

## Расчет строительных конструкций

### НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ АРМИРОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ АРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕРЖНЯ

ГАДЖИЕВ Мухлис Ахмед оглы, профессор, доктор технических наук\*,

С.М. АЛАЕВА, аспирант\*\*

\*Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, Кафедра строительных конструкций,

ул. Айны Султановой, 5, Баку, Азербайджан, AZ1073, [hajiyevmuxlis@rambler.ru](mailto:hajiyevmuxlis@rambler.ru),

\*\*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Кафедра строительных конструкций,

пр. Ленина, 46, Барнаул, Россия, 656038, [asm960@mail.ru](mailto:asm960@mail.ru).

В статье с применением для бетона полной диаграммы деформирования при сжатии В.Н. Байкова и его сотрудников в виде полинома пятой степени и с учётом упругопластической работы арматуры построена численная методика для исследования напряжённо деформированного состояния и несущей способности внецентренно сжатых железобетонных стержней. Разработанная методика позволяет построить диаграмму «нагрузка-прогиб», по которой определяется несущая способность. Установлено, что при применении для бетона полной диаграммы, диаграмма «нагрузка-прогиб» имеет нисходящую ветвь, т.е. подобна диаграмме деформирования бетона при сжатии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полная диаграмма, неполная диаграмма, внецентренное сжатие, несущая способность, прогиб, эксцентриситет, момент, кривизна, напряжение, деформация.

Согласно нормам [1], даже центрально сжатые элементы рассчитываются как внецентренно сжатые при так называемых случайных эксцентриситетах. По требованиям норм в качестве случайных эксцентриситетов выбирают наибольшую из следующих двух величин:  $e_{cl} = h/30$  или  $e_{cl} = l/600$  [1,2,3,4].

Ради конкретности рассмотрим стержни прямоугольного сечения. Задача решается полуобратным методом [3,4]. Применяя гипотезу плоских сечений для распределения деформаций по высоте сечения, запишем (рис.1)

$$\varepsilon_{bz} = \frac{\varepsilon_b}{x} \cdot (x + z - 0,5) \quad (1)$$

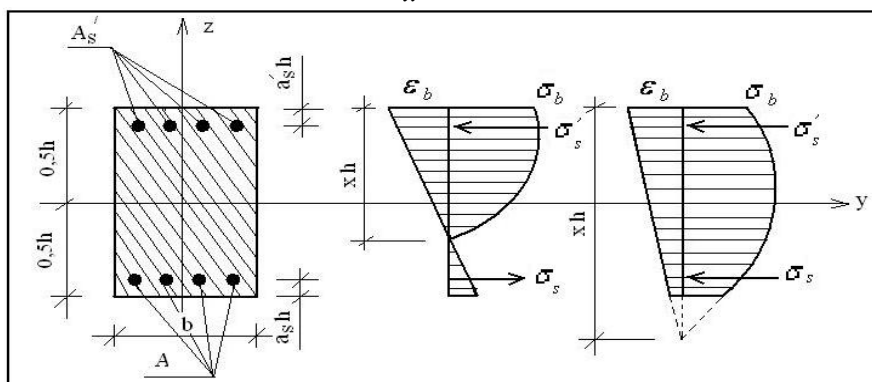


Рис. 1. Расчётная схема изгибаемого элемента

В.Н. Байковым и его сотрудниками для полной диаграммы деформирования бетона при сжатии предложена зависимость в виде полинома пятой степени по системе нормируемых показателей:

$$\sigma_b = A_1 \varepsilon_b + A_2 \varepsilon_b^2 + A_3 \varepsilon_b^3 + A_4 \varepsilon_b^4 + A_5 \varepsilon_b^5. \quad (2)$$

С учётом зависимостей (1) и (2) распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения примет вид

$$\sigma_{bz} = \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k. \quad (3)$$

На основании формул сопротивления материалов с учетом (3) для главного вектора и главного момента нормальных напряжений в бетоне имеем

$$N_b = \int_{A_b} \sigma_{bz} dA_b = \int_{A_b} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k dA_b ;$$

$$M_b = \int_{A_b} \sigma_{bz} z dA_b = \int_{A_b} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k z dA_b .$$

В зависимости от положения нейтральной оси пределы интегрирования в вышеприведенных интегралах меняются, поэтому следует рассмотреть случаи, когда нейтральная ось проходит в сечении и вне его.

