

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ С УЧЕТОМ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Кобринец В.М., Заволока Ю.В., Чечикова Ю.М., Наджи Ханджи. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

Разработка методики расчёта сжатых и внецентренно сжатых бетонных и колонн при симметричном и несимметричном жёстком воздействии окружающей среды.

В реальных расчетах и практике строительства одной из актуальных проблем является снижение материалоемкости несущих и ограждающих конструкций, экономия энергоресурсов, повышение надежности и долговечности зданий и сооружений. Эти задачи можно решить путем совершенствования методов расчета при совместном учете силовых воздействий и влияния окружающей среды, ползучести бетона и железобетона длительного действия нагрузки.

Особенности окружающей среды предопределяет два направления для борьбы с ней. Первый - разработка определенных мер и способов защиты для предотвращения или ослабления коррозионных процессов, снижения прочности и деформативных свойств и износа конструкций, либо применение новых эффективных строительных материалов. Второй - учет влияния окружающей среды на работу конструкции на стадии проектирования, чтобы обеспечить пригодность конструкций к нормальной эксплуатации и надежности, на весь срок службы здания и сооружения. Для этого необходимо совершенствовать существующие методы расчета при комплексном учете силовых и других факторов. В связи со сказанным, тема научной работы является актуальной.

1. Определение положения центра жесткости

Идеально центрально сжатых колонн не существует. Всегда будут начальные несовершенства, приводящие к продольному изгибу. В данном случае, такое напряжённое состояние получается

в результате несимметричного воздействия, ползучесть будем учитывать через длительный модуль упругости в соответствии с теорией упругости наследственности.

$$E_{a,\ell} = \frac{E_{\sigma}}{1 + \varphi_{0\sigma}}, \quad E_{\sigma,\ell,\text{inf}} = \frac{E_{\sigma,\text{inf}}}{1 + \varphi_{0\sigma,\text{inf}}} \quad (1)$$

При таком направлении фронта влияния среды произойдет смещение центра жёсткости относительно центра тяжести. Появится эксцентриситет $e_c(t)$. (рис.1).

