

## ТРИ СТАДИИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

**Дорофеев В.С., профессор, Кобринец В.М., профессор,  
Заволока Ю.В., доцент, Совгира В.В., аспирант**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Применять методику сопромата для расчета внецентренно сжатых стержней с переносом силы в центр тяжести сечения для нелинейно-упругих материалов нельзя.

Загружение бетонных элементов производится ступенями.

Первая стадия соответствует работе бетона, как линейно-упругого материала.

В ДБН В.2.6-98:2009 [1] уровень линейной работы бетона принят равным 0,3.

В методике продольного изгиба [2] напряженное состояние определяется относительно нейтральной оси *н.о.*, а деформированное относительно оси стержня *о.с.* В данном случае расчет выполняется по недеформированной схеме. Поэтому это будет внецентренное сжатие.

У Байкова [3] к первому случаю относятся внецентренно сжатые элементы с относительно большим эксцентриситетом, а ко второму случаю – с относительно малым эксцентриситетом. Относительно чего, никаких пояснений нет. Эпюра напряжений в обоих случаях разнозначная, есть сжатая и растянутая зоны. Поэтому такое деление на два случая сомнительное.

В ДБН В.2.6-98:2009 есть указание о том, что при продольном изгибе эпюра напряжений может быть однозначной и разнозначной. Объяснений о причинах, которые порождают такие эпюры, отсутствуют.

Причины – это большой и малый эксцентриситеты, значения которых получены при рассмотрении продольного изгиба. Расстояние от оси стержня до нейтральной *Сн.о* определяется через эксцентриситет  $e_0$  и выгиб стержня  $f(x)$ . Для линейно-упругого материала получена формула

$$C_{i,i} = \frac{I_z}{A[e_0 + f(x)]}. \quad (1)$$

Нейтральная ось это касательная к контуру сечения, тогда

$$C_{i,i} = \frac{I_z}{A \cdot e_0}. \quad (2)$$

Определение граничного эксцентриситета это расстояние между центром тяжести сечения и центром тяжести однозначной эпюры напряжений. Причем в этой эпюре в самой точке сечения напряжение равно нулю. Именно через эту точку проходит нейтральная ось.

$$e_0^{\bar{\omega}} = \frac{I_z}{A \cdot C_{i,i}}. \quad (3)$$

Для прямоугольного сечения  $C_{i,i} = \frac{h}{2}$  по (3)

$$e_0^{\bar{\omega}} = \frac{bh^3 \cdot 2}{12 \cdot bh \cdot h} = \frac{h}{6}.$$

Это значение известно из сопромата.

Для круга  $C_{i,i} = R$ .

$$A = \pi R^2; \quad I_z = \frac{\pi R^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4}; \quad e_0^{\bar{\omega}} = \frac{\pi R^4}{\pi R^2 \cdot 4 \cdot R} = \frac{R}{4}.$$

В общем случае по (2) определяется расстояние до нейтральной оси, через эксцентриситет внецентренно прикладываемой силы  $P$ . [4].

Если  $e_0 < e_0^{\bar{\omega}}$  – это малый эксцентриситет. При этом нейтральная ось выходит за пределы сечения. При этом эпюра напряжений будет однозначной.

Допустим  $e_0 = 0$ , тогда  $C_{i,i} \rightarrow \infty$ , это признак центрального сжатия.

Когда  $e_0 > e_0^{\bar{\omega}}$  – это большой эксцентриситет. В этом случае нейтральная ось располагается в зоне сечения и эпюра напряжений будет двузначной. Таким образом, будет растянутая зона и зона сжатия.

Допустим  $e_0 \rightarrow \infty$  (чисто теоретически),  $C_{i,i} = 0$ , и нейтральная ось совпадает с осью стержня.

Эпюра напряжений на первой стадии загрузкилиния и сила прикладывается с граничным эксцентриситетом  $e_0^{\bar{\omega}} = \frac{h}{6}$  (рис.1).

