

РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И УСИЛИЙ БЕТОННЫХ КОЛОНН С УСИЛЕНИЕМ

Бекирова М.М., к.т.н., доцент, Калинина Т.А., к.т.н., доцент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Бетонная колонна после длительного времени эксплуатации усиливается обоймой из нового бетона с арматурой. Через определенное время τ_1 , когда к новому бетону можно будет применить теорию упругой наследственности, железобетонная колонна испытывает вынужденную деформацию ε_0 . Эта деформация фиксируется и остается постоянной. Характеристики наружной обоймы $E_{в.н.}$ и ядра $E_{в.я.}$ отличаются. Ядро ползет характеристикой $\varphi_{о.я.}$, обойма ползет с $\varphi_{о.н.}$. В арматуре в τ_1 возникает упругая деформация ε_0 . В ядре и обойме тоже возникают упругие деформации ε_0 . С течением времени они уменьшаются на величину свободной деформации ползучести $\varepsilon_{св.я}^*(t-\tau_1)$ и $\varepsilon_{св.н}^*(t-\tau)$, [1]. Бетон и арматура работают совместно, поэтому произойдет перераспределение упругих деформаций с арматуры на бетон. В арматуре деформации уменьшаются на $\varepsilon_{св.с.}$, и напряжения начнут релаксировать.

$$\Delta\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_{св.с.} \quad (1)$$

В ядре бетона и обойме напряжение тоже релаксируют, но не так интенсивно, как в бетонной колонне без арматуры.

$$\Delta\sigma_{в.я.} = E_{в.я.} \cdot \varepsilon_{св.я.}^* - \lambda_{я.с.} \cdot \Delta\sigma_s; \alpha_{я.с.}, \alpha_{я.с.} = \frac{E_{в.я.}}{E_s} \quad (2)$$

$$\Delta\sigma_{о.н.} = E_{в.н.} \cdot \varepsilon_{св.я.}^* - \lambda_{н.с.} \cdot \Delta\sigma_s; \alpha_{н.с.} = \frac{E_{в.н.}}{E_s} \quad (3)$$

При этом должно выполняться условие равновесия

$$\Delta\sigma_s = \Delta\sigma_{в.я.} (A_o - A_s - A_n) + \Delta\sigma_{в.н.} \cdot A_n \quad (4)$$

Здесь A_o — площадь бетонного ядра и обоймы.

Приращение напряжений (2) и (3) подставим (4)

$$\Delta\sigma_s \cdot \mu_s = (1 - \mu_s - \mu_n) \cdot E_{в.я.} \cdot \varepsilon_{св.я.}^* - (1 - \mu_s - \mu_n) \alpha_{я.с.} \Delta\sigma_s + \mu_n \cdot E_{в.н.} \cdot \varepsilon_{св.н.}^* -$$

$$-\mu_n \alpha_{ns} \Delta \sigma_s \quad (5)$$

Откуда определяется $\Delta \sigma_s$

$$\Delta \sigma_s = \frac{E_s \left[(1 - \mu_s - \mu_n) \cdot \varepsilon_{св.я}^* + \alpha_{н.я} \cdot \mu_n \cdot \varepsilon_{св.н}^* \right]}{1 + \mu_s (\alpha_{с.я} - 1) + \mu_n (\alpha_{н.я} - 1)} \quad (6)$$

Здесь

$$\mu_s = \frac{A_s}{A_o}; \mu_n = \frac{A_{с.н}}{A_o}; \alpha_{с.я} = \frac{E_s}{E_{с.я}}; \alpha_{н.я} = \frac{E_{с.н}}{E_{с.я}}. \quad (7)$$

Деформации в бетоне определяются, как сумма упруго мгновенной в момент времени t и деформаций ползучести

$$\varepsilon^*(t) = \frac{\sigma_{с.я}(t)}{E_{с.я}} - \int_{\tau_1}^t \sigma_{с.я}(\tau) \frac{\delta_{с.я}(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau. \quad (8)$$

Если деформация $\varepsilon^*(t)$ известна, как в данном случае $\varepsilon^*(t) = \varepsilon_o = Const$. Тогда решение относительно напряжений проще записать через резольвенту $R(t, \tau)$. [2]

$$\sigma_{с.я}(t) = E_{с.я} \cdot \varepsilon_o \left[1 + \int_{\tau_1}^t R(t, \tau) d\tau \right],$$

