

УДК 691.328

ББК 38.53

X 98

*Хунагов Руслан Азметович, преподаватель кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин технологического факультета Майкопского государственного технологического университета;*

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

*Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, e-mail: [alfa-maikop@yandex.ru](mailto:alfa-maikop@yandex.ru)*

## **ДВУХСЛОЙНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПАНЕЛИ С НЕРАВНОМЕРНО ОБЖАТЫМИ СЕЧЕНИЯМИ**

(рецензирована)

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с созданием неравномерного предварительного напряжения сечения железобетонных элементов сжатых в процессе эксплуатации работающих с односторонним эксцентриситетом равнодействующей продольных усилий.*

*Ключевые слова: Неравномерное предварительное напряжение сечения, предварительное обжатие, начальный выгиб, сцеплением между тяжелым и легким бетоном, осевой эксцентриситет продольного усилия.*

*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";*

*Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Construction and General Professional Disciplines of the Technological Faculty of Maikop State Technological University, e-mail: [alfa-maikop@yandex.ru](mailto:alfa-maikop@yandex.ru).*

## **TWO-LAYER METAL-CONCRETE PANELS WITH UNEVEN COMPRESSED CUTTINGS**

(reviewed)

*The questions related to the creation of uneven pre-stressed condition of cutting of concrete elements compressed in the process of operation with one-way excentricity of the cross section of the external longitudinal force.*

*Keywords: uneven pre-stressed condition of the cutting, preliminary pressing, initial curve, clutch of heavy and light concrete, spindle excentricity of longitudinal force.*

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 сжатые элементы 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, стойки транспортных галерей, путепроводов, мостов, эстакад и т.д. Кроме того статическая схема работы подобных элементов может быть такой, при которой изгибающие моменты по всей длине имеют одинаковый не меняющийся знак. В этих случаях целесообразно создание неравномерного предварительного напряжения сечения элементов. На погашение созданного таким образом начального выгиба пойдет часть внешней нагрузки, уменьшится суммарный осевой эксцентриситет внешнего продольного усилия  $N$  на величину начального выгиба  $f_p$  (рис. 1), расширяются границы эффективного использования преднапряжения в сжатых элементах. Вследствии 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  $A_{sp}$  и  $A'_{sp}$ , т.е. при  $\sigma_{sp} A_{sp} \neq \sigma'_{sp} A'_{sp}$ . В случае несимметричного расположения арматуры выгиб образуется и при одинаковом значении усилий в арматуре  $A_{sp}$  и  $A'_{sp}$ .

К сжатым элементам наряду с колоннами, сваями и элементами других конструкций, относятся и стеновые панели. Прогрессивным решением являются разработанные авторами преднапряженные двухслойные стеновые панели, совмещающие несущие и ограждающие функции. Применение таких панелей, высота которых равна высоте одноэтажного промышленного или сельскохозяйственного здания, позволяет отказаться от каркасного решения, что повышает полноту сооружения за счет исключения колонн, фахверковых стоек, фундаментных балок и др. элементов.

Связь между слоями панелей обеспечивается сцеплением между тяжелым и легким бетоном, что как показали исследования, вполне достаточно и надежно. Бетонирование панелей производится в горизонтальном положении – сначала производится виброукладка первого слоя из тяжелого бетона, сразу после этого – второго слоя из легкого бетона. После виброукладки каждого слоя наблюдается некоторое взаимопроникновение бетона слоев, что способствует повышению сцепления между ними.

Предварительное обжатие предложенных панелей, в т.ч. неравномерное позволяет повысить их жесткость и устойчивость, что особенно важно при большой высоте зданий. Геометрическая гибкость ( $l_0/h$ ) панелей может достигать 30 и более. Кроме того предварительное обжатие повышает трещиностойкость и деформативность панелей при приложении эксплуатационных нагрузок с большими эксцентриситетами, а также при воздействии изгибающих моментов в процессе транспортирования и монтажа панелей.

При неравномерном предварительном обжатии сечений панели начальный выгиб образуется в одну сторону грани с меньшим обжатием (рис. 1, б).