Сила, которая формируется при этом

$$P^I = \frac{m \cdot R_b \cdot bh}{2} = \frac{0,3 \cdot R_b \cdot bh}{2} = 0,15 R_b \cdot bh. \quad (3)$$

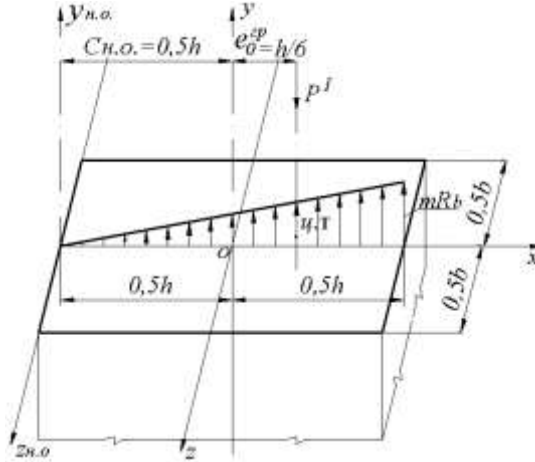


Рис. 1. Эпюра напряжений на первой стадии, коэффициент здесь  $m = 0,3$ .

На второй стадии бетон начинает работать, как нелинейно-упругий материал. Поэтому необходимо определить граничное значение эксцентриситета.

Нелинейная зависимость между напряжениями в бетоне и деформациями принимается по ДБН В.2.6-98:2009.

$$\sigma_c = f(cd) \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k, \quad \eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{cl}. \quad (4)$$

Эпюра напряжений показана на Рис.2.

Сила  $P_1 = 0,772bhR_b$  и  $P_1 = 0,65bhR_b$ .

Граничный эксцентриситет определяется через расстояние до центра тяжести от левой грани  $y_c$ .

$$e_0^{\bar{\omega}} = y_c - 0,5h.$$

$$y_c = \frac{h \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2}}{\sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1}}. \quad (5)$$

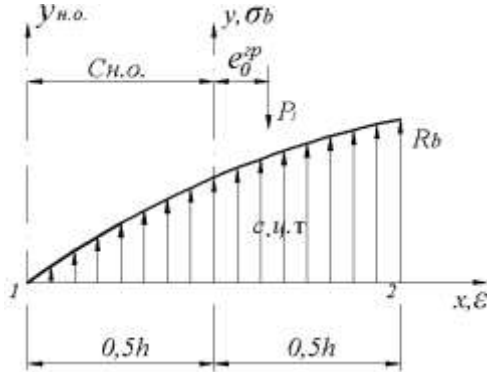


Рис.2. Эпюра напряжений, когда реализуется восходящая ветка диаграммы  $\sigma_b - \varepsilon_b$ .

В таблице 1 представлены значения площади эпюры напряжений и значения граничного эксцентриситета  $e_0^{\ddot{a}\ddot{b}}$ .

Коэффициент площади бетона, когда он работает в нелинейной стадии равна 0,5, в нелинейной 0,78-0,65. когда бетон работает, как нелинейно-упругий материал, его эффективность выше. Центр тяжести значительно смещается к оси стержня в,  $1,33 \div 1,8$  раза ближе, чем на рис.2.

Для дальнейшего исследования возьмем бетон класса В55. Из такого бетона внецентренно сжатые элементы не изготавливаются. Это только для примера. Для этого бетона площадь по табл. 1  $A_b = 0,666 \cdot bhR_b$ , а это соответствует площади квадратной параболы  $A_b = \frac{2}{3}bhR_b = 0,667bhR_b$ . Расстояние от центра тяжести у квадратной

параболы  $y_{\ddot{a},\ddot{b}} = \frac{5}{8}h = 0,625h$ . Следовательно,

$$e_0^{\ddot{a}\ddot{b}} = y_{\ddot{a},\ddot{b}} - 0,5h = 0,625h - 0,5h = 0,125h.$$

По табл.1  $e_0^{\ddot{a}\ddot{b}} = 0,124h$ . Можно считать, что нелинейная работа этого бетона подчиняется закону квадратной параболы.

