

ВЛИЯНИЕ ОБЖАТИЯ БЕТОНА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРОЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Предварительно напряженные элементы промышленных зданий массового производства на заводах сборных железобетонных конструкций изготавливаются с применением натяжения арматуры на упоры стенда или силовых форм. В основном в конструкциях применяется прямолинейная напрягаемая арматура по причине меньшей трудоемкости её натяжения по сравнению с натяжением арматуры ломаного очертания. Продольное армирование приопорных зон при этом, как правило, избыточно. В ряде случаев это приводит к значительным продольным растягивающим напряжениям и появлению трещин в верхней зоне приопорных участков при отпуске натяжения арматуры. В то же время в поперечном направлении обжатие бетона, весьма целесообразное в данном случае, отсутствует.

Благодаря отгибу части продольной арматуры, как свидетельствуют результаты экспериментов [2,3,4,5], повышается сопротивление элемента действию поперечных сил. При этом решаются и другие важные вопросы: рассредотачивается напрягаемая арматура по торцу балки, создается обжатие бетона опорных частей в вертикальном направлении и уменьшается вероятность образования горизонтальных трещин на концевых участках, улучшаются условия бетонирования зон передачи преднапряжений с арматуры на бетон.

В отечественных нормах [1] отгибы отнесены к одному из видов поперечного армирования, однако роль их в оценке сопротивления действию внешних усилий имеет неоднозначность и даже определенную противоречивость. Наличие поперечной и отогнутой арматуры, по мнению большинства исследователей, приводит к уменьшению угла наклона наклонных трещин, образующихся в опорной зоне балок и, вследствие этого, при применении оценки прочности наклонных сечений метода стержневой модели (ферменной аналогии) несущая способность сжатого подкоса выше несущей способности растянутого опорного раскоса, что не удовлетворяет заложенным принципам данного метода. По этой причине применение вышеуказанной методики расчета железобетонных элементов на действие поперечных сил ограничивается углом наклона отогнутой арматуры $\alpha = 23^\circ - 60^\circ$ ($1 \leq \cot \theta \leq 2,5$; θ – угол наклона сжатого подкоса); однако в реальных балочных конструкциях при применяемых соотношениях высоты к длине 1/8-1/20 угол отгиба может составлять $12^\circ - 20^\circ$. Кроме того, при отсутствии поперечного армирования стержневая модель оценки несущей способности наклонных сечений норм, СНБ 5.03.01-02 [1], неприменима в целом, так как ортогональная поперечная арматура, заменяющая растянутый раскос условно выделенной из балки фермы, отсутствует.

Принятые отечественные нормы позволяют производить расчет прочности наклонных сечений и по двум другим методикам: на основе расчетной модели наклонных сечений (метод предельных усилий) и используя упрощенный деформационный метод расчета.

Согласно расчетной модели наклонных сечений, обеспечение прочности наклонных сечений по поперечной силе обеспечивается сопротивлением бетона как сплошного тела, так как концептуально принято, что при отсутствии поперечной арматуры разрушение по наклонным сечениям происходит одновременно с образованием наклонной трещины. Однако наличие полого отгиба по всему пролету среза отдалает момент разрушения балки после образования магистральных наклонных трещин [5].

В наибольшей степени учет роли отогнутой арматуры в сопротивлении действующей

щим усилиям возможен при использовании упрощенного метода деформационной модели расчёта прочности наклонных сечений норм. При данном подходе расчёт прочности на действие поперечных сил основывается на учёте "вклада" бетона, поперечной и отогнутой арматуры одновременно.

Согласно условиям этого метода [1] прочность по наклонным сечениям оценивается по выражению:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,sy} \quad (1)$$

Поперечное усилие, воспринимаемое наклонным сечением (V_{Rd}), включает в себя поперечное усилие, воспринимаемое поперечным армированием ($V_{Rd,sy}$) и бетоном ($V_{Rd,c}$), которое определяется величиной главных растягивающих напряжений:

$$V_{Rd,c} = \sigma_1 \cdot b_w \cdot l_{inc} \quad (2)$$

Определяющим параметром при нахождении главных растягивающих напряжений является ширина раскрытия диагональных трещин w , которая зависит от главных растягивающих ε_1 и главных сжимающих ε_2 деформаций, а также продольных деформаций ε_x в уровне продольной растянутой арматуры

