s)=H_2(s)-H_1(s)^2/H_0(s),\ H_6(s)=H_1(s)/H_0(s),$$
$$H_0(s)=b\tilde{E}_{1,0}(s)+E_a(S_1+S_2),\tilde{E}_{1,0}(s)=$$
$$=\int_{-h/2}^{h/2}E_1[\varepsilon_0(s,x_2),\gamma_0(s,x_2)]dx_2\,,\tilde{E}_{1,1}(s)=\int_{-h/2}^{h/2}E_1[\varepsilon_0(s,x_2),\gamma_0(s,x_2)]x_2dx_2,$$
$$\tilde{E}_{1,2}(s)=\int_{-h/2}^{h/2}E_1[\varepsilon_0(s,x_2),\gamma_0(s,x_2)]x_2^2dx_2,E_1(\varepsilon_0,\gamma_0)=K_1(\varepsilon_0,\gamma_0)-$$
$$-\frac{K_2^2(\varepsilon_0,\gamma_0)}{K_1(\varepsilon_0,\gamma_0)},K_1(\varepsilon_0,\gamma_0)=\frac{3K(\varepsilon_0,\gamma_0)+4G(\varepsilon_0,\gamma_0)}{3},K_2(\varepsilon_0,\gamma_0)=$$
$$=\frac{3K(\varepsilon_0,\gamma_0)-2G(\varepsilon_0,\gamma_0)}{3},\ R_{A,1}(\phi)=H_A\cos\phi+V_A\sin\phi,$$

$$R_{A,2}(\phi)=-H_A\sin\phi+V_A\cos\phi,$$

Замечание 1. В статье [1] выведены соотношения

$$\begin{aligned}
\varepsilon_0 &= \frac{1}{3}\{ K_3(\varepsilon_0,\gamma_0)[\varepsilon_s(s)-\phi^{/}(s)x_2] + \frac{1}{2}a_3^2(s)d_2^2(x_2)\},\\
\gamma_0 &= \frac{1}{3}\sqrt{K_5(\varepsilon_0,\gamma_0)[\varepsilon_s(s)-\phi^{/}(s)x_2]^2 + 6a_3^2(s)d_2^2(x_2)},
\end{aligned} \tag{4}$$

где $d_2(x_2) = 3h^2/4 - 3x_2^2, K_3(\varepsilon_0,\gamma_0) = 1 + K_2(\varepsilon_0,\gamma_0)/K_1(\varepsilon_0,\gamma_0),$

$K_5(\varepsilon_0,\gamma_0) = 4[K_3(\varepsilon_0,\gamma_0)^2 + 1 + K_2^2(\varepsilon_0,\gamma_0)/K_1^2(\varepsilon_0,\gamma_0)].$

При заданных значениях

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \varepsilon_0} & \frac{\partial f_2}{\partial \varepsilon_0} \\ \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_0} & \frac{\partial f_2}{\partial \gamma_0} \end{vmatrix} \neq 0$$

$$\frac{p}{3}K_3(\varepsilon_0,\gamma_0) - \frac{q}{6},\ f_2(p,q,\varepsilon_0,\gamma_0) = \gamma_0^2 - \frac{p^2}{9}K_5(\varepsilon_0,\gamma_0) -$$

$$\begin{aligned}
&a_3(s) = R_{A,2}(\phi(s))/H_3(s),\\
&\varepsilon_s(s) = [H_1(s)\frac{d\phi}{ds} - R_{A,1}(\phi(s))]/H_0(s),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&H_3(s) = \tilde{G}(s)bh^3 + G_a[d_2(h_1)S_1 + d_2(h_2)S_2],\\
&\tilde{G}(s) = \int_{-h/2}^{h/2} G(\varepsilon_0(s,x_2),\gamma_0(s,x_2))dx_2 .
\end{aligned}$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a_3} & \frac{\partial f_2}{\partial a_3} \\ \frac{\partial f_1}{\partial \varepsilon_s} & \frac{\partial f_2}{\partial \varepsilon_s} \end{vmatrix} \neq 0$$

