

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛОНН СО СЛУЧАЙНЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ ПО ДБН В.2.6-98:2009 В СРАВНЕНИИ С РАСЧЕТОМ ПО EN 1992-1-1:2004

Стоянов Е.Г.

Харьковская национальная академия городского хозяйства
г. Харьков, Украина

АНОТАЦІЯ: Пропонується алгоритм практичного розрахунку умовно центрально стиснутого елемента з урахуванням деформацій другого порядку.

АННОТАЦИЯ: Предлагается алгоритм практического расчета условно центрально сжатого элемента с учетом деформаций второго порядка.

ABSTRACT: Algorithm for the practical calculation of conditional central compression element with the second order deformation is proposed.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деформация, напряжение, арматура, ползучесть.

Величина случайного эксцентриситета e , является эффектом первого порядка и определяется рекомендациями 5.14 [1].

Влияние (эффект) второго порядка учитывается, если гибкость элемента $\lambda = l_0/i$ превышает предельную величину

$$\lambda_{lim} = 20ABC / \bar{n}, \quad (1)$$

где

$$A = 1/(1+0,2\varphi_{ef}); \quad (2)$$

$$B = 1,1;$$

$C = 0,7$ (поскольку моменты первого порядка возникают только от случайного эксцентриситета);

$$n = N_{Ed}/A_c f_{cd} \text{ (относительная продольная сила);}$$

l_0 – расчетная длина элемента;
 i – радиус инерции бетонного сечения;
 f_{cd} – расчетное сопротивление бетона;
 φ_{ef} – приведенный коэффициент ползучести:

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) * M_{OEqr} / M_{OEEd}, \quad (3)$$

где M_{OEqr} – изгибающий момент от характеристической нагрузки, приложенной со случайным эксцентриситетом e_i ;

M_{OEEd} – изгибающий момент от расчетной нагрузки, приложенной с эксцентриситетом e_i ;

$\varphi(\infty, t_0)$ – граничная величина коэффициента ползучести, определяемая по табл. 3.1 [2] для разных классов бетона в зависимости от относительной влажности внешней среды или по номограммам при расчете по Еврокоду 2.

Величина случайного эксцентриситета за счет эффекта второго порядка увеличивается до значения

$$e_0 = e_i \left(1 + \frac{\beta}{N_{Ed} - 1} \right), \quad (4)$$

где при отсутствии поперечной нагрузки $\beta = 1,232$ [2];

N_B – критическая сила, определяемая по формуле

$$N_D = \pi^2 EI / l_0^2. \quad (5)$$

В [1], [2] не даются рекомендации по определению EI . Еврокод 2 [3] рекомендует определять жесткость сечения колонны по формуле

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s, \quad (6)$$

где

$$K_c = K_1 K_2 / (1 + \varphi_{ef}), \quad (7)$$

$$K_1 = \overline{f_{ck}} / 20, \quad K_2 = n\lambda / 170 \leq 0,2;$$

K_s – коэффициент, учитывающий влияние арматуры;

E_{cd} – расчетный модуль упругости бетона;

I_c – момент инерции бетонного сечения.

При неизвестном армировании в первом приближении можно принять арматуру по рекомендованному конструктивному минимуму или принять коэффициент армирования $\rho = A_s/A_c = 0,01$. При этом жесткость сечения колонны при $K_s = 1$:

$$EI = K_c E_{cd} I_c + 0,01 E_s A_c (h/2 - a)^2.$$

Еврокод 2 [3] рекомендует упрощенную альтернативу:

при $\rho \geq 0,01$ принять $K_c = 0,3 / (1 + 0,5\varphi_{ef})$, $K_s = 0$.

Однако, при достаточно большой гибкости колонны критическая сила сравнима с действующей продольной силой, а иногда становится даже меньше ее. Поэтому пренебрегать влиянием арматуры не следует, тем более, что армирование присутствует по расчету или по конструктивным соображениям.

После определения окончательной величины e_0 по (4) рассматривается поперечное сечение колонны при первой или второй форме равновесия. Границей между двумя формами равновесия можно считать $e_0 = r$, где r – расстояние от центральной оси сечения до ядровой точки (для прямоугольного сечения $r = h/6$).