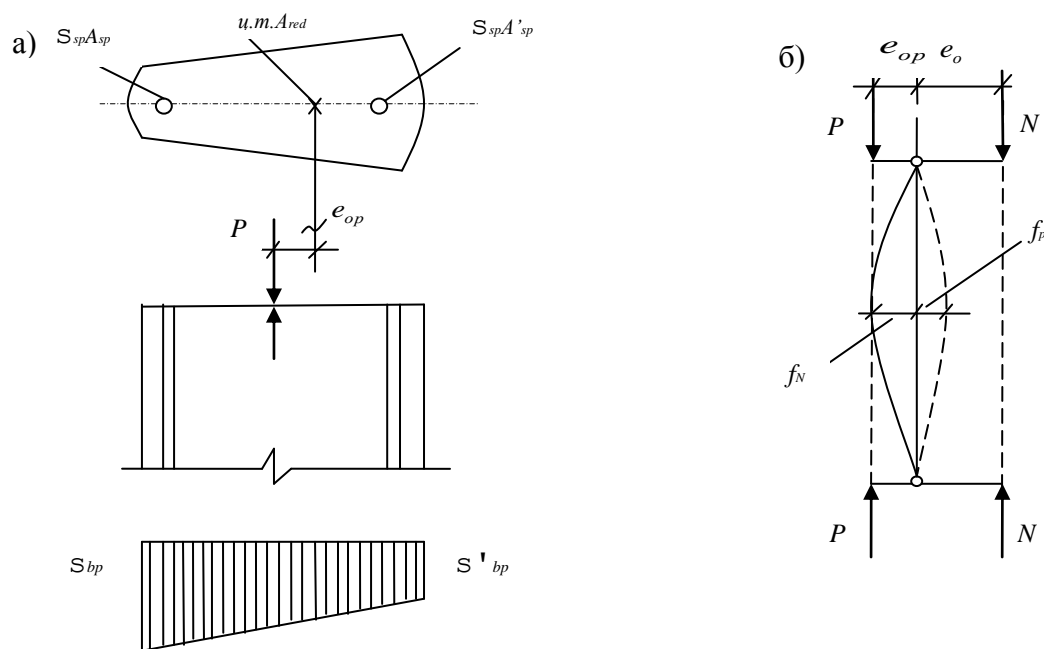


Рис. 1. Сжатые элементы с неравномерно предварительно напряженными сечениями: а – армирование сечения; б – схема действующих усилий при предварительном обжатии сечении элемента.

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 прогиба изгибаемых панелей.

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

$$e_0 > kf_p \quad (1)$$

где  $e_0$  - осевой эксцентриситет продольного усилия, измеренный от оси, проходящей через центр тяжести сечения около опор;  $f_p$  - выгиб по середине элемента, вызванный неравномерным обжатием;  $k$  - коэффициент, зависящий от продольного усилия.

Для определения коэффициента  $k$ , входящего в это условие, составим дифференциальное уравнение упругой оси элемента (рис. 2)

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

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 элемента в деформированном состоянии.

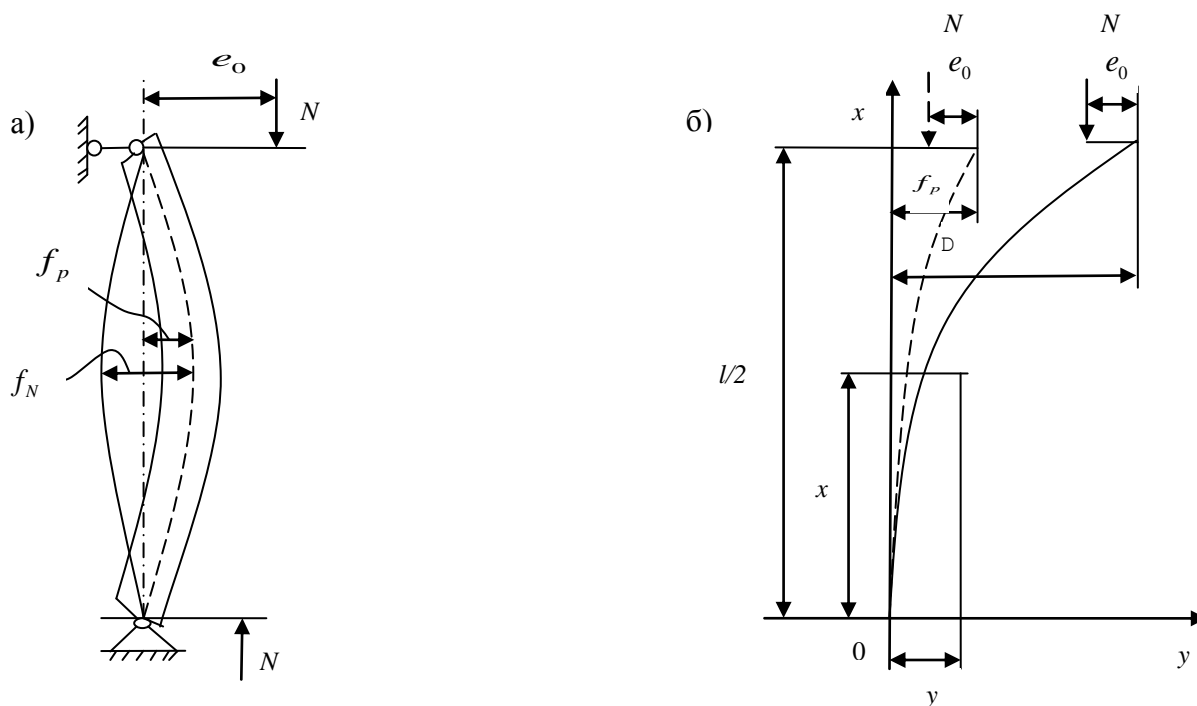


Рис. 2. К определению условий целесообразности создания в гибких сжатых элементах неравномерного преднапряжения бетона; а - схема панели с шарнирными опорами; б - обозначения к выводу упругой оси.