$$f_1(\phi,\frac{d\phi}{ds},a_3,\varepsilon_s) = a_3 - R_{A,2}(\phi)/H_3(\frac{d\phi}{ds},a_3,\varepsilon_s),\ f_2(\phi,\frac{d\phi}{ds},a_3,\varepsilon_s) = \varepsilon_s - [H_1(\frac{d\phi}{ds},a_3,\varepsilon_s)\frac{d\phi}{ds} - R_{A,1}(\phi)]/H_0(\frac{d\phi}{ds},a_3,\varepsilon_s)$$

$$K = K_0(1-\frac{\gamma_0}{2\gamma_{0s}})(1+g_0\frac{3\gamma_0^2}{2\varepsilon_0}), G = G_0(1-\frac{\gamma_0}{2\gamma_{0s}}) \qquad (9)$$

(K_0, G_0 – начальные секущие модули объемной деформации и сдвига, γ_{0s} – предельная октаэдрическая деформация сдвига, g_0 – модуль дилатации).

Согласно [2] γ_{0s} определяется следующим образом:

$$\gamma_{0s} = \sqrt{2/3}\Gamma_s, \Gamma_s = \Gamma_c k(\lambda,\delta), k(\lambda,\delta) = \lambda(1+\delta)/2 + \\ +\sqrt{\lambda^2(1+\delta)^2/4+1+\delta}, \lambda = -f_0\sqrt{2/3}\sigma_0/\tau_0, \delta = e_0\sqrt{2}D_3/\tau_0^3. \qquad (10)$$

здесь Γ_c – предельная интенсивность деформаций сдвига при чистом сдвиге, σ_0 и τ_0 – октаэдрические напряжения, D_3 =

$$f_0 = 3T_c(R_c - R_p)/(R_c R_p), e_0 = R_c R_p/(3T_c^2) - 1$$

$$\lambda = -f_0\frac{\sqrt{6}K_0}{G_0}(1+g_0\frac{3\gamma_0^2}{2\varepsilon_0})\frac{\varepsilon_0}{\gamma_0}$$

$$K = K_0 f(\varepsilon_0,\gamma_0)g(\varepsilon_0,\gamma_0), G = G_0 f(\varepsilon_0,\gamma_0), \\ f(\varepsilon_0,\gamma_0) = 1-\gamma_0/(2\gamma_{0s}), g(\varepsilon_0,\gamma_0) = 1+3g_0\gamma_0^2/(2\varepsilon_0).$$

$$H = E_1^{[0]}J + E_a(S_1h_1^2 + S_2h_2^2) \quad E_1^{[0]} = E^{[0]}/(1-\nu_0^2)$$

$$[H_5(\zeta)\phi']' = -H[H_6(\zeta)(\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi)]'/l + \alpha\sin\phi - \beta\cos\phi$$

$$\phi'(\zeta) = \Phi_0(\zeta),$$

$$\Phi_0(\zeta) = \frac{H}{H_5(\zeta)}\{\int_0^{\zeta}[\alpha\sin\phi(\xi) - \beta\cos\phi(\xi)]d\xi - \frac{1}{l}H_6(\zeta)[\alpha\cos\phi(\zeta) + \\ +\beta\sin\phi(\zeta)] + C_1\}.$$

Постоянную C_1 определяем из условия $\varphi^{/}(1) = 0$:

$$C_1 = -\int_0^1 [\alpha \sin\phi(\xi) - \beta \cos\phi(\xi)]d\xi + H_6(1)[\alpha \cos\phi(1) + \beta \sin\phi(1)]/l.$$

Интегрируя (16) еще раз, получаем

$\varphi(\zeta) = \Phi_1(\zeta)$, $\Phi_1(\zeta)=$

$$\phi^{[j]/}(\zeta) = \Phi_0^{[j-1]}(\zeta), \phi^{[j]}(\zeta) = \Phi_1^{[j-1]}(\zeta)$$

$$v(\zeta) = l\int_0^{\zeta} \sin\phi(\xi)d\xi$$