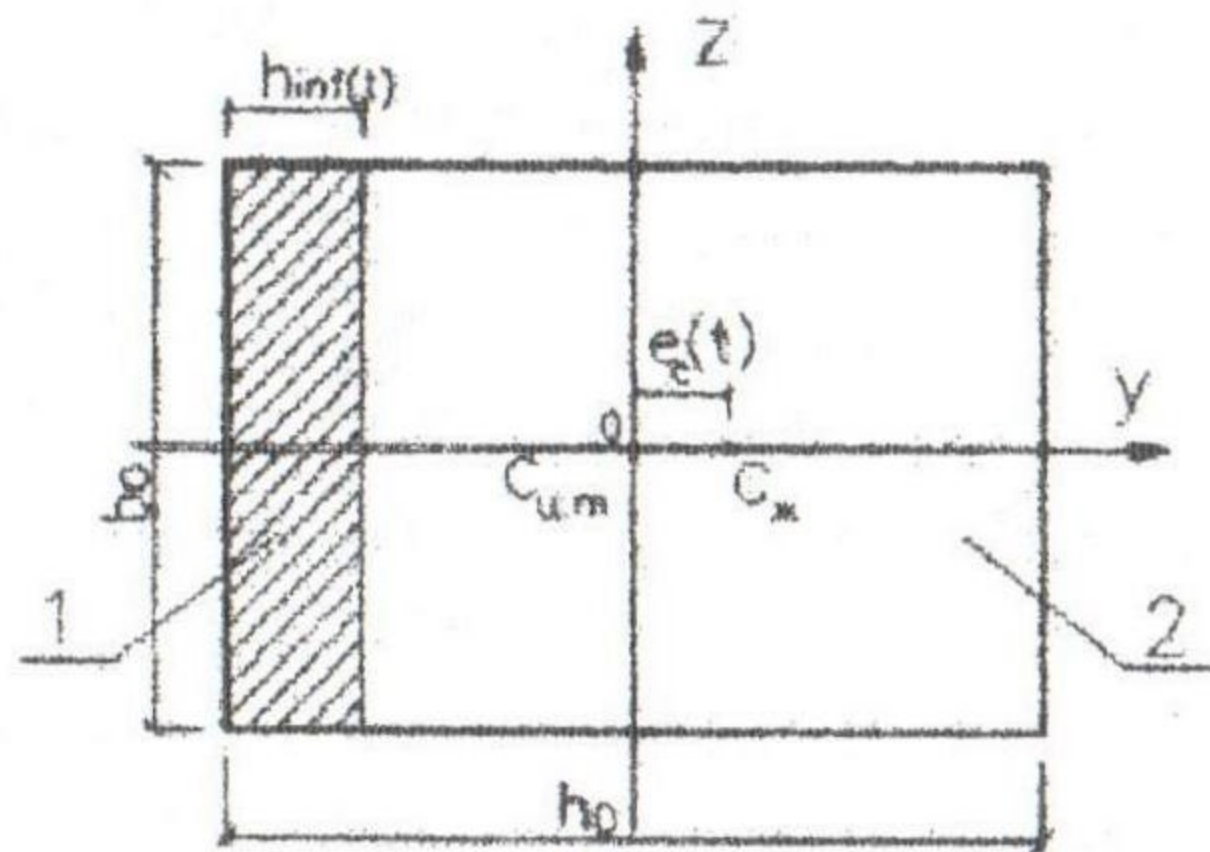


Рис.1. Смещение центра жесткости относительно центра тяжести

1- зона воздействия inf, 2-зона естественного состояния pat.

Центральное сжатие сменится продольным изгибом. Положение центра жесткости определяется аналогично центра тяжести, но по приведённым значениям приведённого статического момента и площади.

$$e_c(t) = \frac{h\mu_{\text{inf}}(t)[1 - \mu_{\text{inf}}(t)]}{2[1 - \mu_{\text{inf}}(t)(1 - \alpha_{\text{в. inf}})]}; \quad \mu_{\text{inf}}(t) = \frac{h_{\text{inf}}(t)}{h_0} \quad (2)$$

При $h_{\text{ing}}(t) = \frac{h_0}{2(1 + \sqrt{\alpha_{\sigma,\text{inf}}})}$ эксцентриситет достигает

максимального значения

$$e_v^{\max}(t) = \frac{h_0(1-\sqrt{\alpha})}{2(1+\sqrt{\alpha_{\sigma,inf}})} \quad (3)$$