Решение уравнения (2) представим в виде:

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

где  $m^2 = N/B$  и  $\xi = 1/r_p = 8f_p/l^2$  (4)

Определим эксцентриситет  $e_0$ , при котором перемещение конца стойки не превышает выгиба  $f_p$ . Для этого в (3) подставляем условие  $y < f_p$  и имея в виду (4) после преобразований получим:

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

Коэффициент  $k$ , равный выражению в скобках, является функцией свободной длины колонны  $l$ , жесткости сечения  $B$  и продольного усилия  $N$ .

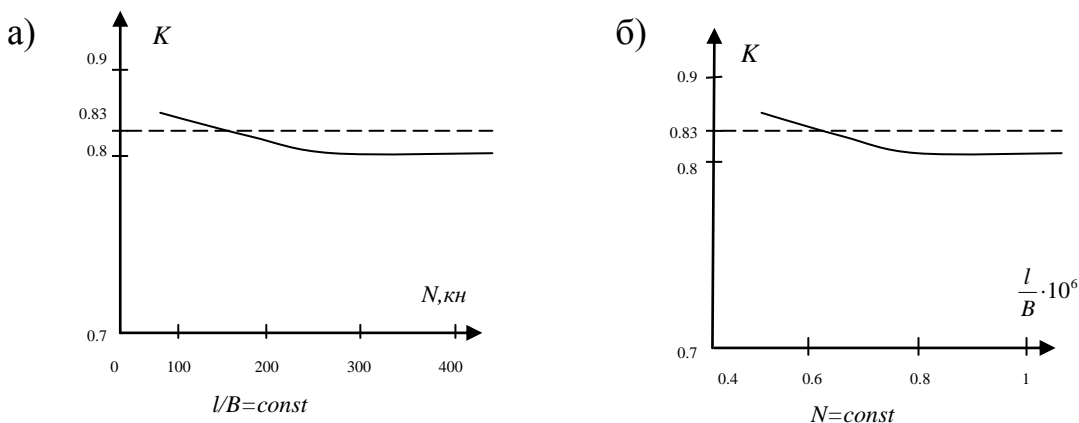


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $k$  соответственно от  $N$  (а) и  $l_0/B$  (б) по данным [1,2]

Опыты проведенные в РГСУ [1,2] показали, что изменение этих параметров в широких пределах незначительно влияет на численные значения коэффициентов: при увеличении  $N$  и  $l/B$  в 3-4 раза  $k$  уменьшается с 0,85 до 0,81 (рис. 3).

Если условие (5) соблюдается, неравномерное обжатие существенно повышает относительную трещиностойкость и уменьшает прогиб сжатых элементов, причем положительный эффект с увеличением относительного эксцентриситета до 0,8 и более практически не снижается.

Результаты опытов [1,2] при равномерном ( $\eta = \eta' = 0.34$ ) и неравномерном ( $\eta = 0.37; \eta' = 0.15$ ) обжатии представлены на рис. 4 из которого видно, что неравномерно

обжатие сечений при  $e_0 > 0.83f_p$  существенно увеличивает несущую способность сжатых элементов 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 элементов больше, чем равномерно обжатых на 35% .

