

УДК 691.328  
ББК 38.53  
Х 98

*Хунагов Руслан Азметович, преподаватель кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru;*

*Маилян Дмитрий Рафаэлович, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Ростовского государственного строительного университета.*

## **ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** (рецензирована)

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с созданием неравномерного предварительного напряжения сечения, описание модели поведения железобетонных элементов. Приведен расчет коэффициента, зависящий от свободной длины элемента, жесткости сечения и величины внешнего продольного усилия определены условия целесообразности создания в гибких колоннах неравномерного преднапряжения бетона.*

*Ключевые слова: предварительное напряжение сечения, начальный выгиб, предварительное обжатие, эксцентриситет приложения силы, несущая способность, трещиностойкость, прогиб.*

*Khunagov Ruslan Azmetovich, Lecturer of the Department of Construction and General Professional Disciplines of the Technological Faculty of Maikop State Technological University;*

*Mailyan Dmitry Rafaelovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Metal-concrete Structures FSBEI HPE "Rostov State University of Civil Engineering".*

## **INFLUENCE OF UNEVEN PRE-STRESS OF CUTTINGS OF METAL-CONCRETE ELEMENTS** (reviewed)

*The questions related to the creation of non-uniform pre-stress of cutting have been considered, behavior model of reinforced concrete elements has been described. The coefficient, which depends on the free length of the element, stiffness and the cross section of the external longitudinal force has been calculated, the conditions for the feasibility of establishing a flexible columns of uneven pre-stressing concrete have been determined.*

*Keywords: pre-tension section, the initial bump, preliminary reduction, the eccentricity of the force, carrying capacity, crack, sag.*

Сжатые железобетонные элементы, как правило, имеют симметрично расположенную продольную арматуру, поэтому при ее предварительном напряжении симметричные сечения оказываются равномерно обжатыми. Это оправдано тем, что в

большинстве случаев колоны подвергаются знакопеременному воздействию усилий. Тем не менее, ряд сжатых железобетонных элементов в процессе эксплуатации работают с односторонним эксцентриситетом равнодействующей продольных усилий. К ним относятся, например, внецентренно сжатые железобетонные панели. В этих случаях целесообразно создание неравномерного предварительного напряжения сечения элементов - обжатия гибких и растяжения коротких. На погашение созданного таким образом начального выгиба пойдет часть внешней нагрузки, уменьшится суммарный осевой эксцентриситет внешнего продольного усилия  $N$  на величину начального выгиба  $f_p$  или  $f_{pc}$ , расширяются границы эффективного использования преднапряжения в сжатых элементах. Вследствие проявления указанных факторов несущая способность сжатых элементов возрастает, что позволяет при сохранении ее значения неизменным, получить существенную экономию расхода арматуры.

Неравномерное предварительное напряжение сечения и начальный выгиб элемента при сечении и армировании симметричных относительно оси, проходящей через центр тяжести перпендикулярно плоскости действия сил, образуются при неравенстве усилий предварительного напряжения в арматуре  $A_{sp}(A_{sc})$  и  $A'_{sp}(A'_{sc})$ , т.е. при  $G_{sp}A_{sp} \neq G'_{sp}A'_{sp}$  (или  $G_{sc}A_{sc} \neq G'_{sc}A'_{sc}$ ). В случае несимметричного расположения арматуры выгиб образуется и при одинаковом значении усилий в арматуре  $A_{sp}(A_{sc})$  и  $A'_{sp}(A'_{sc})$ .

При неравномерном предварительном обжатии сечений элемента начальный выгиб образуется в сторону грани с меньшим обжатием, а при неравномерном предварительном растяжении бетона – в сторону грани с большим растяжением. Неравномерное предварительное обжатие сечения целесообразно в гибких элементах, а неравномерное предварительное растяжение бетона – в коротких (негибких). В обоих случаях эксцентриситет усилия  $N$  относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения, уменьшается и становится равным  $(e_0 + f_n - f_p)$ , что приводит к существенному уменьшению изгибающих элементов.

Однако указанный положительный эффект от неравномерного предварительного напряжения сечений имеет место при соблюдении условия

$$e_0 > k \text{ или } e_0 > k f_{pc}, \quad (1)$$

где  $e_0$  – осевой эксцентриситет продольного усилия, измеренный от оси, проходящей через центр тяжести сечения около опор;  $f_p$  и  $f_{pc}$  – выгиб по середине

элемента, вызванный неравномерным обжатием или растяжением;  $k$  – коэффициент, зависящий от свободной длины элемента, жесткости сечения и величины внешнего продольного усилия.

Для определения коэффициента  $k$ , входящего в это условия, составим дифференциальное уравнение упругой оси элемента (рис. 1)

$$B(y'' - 1/r_p) = N(\Delta - y - e_0), \quad (2)$$

в котором левая часть представляет собой произведение жесткости сечений  $B$  на разность кривизн от внешнего усилия  $N$  и выгиба, а правая часть – момент от усилия  $N$  в любом сечении колонны в деформированном состоянии.