и жесткость

$$B_{zc}^* = B_{z0} \frac{4\alpha_{\sigma,inf}}{(1+\sqrt{\alpha})} \quad (4)$$

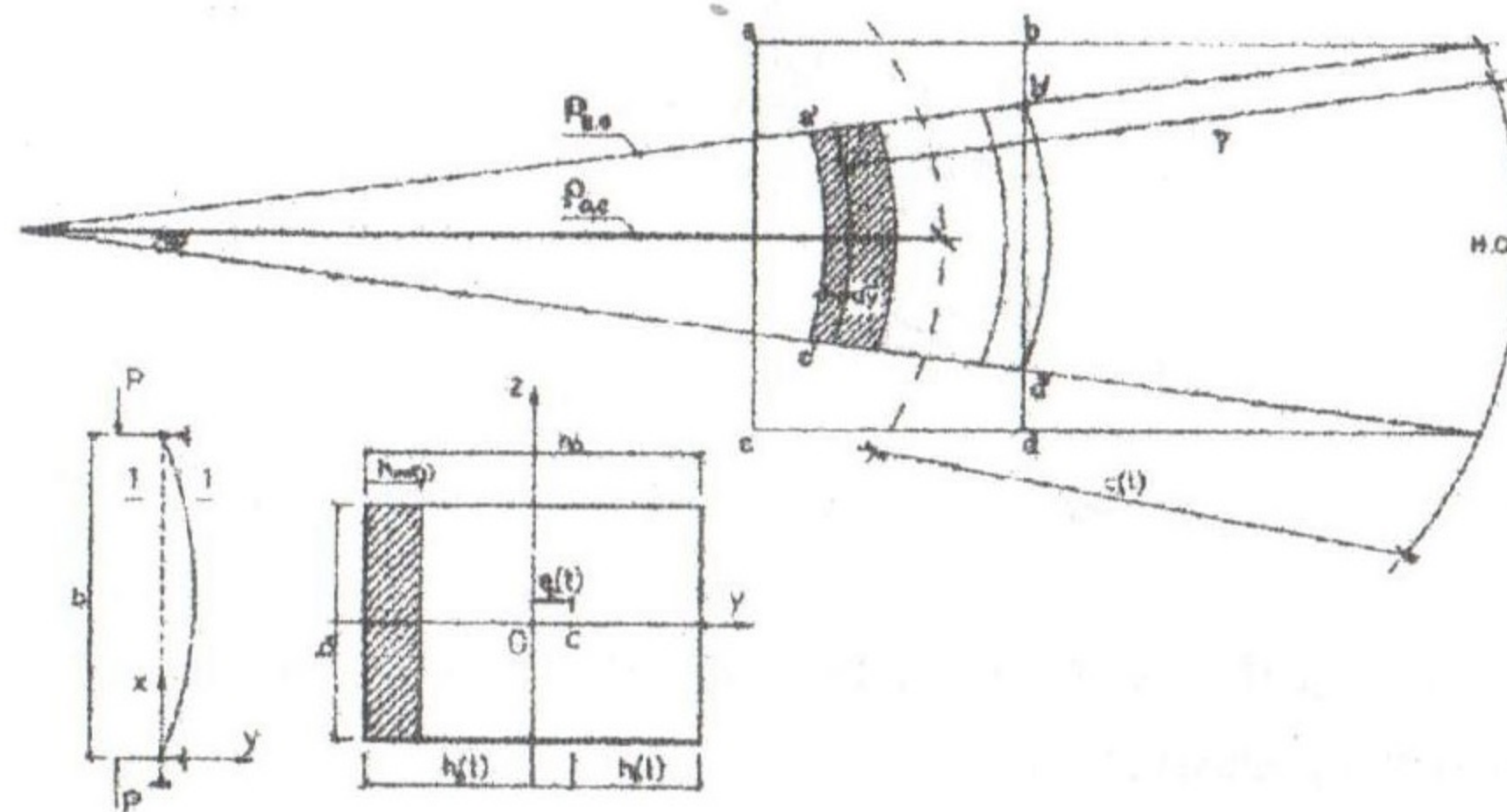


Рис. 2. Деформированное состояние поперечного сечения и схема нагружения колонны

Если $\alpha_{\sigma,inf} = 0$, это означает разрушение слоя воздействия - износ материала тогда

$$e_c = h_p(t)/2 \quad (5)$$

С учетом ползучести $\alpha_{\sigma,inf}$, необходимо заменить на

$$\alpha_{\sigma,inf}^{long} = \frac{E_{\sigma,inf}(1+\varphi_{0\sigma})}{E_{\sigma}(1+\varphi_{0\sigma,inf})} \quad (6)$$

2. Уравнения продольного изгиба

Рассмотрим внецентренно сжатый стержень. Эксцентриситет появляется под влиянием несимметричного жесткого воздействия по всей длине колонны по формуле (1), рассмотрим равновесие отсеченной части рис. 3.