В случае, когда нейтральная ось проходит вне сечения согласно Рис.1:

$$N_b = \int_{A_b} \sigma_{bz} dA_b = \int_{A_b} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k dA_b =$$

$$= bh \cdot \int_{-0,5}^{0,5} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k dz ;$$

$$M_b = \int_{A_b} \sigma_{bz} z dA_b = \int_{A_b} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k z dA_b =$$

$$= bh^2 \cdot \int_{-0,5}^{0,5} \sum_{k=1}^5 A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot (z+x-0,5)^k z dz .$$

Чтобы вычислить эти интегралы введем обозначение  $u = z+x-0,5$ , тогда  $du = dz$  и вышеприведенные интегралы примут вид

$$N_b = bh \cdot \sum_{k=1}^{k=5} A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot \int_{x-1}^x u^k du = bh \cdot \sum_{k=1}^{k=5} \frac{A_k}{k+1} \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \left[ x^{k+1} - (x-1)^{k+1} \right];$$

$$M_b = bh^2 \cdot \sum_{k=1}^{k=5} A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot \int_{x-1}^x u^k \cdot (u-x+0,5) du =$$

$$= bh^2 \cdot \sum_{k=1}^{k=5} A_k \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{x} \right)^k \cdot \left[ \frac{x^{k+2} - (x-1)^{k+2}}{k+2} - (x-0,5) \cdot \frac{x^{k+1} - (x-1)^{k+1}}{k+1} \right].$$

Или в развернутом виде

$$\begin{aligned}
N_b &= bh \cdot \left[ A_1 \cdot \varepsilon_b \cdot \left(1 - \frac{1}{2x}\right) + A_2 \cdot \varepsilon_b^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{x} + \frac{1}{3x^2}\right) + A_3 \cdot \varepsilon_b^3 \cdot \left(1 - \frac{3}{2x} + \frac{1}{x^2} - \frac{1}{4x^3}\right) + \right. \\
&\quad \left. + A_4 \cdot \varepsilon_b^4 \cdot \left(1 - \frac{2}{x} + \frac{2}{x^2} - \frac{1}{x^3} + \frac{1}{5x^4}\right) + A_5 \cdot \varepsilon_b^5 \cdot \left(1 - \frac{5}{2x} + \frac{10}{3x^2} - \frac{5}{2x^3} + \frac{1}{x^4} - \frac{1}{6x^5}\right) \right]; \\
M_b &= bh^2 \cdot \left[ A_1 \cdot \varepsilon_b \cdot \frac{1}{12x} + A_2 \cdot \varepsilon_b^2 \cdot \left(\frac{1}{6x} - \frac{1}{12x^2}\right) + A_3 \cdot \varepsilon_b^3 \cdot \left(\frac{1}{4x} - \frac{1}{4x^2} + \frac{3}{40x^3}\right) + \right. \\
&\quad \left. + A_4 \cdot \varepsilon_b^4 \cdot \left(\frac{1}{3x} - \frac{1}{2x^2} + \frac{3}{10x^3} - \frac{1}{15x^4}\right) + A_5 \cdot \varepsilon_b^5 \cdot \left(\frac{5}{12x} - \frac{5}{6x^2} + \frac{3}{4x^3} - \frac{1}{3x^4} + \frac{5}{84x^5}\right) \right].
\end{aligned}$$

