

2. Методические указания по определению сметной стоимости строительства в текущем уровне цен, расчету и применению индексов цен в строительстве: РСН 8.01.105-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008.

3. О декларировании стоимости строительно-монтажных работ по объектам, строительство которых осуществляется за счет средств бюджета: постановление Кабинета Министров РБ 07 дек. 1994, № 233.

4. Методические указания по применению ресурсно-сметных норм: РСН 8.01.104-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 22 с.

5. Сборник сметных цен на материалы, изделия и конструкции. Часть I, II, III, IV, V: РСН 8.06.101-2007 – РСН 8.06.105-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ.

УДК 624.014.2

Кривицкий П.В.

Научные руководители: профессор Малиновский В.Н., доцент Шалобьта Н.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОЛОГОГО ОТГИБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРЫ

Применение отгибаемой арматуры позволяет создать изменение напряженно-деформированного состояния сечения в соответствии с изменением усилий от внешней нагрузки, а также осуществить экономию стали. Кроме того, благодаря отгибу части продольной арматуры, как свидетельствуют результаты экспериментальных исследований [1, 2, 3, 4], повышается сопротивление элемента действию поперечных сил. При этом решаются и другие важные вопросы: рассредоточивается 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 то же время указывается на необходимость дополнительного экспериментального исследования влияния отгиба продольной напрягаемой арматуры на напряженно-деформированное состояние бетона, трещиностойкость и прочность нормальных сечений балок в зоне отгиба.

Проведенные ранее экспериментально-теоретические исследования [4] позволили выявить определенные особенности НДС и механизм разрушения железобетонных балок с отогнутой преднапряженной арматурой, однако влияние отгиба преднапряженной арматуры на несущую способность не выявлено. Исчерпание несущей способности опытных балок независимо от степени предварительного напряжения произошло в зоне максимальных изгибающих моментов из-за характерного выкола бетона с одновременным его раздроблением. В балках, загружаемых пролетными нагрузками в местах расположения перегиба арматуры, от зоны раздробления бетона наклонно развивалась сдвиговая трещина и, достигнув продольной арматуры, изменяла направление ко второму пролетному грузу. В балках, у которых места расположения перегибов арматуры и сосредоточенных сил не совпадали, трещина сдвига развивалась в направлении расположения перегиба. Причем, в балках, у которых перегиб арматуры располагался в зоне

совместного действия момента и поперечной силы кроме трещины сдвига в направлении перегиба, наметилась трещина и в противоположном направлении.

Экспериментальные данные деформаций бетона верхней грани свидетельствуют, что в балках прямоугольного сечения с отгибами имеет место пик на эпюрах деформаций сжатия вблизи нормального сечения, проходящего через точку перегиба отогнутой арматуры. Величина этих деформаций значительна и близка к предельной сжимаемости бетона, чем и объясняется разрушение именно в этих зонах. Кроме того, на всех этапах загрузки деформации сжатого бетона в балках с отгибами у мест расположения перегиба арматуры больше величин деформаций сжатого бетона в средней части балки. Относительные деформации бетона средней части балки сравнимы с деформациями бетона сжатой зоны балок с прямолинейной арматурой.

По результатам экспериментально-теоретических исследований [4] была предложена возможная схема работы нормальных сечений вблизи отгиба балки. Зона бетона в непосредственной близости от отгиба находится под действием силы нагружения сверху, результирующей составляющей отгибов снизу и боковых сжимающих от изгиба. В результате этого образуется участок бетона, находящийся в условиях двусосного напряженного состояния – силовая обойма, где развитие деформаций затруднено по сравнению с бетоном за пределами обоймы помимо этого, нагружающая сила действует продавливанием на бетон балки, а результирующая сила в отгибах – в виде силы отрыва. По поверхности продавливания и отрыва действуют помимо нормальных и касательные напряжения. Поверхности продавливания и отрыва формируют в непосредственной близости от отгиба зону повышенного деформирования сжатого бетона, а результирующая касательных напряжений, действующих по поверхности продавливания и отрыва, образует выталкивающую силу части объема повышенной деформативности. При таком напряженном состоянии объясняется причина всплеска деформаций по верхней грани балки, характер разрушения и образования сдвигающих трещин, распространяющихся от зоны выкола бетона до растянутой арматуры.