Запишем уравнение равновесия на касательную

$$P \cos \beta = \int_{A_{\sigma}} \sigma_{\sigma} b dy + \int_{A_{inf}} \sigma_{inf} b dy \quad (7)$$

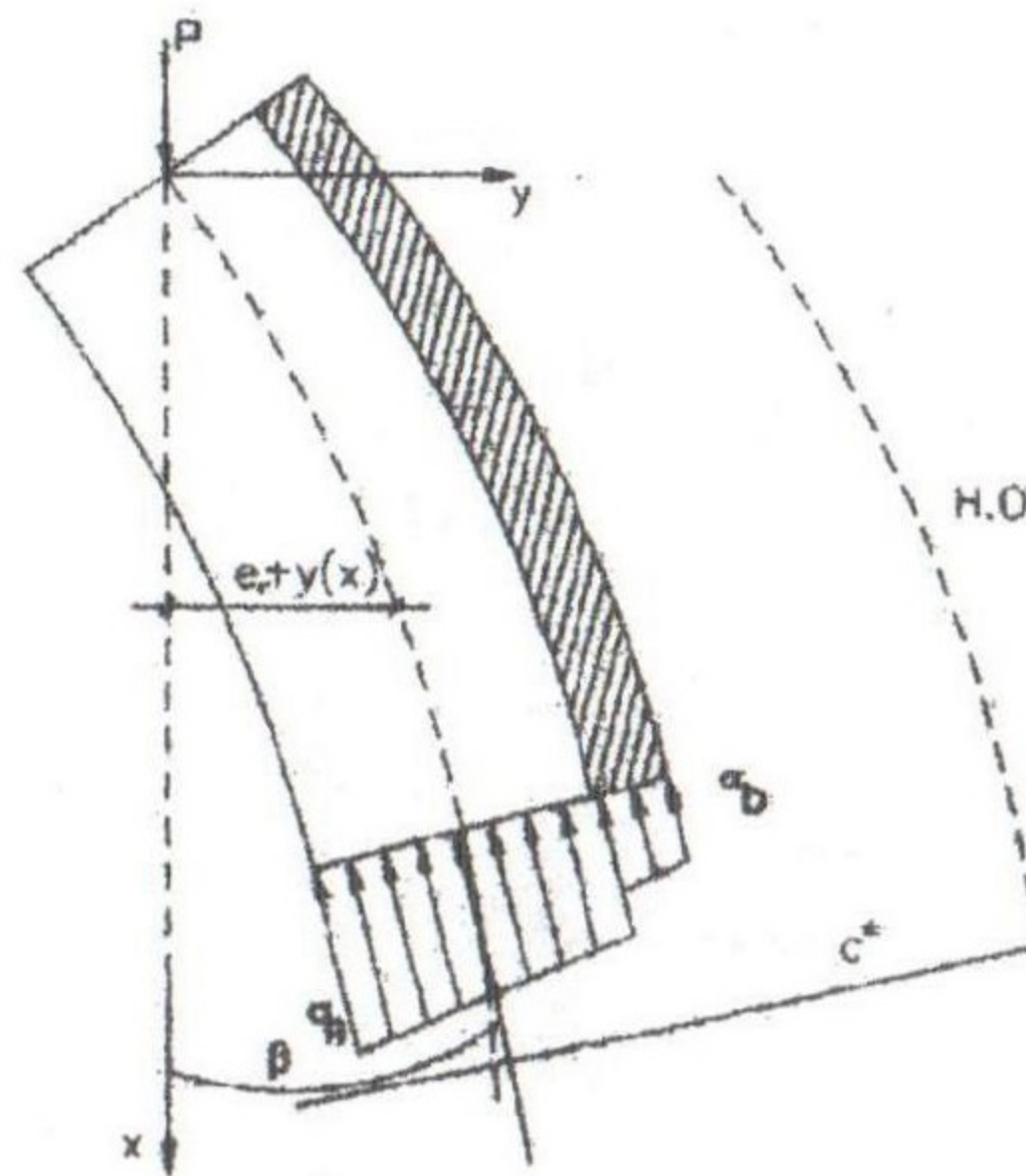


Рис. 3. Напряженное состояние отсеченной части

Уравнение моментов запишем не относительно оси стержня, а относительно нейтральной оси

$$P \left(e_c + y(x) + \frac{c^*}{\cos \beta} \right) = \int_{A_s} \sigma_s b \bar{y} d\bar{y} + \int_{A_{inf}} \sigma_{inf} b \bar{y} d\bar{y} \quad (8)$$