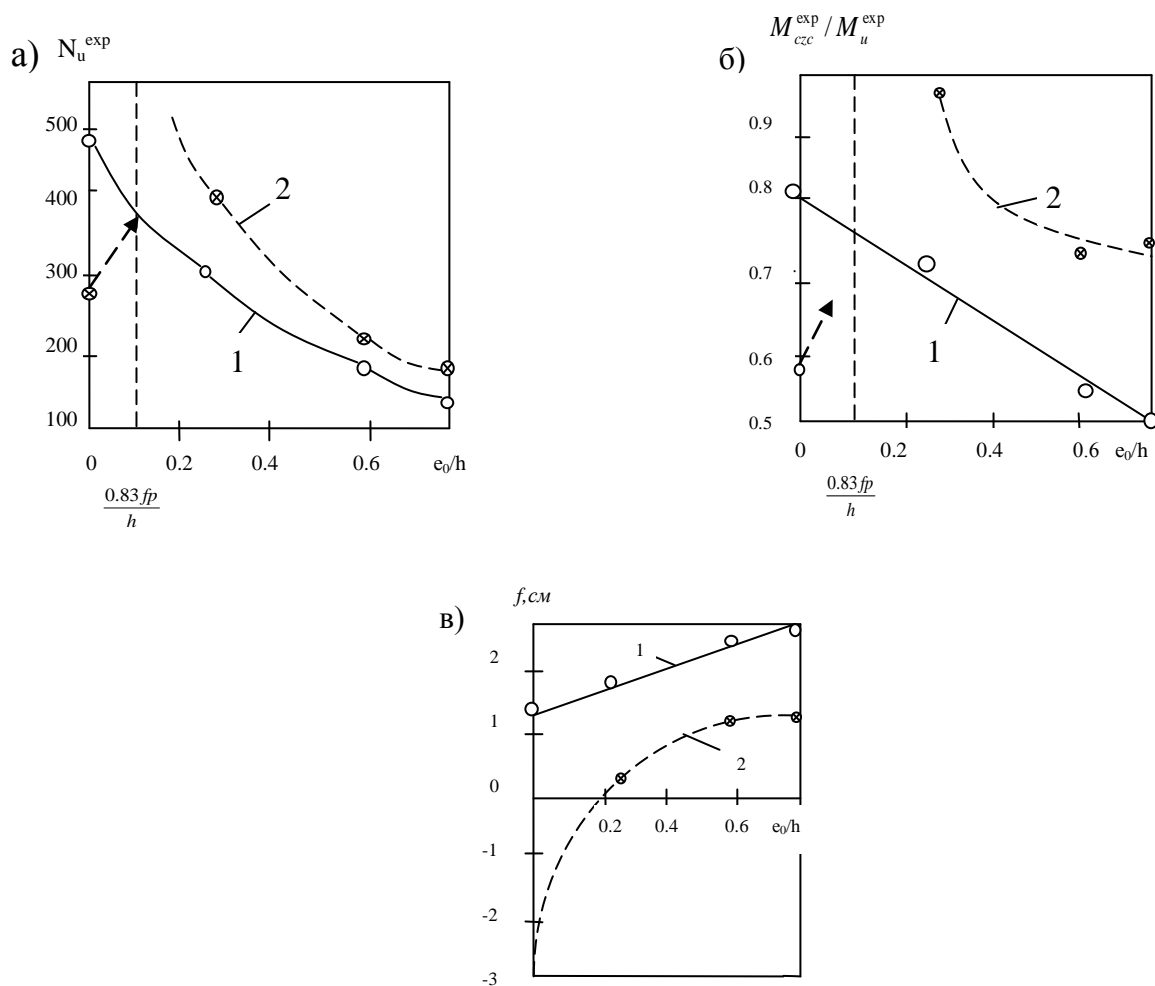


Рис. 4. Зависимость несущей способности (а), трещиностойкости (б) и прогибов в среднем сечении при  $M=0.7 M_u$  (в) от относительного эксцентриситета для сжатых элементов с равномерно (1) и неравномерно (2) предварительно обжатыми сечениями по данным [1,2].

С увеличением эксцентриситета внешнего продольного усилия несущая способность неравномерно обжатых элементов приближается к несущей способности равномерно обжатых и при  $e_0/h = 0.8$  становится практически равной последней. Значение граничного относительного эксцентриситета  $e_0^{pp}/h$ , при котором несущая способность равномерно и неравномерно обжатых элементов становится одинаковой,

зависит от уровня обжатия сечений  $\eta$  и его перепада  $\eta/\eta'$ . С их повышением граничное значение относительного эксцентриситета возрастает.

### **Литература:**

1. Маилян Д.Р. Эффект неравномерного предварительного обжатия гибких железобетонных колонн // Бетон и железобетон. 1982. №2.
2. Маилян Д.Р., Сухайль Н.Ж. Влияние длительно действующей нагрузки на несущую способность внецентренно сжатых гибких железобетонных стоек // Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона. Ростов н/Д, 1986.
3. Майборода В.Ф., Карнюк В.М. Трехслойные железобетонные конструкции. Киев: Будивельник, 1990.

### **References:**

1. Mailyan D.R. The effect of uneven pre-compression of flexible reinforced concrete columns // Concrete and reinforced concrete. 1982. № 2
2. Mailyan D.R., Sukhail N.J. Effect of sustained load on the bearing capacity of eccentrically compressed flexible concrete struts // Problems of strength, deformability and crack-resistance of concrete. Rostov-on-Don, 1986.
3. Maiboroda V.F., Karnyuk V.M. Three-layer reinforced concrete structures. Kiev: Budivelnik, 1990.