При первой форме равновесия согласно [1] фибровые деформации в более сжатой части сечения в предельном состоянии принимаются равными $\mathcal{E}_{c(1)} = \mathcal{E}_{cu3}$, а в менее сжатой фибре $0 < \mathcal{E}_{c(2)} < \mathcal{E}_{cu3}$. В общем случае величина $\mathcal{E}_{c(2)}$ зависит от величины эксцентриситета e_0 :

$$\mathcal{E}_{c(2)} = \mathcal{E}_{cu3} (1 - e_0/r). \quad (8)$$

Согласно Еврокоду 2 считается, что при первой форме равновесия деформации в более сжатой фибре меняются от $\mathcal{E}_{c(2)} = 0,002$ до \mathcal{E}_{cu3} в зависимости от величины эксцентриситета e_0 . Это логически обосновано, т.к. при осевом сжатии при первой форме равновесия для исчерпания прочности требуется меньшая деформация, чем при второй (изгибной) форме равновесия.

Поэтому в отличие от рекомендаций ДБН В.2.6-98:2009 правильнее принимать в предельном состоянии

$$\mathcal{E}_{c(1)} = (\mathcal{E}_{cu3} - 0,002) * e_0/r + 0,002. \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{c(2)} = \mathcal{E}_{c(1)} (1 - e_0/r). \quad (10)$$

Условная граница сжатой зоны определяется координатой

$$x = h\epsilon_{c(1)} / (\epsilon_{c(1)} - \epsilon_{c(2)}). \quad (11)$$

Деформации ϵ_{c3} , при которых напряжения в бетоне достигают величины расчетных сопротивлений f_{cd} , определяются координатой

$$x^I = x(\epsilon_{c(1)} - \epsilon_{c3}) / \epsilon_{c(1)}. \quad (12)$$

Эпюра напряжений имеет сложную форму (рис. 1).

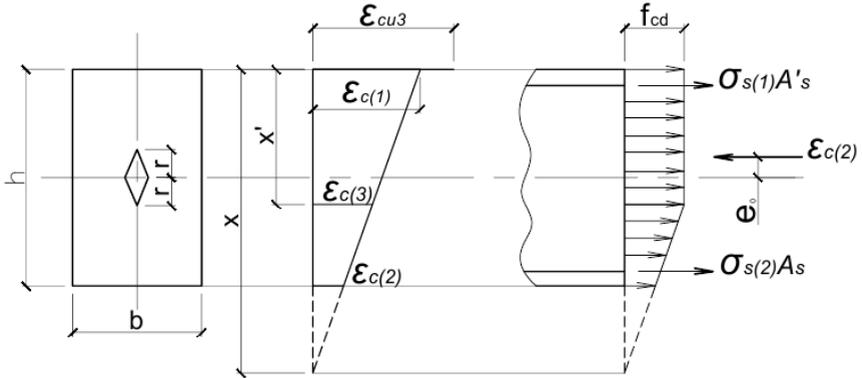


Рис. 1. Эпюра напряжений

Равнодействующая сил сжатия в бетоне

$$N_c = f_{cd}b[x^I + 0,5(h - x^I)(1 + \frac{x-h}{x-x^I})]. \quad (13)$$

Для случая $e_0 = r$ деформации $\epsilon_{c(2)} = 0$. Равнодействующая сил сжатия в бетоне

$$N_c = f_{cd}b(h + x^I)/2.$$

Напряжения в бетоне

$$\sigma_{c(1)} = \epsilon_{c(1)}E_{cd} = f_{cd}; \quad \sigma_{c(2)} = \epsilon_{c(2)}E_{cd}.$$

Необходимое количество арматуры или определение несущей способности определяется при решении системы уравнений равновесия.

Если деформации в бетоне $\epsilon_{c3} < \epsilon_{c(2)} < \epsilon_{c(1)}$, то напряжения в бетоне по всему сечению постоянны и равны f_{cd} . Равнодействующая сил сжатия в бетоне максимальна:

$$N_c = f_{cd}bh.$$

При $e_0 > r$ рассматривается вторая форма равновесия, где в предельном состоянии $\mathcal{E}_{c(1)} = \mathcal{E}_{cu3}$, а $\mathcal{E}_{c(2)}$ определяется по (8).

Высота сжатой зоны $x = h\mathcal{E}_{cu3}/(\mathcal{E}_{cu3} + \mathcal{E}_{c(2)})$;

$$x^I = x(\mathcal{E}_{cu3} - \mathcal{E}_{c3})/\mathcal{E}_{cu3}.$$

Напряженное состояние сечения определяется из уравнений равновесия при двузначной эпюре напряжений в бетоне.

Окончательное армирование при симметричном расположении арматуры определяется по большей из величин A_s или A_s^I .

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
3. Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings: EN 1992-1-1: Eurocod 2.

Статья поступила в редакцию 21.02.2013 г.