В случае, когда нейтральная ось проходит по сечению, соответствующие выражения имеют вид

$$\begin{aligned}
N_b &= bh \cdot \left[ A_1 \cdot \varepsilon_b \cdot \frac{x}{2} + A_2 \cdot \varepsilon_b^2 \cdot \frac{x}{3} + A_3 \cdot \varepsilon_b^3 \cdot \frac{x}{4} + A_4 \cdot \varepsilon_b^4 \cdot \frac{x}{5} + A_5 \cdot \varepsilon_b^5 \cdot \frac{x}{6} \right] \\
M_b &= bh^2 \cdot \left[ A_1 \cdot \varepsilon_b \cdot \left(\frac{x}{4} - \frac{x^2}{6}\right) + A_2 \cdot \varepsilon_b^2 \cdot \left(\frac{x}{6} - \frac{x^2}{12}\right) + A_3 \cdot \varepsilon_b^3 \cdot \left(\frac{x}{8} - \frac{x^2}{20}\right) + \right. \\
&\quad \left. + A_4 \cdot \varepsilon_b^4 \cdot \left(\frac{x}{10} - \frac{x^2}{30}\right) + A_5 \cdot \varepsilon_b^5 \cdot \left(\frac{x}{12} - \frac{x^2}{42}\right) \right].
\end{aligned}$$

Как видно из полученных выражений, главный вектор и главный момент эпюры нормальных сжимающих напряжений в бетоне являются функциями деформаций крайнего сжатого волокна бетона и высоты сжатой зоны. Объединяя оба полученных выражения в общем виде можно записать

$$N_b = N_b(\varepsilon_b, x); \quad M_b = M_b(\varepsilon_b, x).$$

Удобнее перейти к безразмерным координатам, для чего введём следующие обозначения:  $\beta = \varepsilon_b / \varepsilon_R$ ;  $A_k^* = (A_k \cdot \varepsilon_R^{k-1}) / A_1$ ;  $k = 1, 2, 3, 4, 5$ . Тогда выражения для главного момента и главного вектора могут быть представлены следующим образом

$$N_b = b \cdot h \cdot A_1 \cdot \varepsilon_R \cdot \Psi_1(\beta, x); \quad M_b = b \cdot h^2 \cdot A_1 \cdot \varepsilon_R \cdot \Psi_2(\beta, x). \quad (4)$$

В этих выражениях

$$\Psi_1(\beta, x) = \begin{cases} A_1^* \cdot \beta \cdot \frac{x}{2} + A_2^* \cdot \beta^2 \cdot \frac{x}{3} + A_3^* \cdot \beta^3 \cdot \frac{x}{4} + A_4^* \cdot \beta^4 \cdot \frac{x}{5} + A_5^* \cdot \beta^5 \cdot \frac{x}{6}; & \text{при } 0 < x \leq 1; \\ A_1^* \cdot \beta \cdot \left(1 - \frac{1}{2x}\right) + A_2^* \cdot \beta^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{x} + \frac{1}{3x^2}\right) + A_3^* \cdot \beta^3 \cdot \left(1 - \frac{3}{2x} + \frac{1}{x^2} - \frac{1}{4x^3}\right) + \\ + A_4^* \cdot \beta^4 \cdot \left(1 - \frac{2}{x} + \frac{2}{x^2} - \frac{1}{x^3} + \frac{1}{5x^4}\right) + \\ + A_5^* \cdot \beta^5 \cdot \left(1 - \frac{5}{2x} + \frac{10}{3x^2} - \frac{5}{2x^3} + \frac{1}{x^4} - \frac{1}{6x^5}\right); & \text{при } x > 1. \end{cases}$$