Для углубленного исследования напряженно-деформированного состояния бетона железобетонных балок в зоне полого отгиба предварительно напряженной полого отогнутой арматуры разработана численная расчетная модель для расчета НДС с помощью ЭВМ.

В качестве метода решения задачи выбрано конечно-элементное моделирование с использованием разработанной программы «BALKA», где расчетные модели представляют собой плоский вид железобетонных балок длиной 300 см с расчетным пролетом 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 пролета 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. Усилие от предварительного натяжения арматуры прикладывалось как внешняя сжимающая сила к крайнему конечному элементу у торца арматуры. Арматура связана с бетоном при помощи специальных связующих элементов (СЭ), допускающих взаимные сдвиги арматуры относительно бетона, имитирующих сцепление арматуры с бетоном. Необходимый уровень усилия предварительного натяжения устанавливался путем сравнения

максимального выгиба моделируемой балки после создания в ней преднапряжения с данными выгибов экспериментальных балок [4].

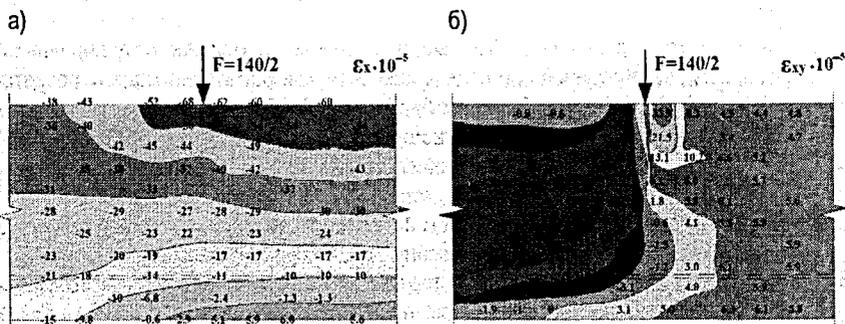
Расчеты производились для балок с прямолинейной и отогнутой арматурой при действии на них двух сосредоточенных сил, приложенных симметрично относительно середины пролета балки на расстоянии 850 мм от опор балок. Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) проводился для балок с прямолинейной арматурой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

По результатам численного моделирования получили:

1. В балках с частью отогнутой преднапряженной арматурой на стадии предварительного обжатия в зоне отгиба сформировалась область с повышенными значениями сжимающих горизонтальных ($-80 \cdot 10^{-5}$), растягивающих вертикальных ($15,3+17,4 \cdot 10^{-5}$) деформаций и деформаций сдвига ($48 \cdot 10^{-5}$), а в балках с прямолинейной арматурой картина распределения горизонтальных и вертикальных деформаций подчиняется нормальному закону. Максимальные растягивающие горизонтальные деформации ($20,4+20,7 \cdot 10^{-5}$) возникали по верхней грани балки, а с приближением к нижней грани уменьшались и переходили в максимальные сжимающие ($-71 \cdot 10^{-5}$); наибольшие значения растягивающих вертикальных деформаций имели место на нижней грани ($13,2 \cdot 10^{-5}$), а с приближением к верхней грани уменьшались до $-3,2 \cdot 10^{-5}$.

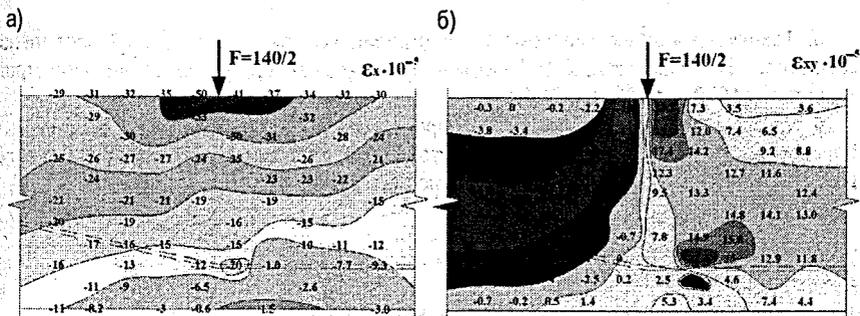
2. При загрузении внешней нагрузкой в балках с прямолинейной напряженной арматурой имеются условия для образования нормальных трещин на нижней растянутой грани, начиная с зоны приложения внешней нагрузки и дальше по длине балки. В балках с отогнутой арматурой с приложением нагрузки вертикальные и горизонтальные деформации уменьшались от зоны отгиба с приближением к торцу и середине балки.