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + [\varepsilon_x - \varepsilon_2] \cot^2 \theta, \quad (3)$$

$$w = \varepsilon_1 \cdot S_{mo} \quad (4)$$

Как видно из условия (2, 3) для определения прочности по условию 2 необходимо установить величину угла наклона диагональных трещин θ . Для упрощения расчётных процедур допускается при определении θ пользоваться таблицей 7.1 [6] либо графическими зависимостями (рисунок 7.12) [6]. Однако данная таблица и графические зависимости могут использоваться только для элементов с продольной прямолинейной арматурой, а для элементов с отогнутой преднапряженной арматурой неприменимы. В этой связи задача исследования заключалась в определении отличительных особенностей параметров напряженно-деформированного состояния балок с полого отогнутой арматурой, в сравнении с балками, имеющими прямолинейную арматуру.

Для исследования влияния отогнутой преднапряженной арматуры на напряженно-деформированное состояние балки разработана численная расчетная модель для расчета НДС с помощью ЭВМ.

В качестве метода решения задачи выбрано конечно-элементное моделирование с использованием вычислительного пакета «MSC.visualNastran for Windows», где расчетные модели представляют собой железобетонные балки длиной 300 см с расчетным пролётом 270 см. Рабочая арматура (четыре напрягаемых стержня диаметром 14 мм класса S600) размещается в два ряда с рабочей высотой сечения $d = 25$ см: В балках с отогнутой арматурой (БО) стержни верхнего ряда в третях пролёта переведены из нижней зоны к верхней грани опорного сечения под углом 12° . В балках с прямолинейной арматурой (БП) все четыре стержня имеют прямолинейную траекторию. В сжатой зоне балок БО и БП устанавливались два ненапрягаемых стержня диаметром 12 мм класса S400. Предварительное напряжение в балках обеспечивалось путем введения отрицательной разности температур материалов арматуры и бетона. Необходимый уровень температуры устанавливался путем сравнения максимального выгиба моделируемой балки после создания в ней преднапряжения с данными выгибов экспериментальных балок [5].

Расчеты производились для балок с прямолинейной и отогнутой арматурой при действии на них двух сосредоточенных сил, приложенных симметрично относительно середины пролета балки на расстоянии 850 мм от опор балок. Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) проводился на стадии предварительного обжатия бетона (рисунок 1) и на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия (рисунок 2) балок с прямолинейной и отогнутой арматурой.

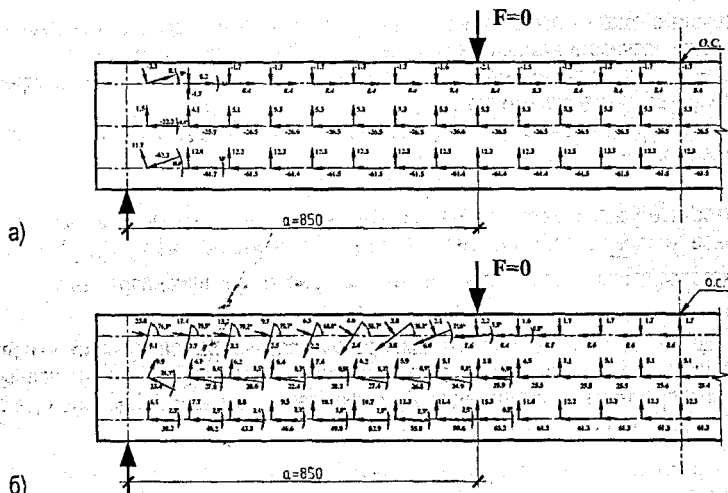


Рисунок 1 – Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_b \cdot 10^{-5}$) в балках на стадии предварительного обжатия бетона: а – с прямой арматурой, б – с отогнутой арматурой