$$\Psi_2(\beta, x) = \begin{cases} A_1^* \cdot \beta \cdot \left( \frac{x}{4} - \frac{x^2}{6} \right) + A_2^* \cdot \beta^2 \cdot \left( \frac{x}{6} - \frac{x^2}{12} \right) + A_3^* \cdot \beta^3 \cdot \left( \frac{x}{8} - \frac{x^2}{20} \right) + \\ + A_4^* \cdot \beta^4 \cdot \left( \frac{x}{10} - \frac{x^2}{30} \right) + A_5^* \cdot \beta^5 \cdot \left( \frac{x}{12} - \frac{x^2}{42} \right); & \text{при } 0 < x \leq 1; \\ A_1^* \cdot \beta \cdot \frac{1}{12x} + A_2^* \cdot \beta^2 \cdot \left( \frac{1}{6x} - \frac{1}{12x^2} \right) + A_3^* \cdot \beta^3 \cdot \left( \frac{1}{4x} - \frac{1}{4x^2} + \frac{3}{40x^3} \right) + \\ + A_4^* \cdot \beta^4 \cdot \left( \frac{1}{3x} - \frac{1}{2x^2} + \frac{3}{10x^3} - \frac{1}{15x^4} \right) + \\ + A_5^* \cdot \beta^5 \cdot \left( \frac{5}{12x} - \frac{5}{6x^2} + \frac{3}{4x^3} - \frac{1}{3x^4} + \frac{5}{84x^5} \right); & \text{при } x > 1. \end{cases} \quad (5)$$

Для определения напряжений, возникающих в арматурных стерженьках, на основании формулы (1) вычислим их деформации:

$$\varepsilon'_s = \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - a'_s); \quad \varepsilon_s = \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - 1 + a_s).$$

Тогда напряжения, возникающие в этих стерженьках, можно определить на основании зависимости А.А.Илюшина следующим образом

$$\sigma'_s = E'_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - a'_s) \cdot [1 - \omega'_s(\varepsilon_b, x)];$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot [1 - \omega_s(\varepsilon_b, x)].$$

В этих выражениях  $\omega$  является функцией нелинейности диаграммы деформирования арматурных стерженьков, тогда внутренние усилия, возникающие в них, будут иметь вид:

$$N_s = \sigma'_s \cdot A'_s + \sigma_s \cdot A_s = E'_s \cdot A'_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - a'_s) \cdot (1 - \omega'_s) + \\ + E_s \cdot A_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (1 - \omega_s); \quad (6)$$

$$M_s = E'_s \cdot A'_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - a'_s) \cdot (1 - \omega'_s) \cdot h \cdot (0,5 - a'_s) - \\ - E_s \cdot A_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (1 - \omega_s) \cdot h \cdot (0,5 - a_s). \quad (7)$$

Разделив в наиболее напряжённом сечении стержень на две части, составим уравнения равновесия

$$N_b + N_s = P; \quad M_b + M_s = P \cdot (e + f). \quad (8)$$

Учитывая в (8) зависимости (4), (6) и (7), представим уравнение равновесия в следующем конкретном виде:

$$b \cdot h \cdot A_1 \cdot \varepsilon_R \cdot \Psi_1(\beta, x) + E'_s \cdot A'_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - a'_s) \cdot (1 - \omega'_s) + \\ + E_s \cdot A_s \cdot \frac{\varepsilon b}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (1 - \omega_s) = P; \quad (9)$$

$$b \cdot h^2 \cdot A_1 \cdot \varepsilon_R \cdot \Psi_2(\beta, x) + E_s' \cdot A_s' \cdot \frac{\varepsilon_b}{x} \cdot (x - a_s') \cdot [1 - \omega_s'(\beta, x)] \cdot h \cdot (0,5 - a_s') + E_s \cdot A_s \cdot \frac{\varepsilon_b}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot [1 - \omega_s(\beta, x)] = P \cdot (e + f) . \quad (10)$$

В полученных выражениях перейдём, как и ранее, к безразмерным координатам. Для чего разделим обе части первого уравнения на  $bhA_1$ , а второго уравнения на  $bh^2A_1$  и введём следующие обозначения:

$$\sigma_0^* = \frac{P}{b \cdot h \cdot A_1}; \quad f^* = \frac{f}{h}; \quad e^* = \frac{e}{h};$$

$$\mu_s^* = \frac{A_s' \cdot E_s' \cdot \varepsilon_R}{b \cdot h \cdot A_1}; \quad \mu_s = \frac{A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_R}{b \cdot h \cdot A_1}.$$