Для конструкций, применяемых в строительстве, угол весьма мал. Поэтому можно принять $\cos \beta = 1$. Учитывая гипотезу плоских сечений, получим для зоны, куда проникло воздействие

$$\sigma_{inf} = \alpha \cdot \sigma_s \quad (9)$$

Применяем известное из сопротивления материалов формулу напряжений

$$\sigma = \frac{E}{\rho_{H.O.}} \cdot \frac{1}{\rho_{H.O.}} = \frac{\sigma_s}{E \bar{y}} \quad (10)$$

и подставим ее в (8)

$$M_p = \frac{E_s}{\rho_{H.O.}} \int_{c^s - (h_2 - h_0)}^{c^s + h} b_0 \bar{y}^2 d\bar{y} + \frac{E_{a,inf}}{\rho_{H.O.}} \int_{c^s - h_2}^{c^s - (h-h)} b_0 \bar{y}^2 d\bar{y} \quad (11)$$

Рассмотрим первый интеграл

$$b_0 \int_{c^s - (h_2 - h_0)}^{c^s + h} \bar{y}^2 d\bar{y} = \frac{b_0 E_s}{3 \rho_{H.O.}} [0,12h^3 + 3c^{*3} (h - h_{inf}) + 3c^* h_{inf} (h - h_{inf}) + (0,5h - h_{inf})$$

Второй интеграл

$$b_0 \int_{c^8 - (h_2 - h_0)}^{c^8 - \Delta h} y^2 dy = \frac{b_0 E_{s,inf}}{3 \rho_{н.о.}} [0,12h^3 + 3c^{*3}(h_{inf}) - 3c^* h_{inf}(h - h_{inf}) + (0,5h - h_{inf})^3]$$

Подставим эти значение в (11)

$$M_p = \frac{b_0 E_{s,inf}}{3 \rho_{н.о.}} \left[0,125h^3(1 + \alpha) + 3c^{*2}h_{inf} - 3c^*(h - h_{inf}(1 - \alpha_{s,inf})) + \right. \\ \left. + 3c^*h_{inf}(h - h_{inf})(1 - \alpha_{s,inf}) + (0,5h - h_{inf})^3(1 - \alpha_{inf}) \right] \quad (12)$$

Из (12) получаем выражение для кривизны нейтральной оси

$$\frac{1}{\rho_{н.о.}} = \frac{M_p}{E_{s,inf} I_z^*} \quad (13)$$

Где

$$I_z^* = \frac{b_0}{3} (0,125h^3(1 + \alpha) + 3c^{*2}h_{inf} - 3c^*(h - h_{inf}[1 - \alpha_{s,inf}]) + \\ + [3c^*h_{inf}(h - h_{inf}) + (0,5h - h_{inf})^3](1 - \alpha_{inf})) \quad (14)$$

Напряжения в зоне куда воздействие еще не проникло

$$\sigma_{s,inf} = \frac{M \cdot y}{I_z^*}; (c^* - 0,5h + h_{inf}(t)) \leq y \leq (c^* + 0,5h) \quad (15)$$

и в зоне воздействия

$$\sigma_{inf} = \alpha_{s,ing} \frac{M \cdot y}{I_z^*}; (c^* - 0,5h_{inf}) \leq y \leq (c^* - 0,5h + h_{inf}(t)) \quad (16)$$

Напряжение $\sigma_{s,inf}$ и σ_{inf} по (15) и (16) подставим в первое уравнение равновесия (7), принимаем $\cos \beta = 1$;

$$M_p = P(e_c + y(x) + c^*)$$

$$P = P[e_c + y(x) + c^*] \left[\frac{b_0}{I_z} \int_{c^8 - (0,5h - h_b)}^{c^8 + 0,5h} \bar{y} dy + \alpha \frac{b_0}{I_z} \int_{c^8 - 0,5h}^{c^8 - (0,5h - h_b)} \bar{y} dy \right] \quad (17)$$