Таблица 1

Площадь эпюры  $\sigma_b - \varepsilon_b$ , с восходящей веткой и граничный эксцентриситет

Класс бетона	$c = \frac{8}{10}$	$c = \frac{12}{15}$	$c = \frac{16}{20}$	$c = \frac{20}{25}$	$c = \frac{25}{30}$	$c = \frac{30}{35}$	$c = \frac{32}{40}$	$c = \frac{35}{45}$	$c = \frac{40}{50}$	$c = \frac{45}{55}$	$c = \frac{55}{60}$
$\frac{A_b}{bhR_b}$	0,772	0,775	0,740	0,728	0,720	0,712	0,706	0,695	0,680	0,660	0,649
$\frac{e_0^{\text{гр}}}{h}$	0,0908	0,0958	0,1007	0,1046	0,1073	0,1097	0,1120	0,115	0,1187	0,124	0,125

Теперь можно построить эпюру напряжений для второй стадии. Если сравнить эксцентриситет приложения силы, то он в процессе загрузки остается постоянным и равным  $e_0 = 0,16667h$ . По сравнению с граничным  $e_0^{\text{гд}} = 0,124h$  действующий эксцентриситет стал большим. Но после догрузки сила не сместилась ни на мм, а бетон стал другим нелинейно упруго-пластичным материалом. Центр тяжести эпюры напряжения сместился и изменился статус действующего эксцентриситета, он стал в 1,34 раза больше граничного. Это значит, что нейтральная ось сместилась и располагается в сечении. Эпюра напряжений на второй стадии показана на рис.3

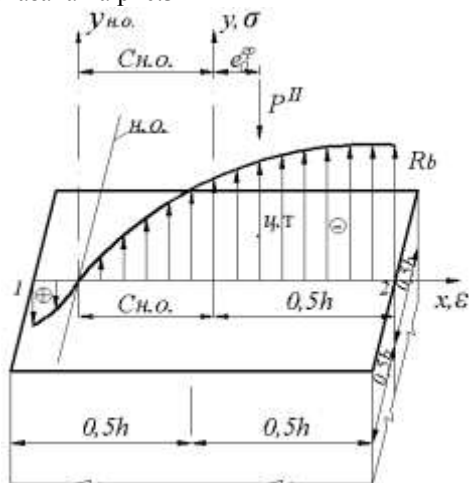


Рис.3. Эпюра напряжений на второй стадии внецентренного сжатия

Сила, которая формируется на второй ступени

$$P^{II} = \frac{2}{3} b [R_b (C_{i.i.} + 0,5h) - \sigma_{b1} (0,5h - C_{i.i.})]. \quad (6)$$

Максимальное напряжение  $\sigma_{b2} = R_b$ . Но это не значит, что в этом волокне появится трещина. Остальные волокна не догружены. Поэтому третья ступень начинается с догрузки силы  $P^{II}$  новой ступени. Но предварительно нужно определить граничный эксцентриситет эпюры напряжений снисходящей веткой рис.4, табл.2.

Определение расстояния до центра тяжести эпюры

Таблица 2

Площадь эпюры напряжений снисходящей веткой и граничный эксцентриситет

Класс бетона	$c = \frac{8}{10}$	$c = \frac{12}{15}$	$c = \frac{16}{20}$	$c = \frac{20}{25}$	$c = \frac{25}{30}$	$c = \frac{30}{35}$	$c = \frac{32}{40}$	$c = \frac{35}{45}$	$c = \frac{40}{50}$	$c = \frac{45}{55}$	$c = \frac{55}{60}$
$\frac{A_b}{bhR_b}$	0,822	0,808	0,802	0,798	0,797	0,795	0,788	0,775	0,755	0,734	0,708
$\frac{e_0^{\text{до}}}{h}$	0,0107	0,0141	0,023	0,032	0,042	0,0527	0,063	0,077	0,089	0,1005	0,115

$$y_c = h \frac{\sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left( \frac{\varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{bR}} \right)^k}{\sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left( \frac{\varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{bR}} \right)^k}. \quad (7)$$

Сила  $P_2 = 0,822bhR_b$  и  $P_2 = 0,708bhR_b$ .