Решение уравнения (2) представим в виде

$$y = \frac{1}{\cos \frac{ml}{2}} \left( \frac{\rho}{m^2} - e_0 \right) \cdot (1 - \cos mx), \quad (3)$$

$$\text{где } m^2 = N/B \text{ и } \rho = 1/r_p = 8f_p/l^2. \quad (4)$$

Определим эксцентриситет  $e_0$ , при котором перемещение конца стойки не превышает выгиба  $f_p$ . Для этого в (4) подставляем условие  $y > f_p$  и имея в виду (4) после преобразований получим

$$e_0 > f_p \left( \frac{8B}{Nl^2} - \frac{\cos \frac{l}{2} \sqrt{\frac{N}{B}}}{1 - \cos \frac{l}{2} \sqrt{\frac{N}{B}}} \right), \quad (5)$$

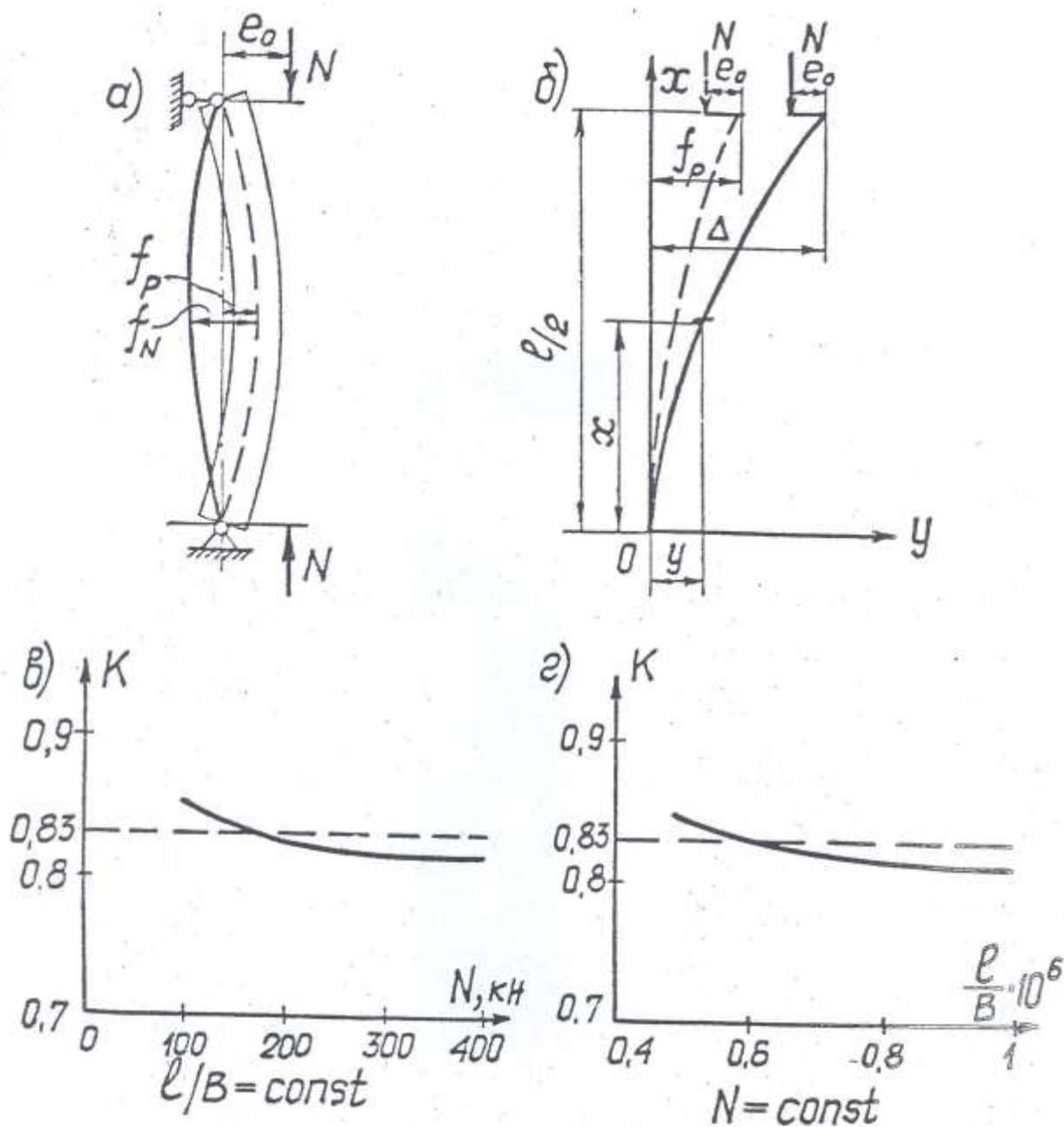


Рис. 1. К определению условий целесообразности создания в гибких колоннах неравномерного преднапряжения бетона; а – схема колонны с шарнирными опорами; б – обозначения к выводу уравнения упругой оси; в, г – зависимость коэффициента  $k$  соответственно от  $N$  и  $l/B$

Коэффициент  $k$ , равный выражению в скобках, является функцией свободной длины колонны  $l$ , жесткости сечения  $B$  и продольного усилия  $N$ . Изменение этих параметров в широких пределах незначительно влияет на численные значения коэффициентов: при увеличении  $N$  и  $l/B$  в 3-4 раза  $k$  можно приближенно принять равным 0,83 (рис. 1, в,г).