Тем самым получим формулу для определения расстояния от оси первоначальной однородной колонны до нейтральной оси

$$c^* = \frac{(0,125h_0^3(1 + \alpha_{s,inf}) + [(0,5h_0 - h_{inf})^3 - 1,5h_{inf}(h - h_{inf})(e_c + y(x))](1 - \alpha_{s,inf}))}{3[h_0 - h_{inf}(1 - \alpha)][e_c + y(x)] - 1,5(h_0 - h_{inf})(1 - \alpha_{s,inf})} \quad (18)$$

До начала воздействия, когда материал однородной момент инерции $I_z^0 = b_0 h_0 \left(c^{0^2} + \frac{h_0^3}{12} \right)$ (19)

Расстояние до нейтральной оси

$$c^0 = \frac{h^2}{12[e_c + y(x)]} \quad (20)$$

В этих формулах $y(x)$ - это выгиб колонны при внецентренном сжатии. Если (20) подставить в (19) получим

$$I_z^0 = \frac{b_0 h_0^3}{12} \left[1 + \frac{h^2}{12[e_c + y_1(x)]^2} \right] \quad (21)$$

Если начальный эксцентриситет отсутствует $e_0 = 0$, то $y_1(x) = 0$, т.е. для центрального сжатия получаем

$$c^0 \rightarrow \infty \quad (22)$$

Формула напряжений (14) приобретает вид:

$$\sigma = \frac{M \cdot \bar{y}}{I_z^0} = \frac{\infty}{\infty} \quad (23)$$

Раскрывая эту неопределенность по правилу Лопиталья, либо запишем напряжения в таком виде:

$$\sigma = \frac{P \cdot c^0 \left(1 + \frac{e_0}{c^0} + \frac{y(x)}{c^0} \right) \cdot c^0 \cdot \left(1 \pm \frac{0,5h_0}{c^0} \right)}{b_0 \cdot h_0 \cdot c^{0^2} \left(1 + \frac{h^2}{12c^{0^2}} \right)} \quad (24)$$

Если $c^0 \rightarrow \infty$, то из (24), как частный случай, получаем формулу для центрально сжатого стержня

$$\sigma_{ч.сж} = \frac{P}{b_0 h_0} \quad (25)$$

Следовательно, формулы (15) и (16) являются обобщением на случай центрального сжатия и продольного изгиба. Если сделать предельный переход при $c = 0$, получаем чистый поперечный изгиб.

Тогда $I_z^0 = \frac{b_0 h_0^3}{12}$

3. Напряженное состояние

Рассмотрим пример расчета сжатой колонны сечением 40х60см, из бетона В16 с первоначальным напряжением 7МПа.

Исходные данные:

$$\sigma_0 = 7 \text{ МПа}, \quad P = 1680 \text{ кН}, \quad \alpha_{\text{inf}} = 0,8, \quad E_s = 2,3 \cdot 10^4 \text{ МПа},$$

$$E_{s,\text{inf}} = 1,84 \cdot 10^4 \text{ МПа} \quad \varphi_{0s} = 1,38; \quad \varphi_{0,\text{inf}} = 1,66 \cdot \alpha_{\text{inf}}^{\text{cong}} = \frac{E_{s,\text{inf}} \cdot (1 + \varphi_{0s})}{E_s \cdot (1 + \varphi_{s,\text{inf}})} = 0,716$$

Случайный эксцентриситет $e_0 = 1 \text{ см}$.

Результаты расчетов представленные на рис.4.