Сила  $P_2$  с нисходящей веткой больше силы  $P_1$  с восходящей веткой больше на 7-8%.

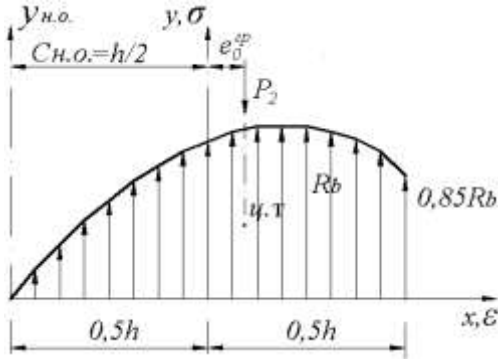


Рис.4. Полная эпюра напряжений с нисходящей веткой

Центр тяжести приблизился к оси стержня в  $0,9 \div 1,1$  раза ближе, чем на рис.2.

Третья стадия начинается с догружения силы  $P^{II}$  новой степенью догружения. При этом возрастут деформации и напряжения. Но в правом волокне  $\sigma_2$  напряжение не только не увеличится, а будет уменьшатся за счет перераспределения на соседние недогруженные волокна и проявлении пластики. Бетон начинает работать на нисходящей ветке.

Если сравнивать действующий эксцентриситет  $e_0 = \frac{h}{6} = 0,16667$  и граничный, то окажется что для бетона класса  $c = \frac{8}{10}$  в 15,6 раза больше, а для бетона  $c = \frac{55}{60}$  в 1,45 раза. Конечно это большой эксцентриситет.

Эпюра третьей стадии показана на Рис.5.



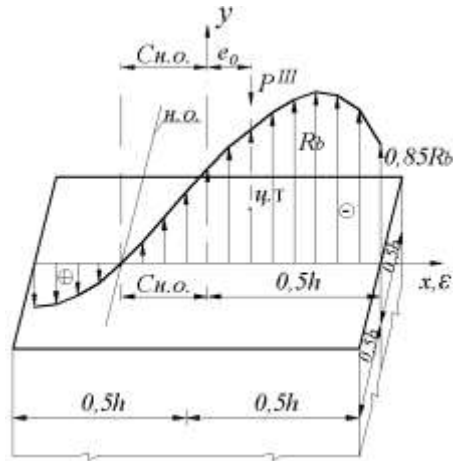


Рис.5. Эпюра напряжений на третьей стадии внецентренного сжатия

Эксцентриситет на третьей стадии стал еще больше, при этом увеличилась растянутая зона. Поэтому увеличение  $P^{III}$  по сравнению с  $P^{II}$  для бетонов низких классов будет не так заметно, как для бетонов высоких классов. Увеличение  $P^{III}$  будет заметно при малом эксцентриситете. Разрушение при большом эксцентриситете может начаться и с растянутой зоны. Деструктивные процессы накапливаются в сжатой и растянутой зоне и тогда может пройти магистральная трещина.

### Выводы

1. При внецентренном сжатии полностью проявляются нелинейно-пластические свойства бетона.
2. Экспериментальные значения восходящей и нисходящей ветви бетона можно получить без специальной экспериментальной установки.

3. Эксцентриситет приложения силы остается постоянным, но в процессе загрузки его статус меняется. Если в начале нагружения он был граничным, то затем он становится большим и даже весьма.

4. В статье приведенные граничные значения эксцентриситетов. Такую характеристику желательно привести в нормативных документах.

## **Summary**

**Changing of eccentric character of eccentrically pressured concrete rods under loading is describing.**

## *Литература*

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетон та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування.
2. Кобринец В.М. Сопротивление внецентренно сжатых элементов с учетом физической нелинейности: Зб. наук.праць ОДАБА. Вип.5. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007р.-С.180-183.
3. В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат. 1991. – 767с.
4. С.П. Тимошенко, Д.Ж. Гере. Механика материалов. – М.: Изд-во «Мир». 1976. – 669с.