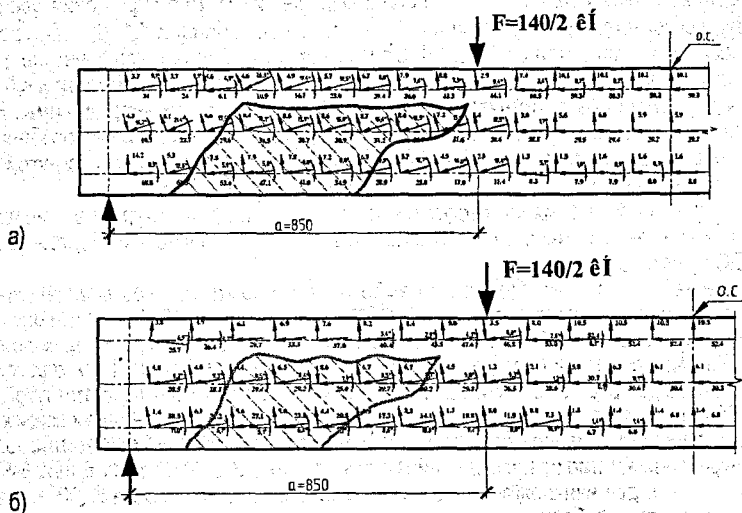


Рисунок 2 – Направление и величины главных деформаций ($\epsilon_b \cdot 10^{-5}$) в балках на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия бетона: а – с прямой арматурой, б – с отогнутой арматурой

По результатам численного моделирования получили:

1. В балках с предварительно напряженной прямой арматурой при обжатии бетона в нижней и средней частях сечения по всей длине балок векторы главных деформаций сжатия имеют одинаковую величину и направлены горизонтально, а в верхней зоне сечения векторы главных деформаций удлинения преобладают над деформациями сжатия. В балках с частью отогнутой преднапряженной арматурой у нижней грани балки после окончания обжатия, если векторы главных деформаций сжатия направлены

почти горизонтально, то в средней трети высоты сечения опорной зоны векторы сжатия имеют направление к точке приложения усилия в отогнутой арматуре и угол наклона к продольной оси балки составляет $-8^{\circ} + -9^{\circ}$. Данное обстоятельство отразилось на напряженно-деформированном состоянии балок при действии внешней нагрузки.

2. Согласно рассмотренной картине напряженно-деформированного состояния приопорной зоны, при загрузке внешней нагрузкой в балках с прямолинейной напряженной арматурой имеются условия для образования посередине высоты сечения магистральной наклонной трещины. В балках с отогнутой преднапряженной арматурой величина главных деформаций растяжения существенно снижается, в этих условиях происходит образование первоначально слабонаклонных трещин с нижней грани, переходящих с увеличением внешнего нагружения в наклонные. Такая расчетная модель, предполагающая разделение элемента в приопорной зоне наклонными трещинами, начинающимися у растянутой грани, положена в основу деформационного метода расчета прочности наклонных сечений норм [1] и некоторых других методов.

3. В предварительно напряженных балках с отогнутой арматурой главные деформации сжатия имеют более пологое направление по сравнению с балками с прямолинейной арматурой, а направление небольших по величине главных деформаций растяжения приближаются к вертикали. Поэтому в таких балках опорные участки могут не иметь ортогональной поперечной арматуры, а проекция наклонной трещины на продольную ось достигать большей величины, чем в балках с прямолинейной арматурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Стройтехнорм, 2002. – С. 274.
2. Междупэтажные перекрытия переменной высоты тепловых и атомных станций / В.Ф. Старостин, Ю.К. Тритчер, Л.В. Сасонко [и др.] / Бетон и железобетон / – 1986. – № 1 – С. 8-10.
3. Чупак Н.М. Работа железобетонных балок с отогнутой преднапрягаемой арматурой / Совершенствование строительных конструкций и строительного производства. – Кишинев: Штинца. – 1984. – С. 76-81.
4. Технично-экономические показатели стропильных балок с отогнутой продольной арматурой / Н.Н. Цыганков, Ю.В. Дмитриев, Л.В. Сасонко [и др.] // Промышленное строительство / – 1970. – № 10 – С. 21-22.
5. Малиновский В.Н. Соппротивление предварительно напряжённых железобетонных балок из высокопрочного бетона с отогнутой стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Л., 1988.
6. Железобетонные конструкции. Основы теории расчёта и конструирования // Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под редакцией проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. – Брест: БрГТУ, 2003. – 380 с.
7. Малиновский В.Н. Некоторые особенности деформирования и расчета нормальных сечений предварительно напряженных балок с полого отогнутой арматурой // Вестник БрГТУ. – 2003. – № 1: Строительство и архитектура. – С.76-79.

УДК 332.146

Стельмашук М.М., магистрант

Научный руководитель: к.э.н., доцент Козинец М.Т.

ИННОВАЦИОННЫЙ РЕЙТИНГ В ОЦЕНКЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ

В настоящий момент в условиях жесткой конкуренции на рынке, падения спроса и уровня жизни населения, вызванных мировым финансовым кризисом, для любой стра-