Резольвента определяется через ядро, $L(t, \tau)$, а ядро через меру ползучести $C(t, \tau)$. [2]. По теории ТУН

$$C(t - \tau) = C_o \left[1 - e^{-\gamma(t-\tau)} \right]. \quad (9)$$

Ядро $L(t - \tau) = -\gamma C_o e^{-\gamma(t-\tau)}$, соответственно ему резольвента

$$R(t - \tau) = \varphi_o e^{-r(t-\tau)}, \quad (10)$$

Здесь

$$\varphi_{о.я} = E_{с.я} \cdot C_{о.с.я}, r = \gamma(1 - \varphi_{о.я}) \quad (11)$$

Тогда деформация свободной ползучести

$$\begin{aligned} \varepsilon_{св.я}^*(t - \tau) &= \varepsilon_o \left[1 + \int_{\tau_1}^t R(t - \tau) \right] d\tau = \varepsilon_o \left[1 - \varphi_o \int_{\tau_1}^t e^{-\gamma(1 + \varphi_{о.я})(t-\tau)} d\tau \right] = \\ &= \varepsilon_o \frac{\varphi_{о.я}}{1 + \varphi_{о.я}} \left[1 - e^{-r(t-\tau)} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Аналогично для наружной обоймы

$$\varepsilon_{с.в.н}^* = \frac{\varphi_{о.н}}{1 + \varphi_{о.н}} \left[1 - e^{-r_n(t-\tau)} \right] \quad (13)$$

Выражения (12) и (13) подставим в (6) и определим релаксацию напряжений в арматуре [3]

$$\sigma_s(t - \tau_1) = E_s \cdot \varepsilon_o \cdot H_\sigma(t - \tau_1). \quad (14)$$

Релаксация напряжений в ядре колонны

$$\sigma_{в.я}(t - \tau_1) = E_{в.я} \cdot \varepsilon_o \cdot H_\sigma(t - \tau_1). \quad (15)$$

Релаксация напряжений в обойме

$$\sigma_{в.н}(t - \tau_1) = E_{в.н} \cdot \varepsilon_o \cdot H_\sigma(t - \tau_1). \quad (16)$$

Здесь $H_\sigma(t - \tau_1)$ - это коэффициент затухания

$$H_\sigma = \frac{\mu_s \alpha_{ср} + (1 - \mu_s + \mu_n) \frac{1 + \varphi_{оа} e^{-r_n(t - \tau_1)}}{1 + \varphi_{оа}} + \mu_n \alpha_{ня} \frac{1 + \varphi_{он} e^{-r_n(t - \tau_2)}}{1 + \varphi_{он}}}{1 + \mu_s (\alpha_{ср} - 1) + \mu_n (\alpha_{ня} - 1)} \quad (17)$$

Величина продольного усилия складывается из суммы напряжений

$$N(t - \tau_1) = \sigma_s(t - \tau_1) \cdot A_s + \sigma_{в.я}(t - \tau_1)(A_o - A_s - A_n) + \sigma_{в.н}(t - \tau_1) \cdot A_n.$$

Релаксация продольного усилия

$$N(t - \tau_1) = E_{в.я} \cdot \varepsilon_o A_o \cdot H_N. \quad (18)$$

Коэффициенты затухания

$$H_N = \mu_s \alpha_{ср} + (1 - \mu_s - \mu_n) \frac{1 + \varphi_{оа} e^{-r_n(t - \tau_1)}}{1 + \varphi_{оа}} + \mu_n \cdot \alpha_{н.я} \frac{1 + \varphi_{он} e^{-r_n(t - \tau_1)}}{1 + \varphi_{он}}; \quad (19)$$

Выводы:

1. При вынужденной деформации без ползучести напряжение не релаксируют.

2. При загрузении железобетонной колонны продольной силой происходит перераспределение усилий с бетона на арматуру. При вынужденной деформации процесс перераспределения идет в противоположном направлении.

Summary

In reinforce-concrete columnar at the forced deformations relaxation of tensions takes place less intensively. An armature restrains deformations of creep.

1. Прокопович И.Е. Влияние с длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. - М.:Стройиздат,1963. - 257с.
2. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. - М.:Стройиздат,1980. - 240с.
3. Кобринец В.М. Длительное деформирование железобетонного элемента при силовом и вынужденном деформировании. II вісник ОДАБА. вип. 17, - Одеса, 2005. - с. 116 - 120.