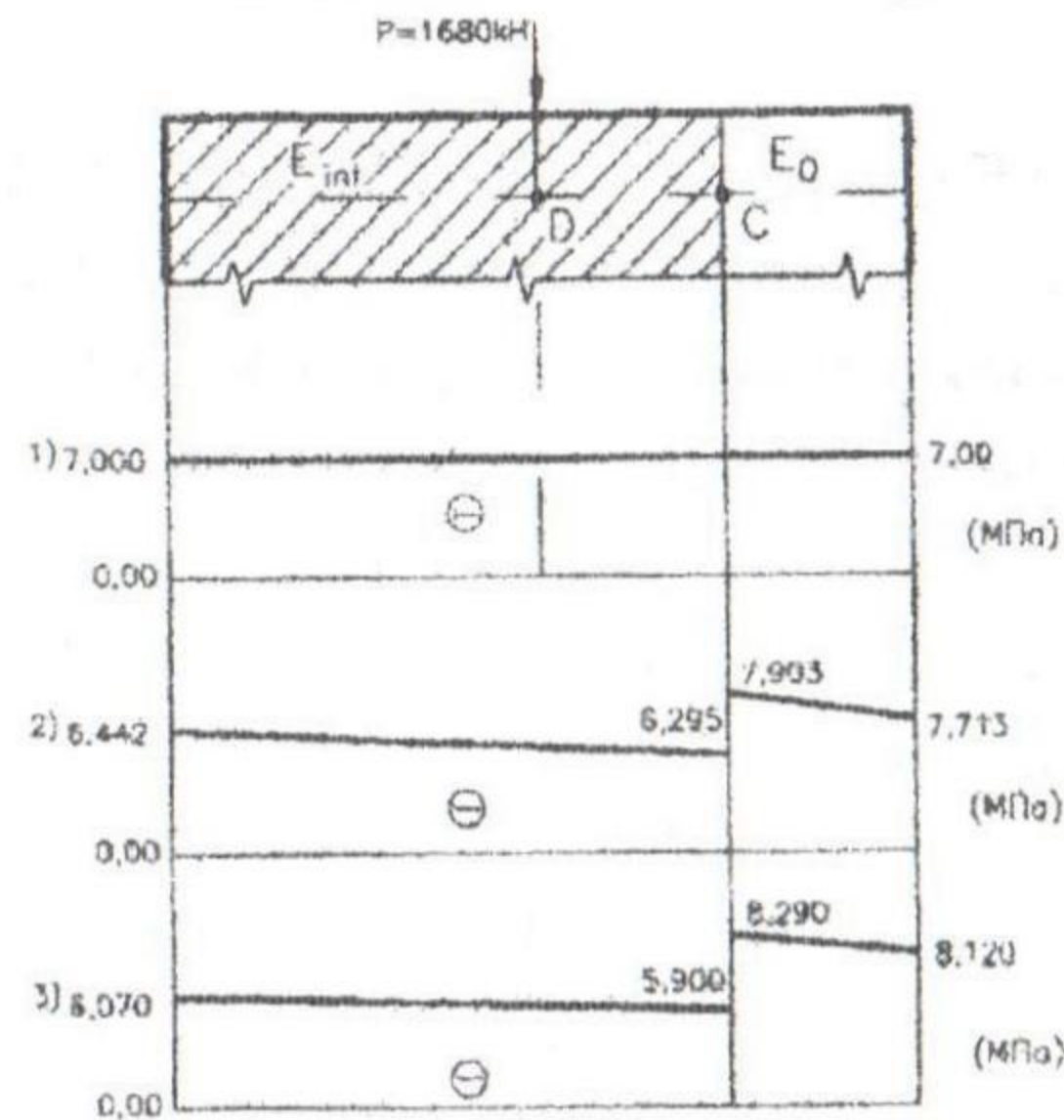


Рис.4. Эпюры напряжений
 1) без воздействия,
 2) с воздействием,
 3) с воздействием и ползучестью.

Выводы:

1. Предложена нестандартная методика расчета центральных и внецентренно сжатых колонн.
2. Напряженное состояние определяется сразу по одной формуле, а не суммированием напряжений от сжимающей силы и момента.
3. В результате несимметричного влияния окружающей среды, центрально сжатый стержень становится внецентренно сжатым.

Литература

1. Гузеев Е.А. Влияние среды на механические свойства бетона. В кн.: Прочность структурных изменений и деформаций бетона. М., 1978. С. 223-253.
2. Яценко Е.А., Корнилова С.В., Бовин А.А., Соссу Г. Теория ползучести железобетонных конструкций. Днепропетровск; Guadeamus, 2000. С600