Тогда полная система нелинейных алгебраических уравнений рассматриваемой задачи примет вид:

$$\Psi_1(\beta, x) + \mu_s' \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - a_s') \cdot (1 - \omega_s') + \mu_s \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (1 - \omega_s) = \sigma_0^*; \quad (11)$$

$$\Psi_2(\beta, x) + \mu_s' \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - a_s') \cdot (0,5 - a_s') \cdot (1 - \omega_s') - \mu_s \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (0,5 - a_s) \cdot (1 - \omega_s) = \sigma_0^* \cdot (e^* + f^*).$$

Полученные уравнения содержат три неизвестные – уровень деформаций в сжатом крайнем волокне бетона  $\beta$ , параметр высоты сжатой зоны бетона  $x$  и параметр прогиба  $f^*$  наиболее напряжённого сечения стержня.

Чтобы составить недостающее уравнение, воспользуемся следующим общепринятым подходом. Деформированная ось стержня аппроксимируется подходящей кривой вида  $y(x) = f \cdot y_0(x)$ . Тогда, используя приближённое выражение кривизны, можем записать  $K = y''(x) = f \cdot y_0''(x)$ . С другой стороны, согласно рис. 1, для кривизны можно записать  $K = \frac{\varepsilon_b}{x \cdot h} = \frac{\beta \cdot \varepsilon_R}{x \cdot h}$ .

Приравняв эти два выражения для кривизны, устанавливаем связь между параметром прогиба и основными неизвестными  $\beta$  и  $x$

$$f^* = v_* \cdot \frac{\beta}{x}, \quad (13)$$

где числовой коэффициент  $v_* = \frac{\varepsilon_R}{h^2 \cdot y''(x_0)}$  (14) зависит от формы аппроксимирующей функции  $y_0(x)$  и формы поперечного сечения.

Таким образом, исследование напряжённо деформированного состояния внецентренно сжатых железобетонных элементов сведено к решению нелинейной алгебраической системы уравнений относительно уровня деформаций в крайнем сжатом волокне бетона и высоты сжатой зоны.

Из-за сильной нелинейности не представляется возможным построить аналитическое решение, потому предлагается следующий численный алгоритм решения данной системы. Разделив почленно второе уравнение на первое и,

учитывая связь между параметром прогиба и уровнем деформаций и высоты сжатой зоны, получим уравнение

$$\Psi_2(\beta, x) + \mu_s' \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - a_s') \cdot (0,5 - a_s') \cdot (1 - \omega_s') - \mu_s \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (0,5 - a_s) \cdot (1 - \omega_s) - \left( e_* + v_* \cdot \frac{\beta}{x} \right) \cdot \left( \Psi_1(\beta, x) + \mu_s' \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - a_s') \cdot (1 - \omega_s') + \mu_s \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (1 - \omega_s) \right) = 0, \quad (15)$$

связывающее параметры  $\beta$  и  $x$ .

Согласно экспериментальным данным [1] параметр уровня деформаций меняется приблизительно от 0 до 2. Это позволяет при построении численной методики экономить машинное время. Задав уровень деформаций, получаем нелинейное уравнение относительно высоты сжатой зоны (15), решение которого не представляет трудностей, тем более имеются стандартные процедуры в матобеспечении современных ЭВМ. После чего по формуле (13) при известных  $\beta$  и  $x$  вычисляем параметр прогиба  $f_*$  и по формуле (11) находим параметр внешней сжимающей силы  $\sigma_0^*$ .

Таким образом, задавшись уровнем деформаций, имеем решение  $(\beta, x, f_*, \sigma_0^*)$ , позволяющее построить зависимость «нагрузка - прогиб», по которой определяется несущая способность внецентренно сжатого железобетонного стержня.