Автором были испытаны фрагменты железобетонных панелей разм. 15x20x81 см из тяжелого бетона прочностью 30 МПа и керамзитобетона прочностью 20 МПа, армированные двумя диам. 12мм класса Ат800 у каждой из двух противоположных граней. Уровни неравномерного предварительного обжатия образцов составляли:

$\eta = G_{bp} / R_B^{\text{exp}} = 0,26 \dots 0,37$  и  $\eta' = G'_{bp} / R_B^{\text{exp}} = 0,21 \dots 0,15$  (выгиб  $f_p = 0,33 \dots 1,2$  см), а при равномерном обжатии  $\eta = \eta' = 0.26 \dots 0.34$  ( $f_p = 0$ ). Результаты этих опытов при равномерном ( $\eta = \eta' = 0.34$ ) и неравномерном ( $\eta = 0.37; \eta' = 0.15$ ) обжатии показывают, что неравномерно обжатие сечений при  $e_0 > 0,83f_p$  существенно увеличивает несущую способность образцов в сравнении с равномерным обжатием интенсивностью равной максимальной при неравномерном. При  $e_0/h = 0,25$  ( $e_0 = 2,7f_p$ ) несущая способность неравномерно обжатых колонн больше, чем равномерно обжатых на 35%.

Если условие (5) соблюдается, неравномерное обжатие существенно повышает относительную трещиностойкость и уменьшает прогибы элементов, причем положительный эффект с увеличением относительного эксцентриситета до 08 и более практически не снижается.

Этот эффект может быть использован и при коротких (негибких) элементах, однако в этих случаях целесообразно начальный выгиб создавать путем неравномерного предварительного сжатия арматуры и неравномерного растяжения бетонного сечения. Это приводит к увеличению прочности элемента, которая и обуславливает несущую способность коротких образцов панелей.

В отличие от гибких колонн с предварительно обжатыми сечениями в коротких (негибких) элементах с предварительно растянутыми сечениями значения как прогибов, так и выгибов сравнительно малы. Это связано со значительно меньшими допустимыми значениями усилия предварительного растяжения бетона в сравнении с усилием предварительного сжатия.

Если образование трещин при предварительном растяжении бетона нежелательно, то при предварительном сжатии арматуры около двух противоположных граней и растяжении всего сечения наибольший выгиб получится при наибольшем перепаде напряжения, т.е. при напряжениях около одной грани, равном пределу прочности на растяжение и у другой – равном нулю. Учитывая, что

бетон при растяжении работает практически упруго до высоких уровней напряжений, можно в качестве расчетной принять треугольную эпюру напряжений.

В этом случае для сечений прямоугольной формы предельные напряжения предварительного сжатия арматуры составят

$$G'_{\text{спс}} = \frac{0.5R_{bm}bh(0.65h_0 - 0.35a)}{A'_{sc}(h_0 - a)}, \quad (6)$$

$$G'_{\text{спс}} = \frac{0.5R_{bm}bh(0.65h_0 - 0.35a)}{A_{sc}(h_0 - a)}, \quad (7)$$

Для численной оценки рассматриваемого напряженно-деформированного состояния элемента были выполнены расчеты, которые подтвердили отмеченные выше гипотезы.

#### **Литература:**

1. Маилян Д.Р. Метод расчета сжатых железобетонных элементов с учетом трансформированных диаграмм деформирования бетона при различных воздействиях: монография / Д.Р. Маилян, Ахмед Аббуд, Джахажан Ганди.- 2008.
2. Маилян Д.Р. Новые эффективные конструктивные решения сжатых железобетонных элементов / Д.Р. Маилян // Известия РГСУ.- 1999.- №4.
3. Хунагов Р.А. Двухслойные предварительно напряженные железобетонные колонны / Р.А. Хунагов, Д.Р. Маилян // Материалы междунар. науч.-практ. конф. - Ростов н/Д, 2011.

#### **References:**

1. Mailyan D.R. *New efficient designs of compressed concrete elements// Proceedings of the RSCU.- 1999.- № 4.*
2. Mailyan D.R. *The method of calculation of compressed concrete elements with the transformed diagrams of deformation of concrete under different influences: monograph / D.R. Mailyan, Ahmed Abboud, Gandhi Dzhahazhan.- 2008.*
3. Khunagov R.A., Mailyan D.R. *Two-layer pre-stressed concrete columns /R.A. Khunagov, D.R. Mailyan // Proceedings of the international scientific conference.- Rostov-on-Don, 2011.*