Полученные зависимости позволяют также построить диаграмму «момент - кривизна», имеющую важное значение при определении перемещений изгибаемых стержневых железобетонных элементов. Для построения данной зависимости при известном значении уровня деформаций по формуле (11) при  $\sigma_0^* = 0$  вычисляем  $x$ . Затем по формуле  $K_* = \frac{\beta}{x}$ , где  $K_* = \frac{K \cdot h}{\varepsilon_R}$  - приведенная безразмерная кривизна, вычисляется параметр кривизны и, наконец, по формуле

$$M_* = \Psi_2(\beta, x) + \mu_s' \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - a_s') \cdot (0,5 - a_s') \cdot (1 - \omega_s') - \mu_s \cdot \frac{\beta}{x} \cdot (x - 1 + a_s) \cdot (0,5 - a_s) \cdot (1 - \omega_s) \quad (16)$$

вычисляем безразмерный изгибающий момент в наиболее напряжённом сечении. Здесь  $M_* = \frac{M}{b \cdot h^2 \cdot A_1}$  - безразмерный момент.

Как видно для каждого принятого уровня деформаций имеем значения  $(M_*, K_*)$ , позволяющие построить диаграмму «момент-кривизна». Таким образом, построена эффективная численная методика для исследования напряжённо деформированного состояния и несущей способности изгибаемых или внецентренно сжатых железобетонных стержневых элементов прямоугольного сечения с применением полной диаграммы деформирования бетона при сжатии. Данная методика может быть с успехом использована и при других формах поперечного сечения.

На алгоритмическом языке *Turbo-Pascal* составлены соответствующие процедуры, реализующие вышеописанную численную методику и с приме-

нием данных процедур в качестве примера исследован железобетонный внецентренно сжатый стержень при следующих исходных данных

$$b = 0,4 \text{ м}, \quad h = 0,4 \text{ м}, \quad L = 4,5 \text{ м}, \quad E_s' = E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad A_s' = A_s = 0,45216 \text{ м}^2, \\ a_s' = a_s = 0,075, \quad \sigma_m = 360 \text{ МПа}, \quad \varepsilon_R = 0,002 ;$$

а также аналитическая зависимость полной диаграммы деформирования бетона при сжатии согласно [5] принята в виде:

$$\sigma_b = 48 \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} - 59,2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^2 + 35,6 \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^3 - 10,6 \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^4 + 1,2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^5.$$

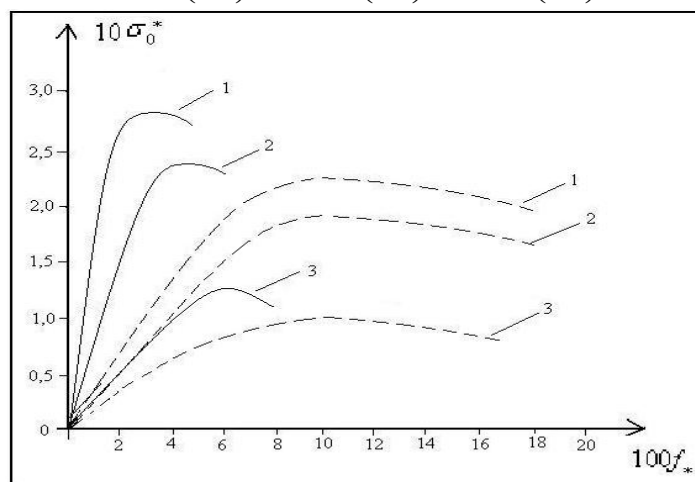


Рис. 2. График зависимости нагрузки от прогиба

Чтобы изучить влияние на несущую способность величины эксцентриситета и способов закрепления концов стержня при равных условиях, расчеты велись для трех значений эксцентриситета внешней сжимающей силы –

$$e = \max\left(\frac{h}{30}, \frac{L}{600}\right) = \frac{h}{30} = 1, (3) \text{ см}, \quad e = 4 \text{ см} \quad \text{и} \quad e = 8 \text{ см}$$

для шарнирно опертого и консольного стержней. По результатам расчета на Рис. 2 построены графики «нагрузка-прогиб». На этом рисунке сплошные линии соответствуют шарнирно опертому стержню, а пунктирные линии консольному стержню. Как видно из Рис. 2, влияние упомянутых параметров на несущую способность значительно. Некоторые другие результаты, относящиеся к максимуму диаграммы «нагрузка-прогиб» представлены в нижеследующей таблице. В этой таблице данные в числителе относятся к шарнирно опертому стержню, а в знаменателе – к консольному стержню.

Таблица 1. Параметры напряжённо деформированного состояния

Параметры	$e = 1, (3) \text{ см}$	$e = 4 \text{ см}$	$e = 8 \text{ см}$
$\sigma_0^*$	$\frac{0,27635}{0,24213}$	$\frac{0,23049}{0,19230}$	$\frac{0,13838}{0,10137}$
$f^*$	$\frac{0,02067}{0,07251}$	$\frac{0,02682}{0,09347}$	$\frac{0,04390}{0,11393}$

$x$	$\frac{1,24215}{1,13296}$	$\frac{0,91556}{0,87893}$	$\frac{0,58477}{0,54080}$
$\beta$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,2}{0,8}$	$\frac{1,0}{0,6}$

#### Л и т е р а т у р а

1. *Гаджиев, М.А.* Расчёт армированных элементов строительных конструкций с применением реальных нелинейных диаграмм кратковременного и длительного деформирования материалов [Текст]: /М.А.Гаджиев. – Баку: Наука, 1996. – 266с.
2. *Гаджиев, М.А.* Прочность и устойчивость железобетонных стержневых элементов с применением нелинейных диаграмм деформирования материалов при кратковременном и длительном нагружениях [Текст]: Дисс. ... д-ра техн. наук / Гаджиев Мухлис Ахмед оглы. – Баку, 2007. – 38с.
3. *Гаджиев, М.А.* Несущая способность внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения [Текст] / М.А.Гаджиев // Вестник гражданских инженеров, СПбГАСУ. – 2006. – №2 (8). – С. 33–38.
4. *Гаджиев, М.А.* Устойчивость сжатых железобетонных стержней, усиленных стеклопластиковой обоймой при длительном нагружении [Текст] / М.А.Гаджиев // Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, Баку. – 2005. – №5. – С. 10–15.
5. *Байков, В.Н.* Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей [Текст] / В.Н. Байков, С.В. Горбатов, З.А. Димитров // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1977. – №6. – С.15–18.
6. *Бондаренко, В.М.* Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М.Бондаренко, С.В.Бондаренко. – М., Стройиздат, 1982. – 287с.
7. *Залесов, А.С.* Деформационная расчётная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил [Текст] / А.С.Залесов, Е.А.Чистяков, И.Ю.Ларичева // Бетон и железобетон. – 1996. – №5. – С.16–18.
8. *Бондаренко, С.В.* Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий [Текст] / С.В.Бондаренко, Р.С.Санжаровский. – М., Стройиздат, 1990. – 352с.

#### **BEARING RESISTANCE OF ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED RODS WITH THE USE OF COMPLETE DIAGRAM OF REINFORCED MATERIAL DEFORMATION AS EXEMPLIFIES BY REINFORCED CONCRETE ROD**

**Hajiyev Muxlis Akhmed ogly, Alaeva S. M.**

Numerical technique for research of stress-strain behavior and eccentrically compressed reinforced concrete rods bearing resistance is presented in the article. This technique developed by Baikov V.N. et al uses complete diagram of concrete deformation during the compression in terms of fifth-power polynomial and with the consideration of elastic-plastic performance of reinforcement.

The developed method allows making "Load-Hogging" diagram in order to calculate carrying capacity. It is established that while using the complete diagram for concrete "Load-Hogging" correlation has the descending curve and is similar to the deformation diagram of concrete during compression.

**KEY WORDS:** complete diagram, incomplete diagram, eccentric compression, bearing resistance, reinforced concrete rod, hogging, load, eccentricity, short-term load, steadiness criteria, torque, curve, strain, deformation.