3. В балках с отогнутой арматурой в зоне отгиба деформации сдвига с приложением внешней нагрузки уменьшаются ($22,4 \cdot 10^{-5}$), однако их величины значительно отличаются от величин деформаций с приближением к середине балки. В приопорной зоне сдвиговые деформации увеличились с $1,5+3,0 \cdot 10^{-5}$ до $7,6+9,4 \cdot 10^{-5}$, однако их значения меньше на $7,4+8,8 \cdot 10^{-5}$ сдвиговых деформаций, возникающих в балках с прямолинейной преднапряженной арматурой.



а – горизонтальные деформации, б – деформации сдвига

Рисунок 1 – Картина распределения деформаций ($\epsilon \cdot 10^{-5}$) в балках с прямолинейной арматурой на стадии загрузения при совместном действии сил обжатия бетона



а – горизонтальные деформации, б – деформации сдвига

Рисунок 2 – Картина распределения деформаций ($\epsilon \cdot 10^{-5}$) в балках с отогнутой арматурой на стадии нагружения при совместном действии сил обжатия бетона

На основании проведенных расчетно-теоретических исследований установили:

1. На стадии предварительного обжатия в точке перегиба отогнутой арматуры возникает боковая результирующая составляющая в арматуре, влияющая на НДС бетона, особенно в вертикальном направлении, что вызывает появление сдвиговых усилий максимальных в сечении, проходящем через отгиб, и уменьшается с удалением от него.

2. С приложением внешней нагрузки сдвиговые деформации в балках с прямолинейной арматурой возникают только в опорной зоне (в зоне действия M и V), в балках с отогнутой арматурой деформации сдвига возникают как в опорной, так и в средней частях пролета, причем в средней зоне уменьшается с удалением от зоны отгиба к середине балки.

3. В балках с предварительно напряженной прямолинейной арматурой при обжатии бетона картина распределения горизонтальных и вертикальных деформаций в сечениях по всей длине балок одинаковая. С приложением нагрузки картина распределения соответствует общим правилам работы изгибаемых балок.

4. В балках с отогнутой арматурой закон изменения продольных и поперечных деформаций несколько отличается от балок с прямолинейной арматурой как на стадии обжатия бетона, так и стадии нагружения при совместном действии сил обжатия бетона. В отогнутой арматуре в зоне отгиба продольные и поперечные деформации уменьшаются с приближением к торцу балки.

5. Таким образом, в балках с отогнутой арматурой в зоне отгиба имеет место двухосное напряженное состояние, характеризующееся наличием горизонтальных и вертикальных сжимающих деформаций вплоть до образования первых нормальных трещин в нижней зоне, а по граням этой зоны имеют место сдвигающие деформации, влияющие на характер трещинообразования и механизм разрушения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Междуетажные перекрытия переменной высоты тепловых и атомных станций / Л.В. Старостин, Л.В. Тритчер, Л.В. Сасонко [и др.] // Бетон и железобетон. – 1986. – № 1 – С. 8-10.
2. Чулак, Н.М. Работа железобетонных балок с отогнутой преднапрягаемой арматурой. Совершенствование строительных конструкций и строительного производства. – Кишинев: Штинца. – 1984. – С. 76-81.

3. Техничко-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.

4. Малиновский, В.Н. Сопротивление 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.

УДК 539.3

Кулик Ю.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.

О ВЕЛИЧИНЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Введение. При определении в изгибаемых системах потенциальной энергии, работы внутренних сил, перемещений от внутренних нагрузок с учётом влияния поперечных сил в расчёт вводится коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе, величина которого определяется выражением:

$$k = \frac{A}{I^2} \int_A \frac{S_{омс}^2}{b^2} dA, \quad (1)$$

где A , I – площадь и момент инерции поперечного сечения элемента; b – ширина (закон изменения ширины) поперечного сечения; $S_{омс}$ – статический момент отсечённой части сечения относительно центральной оси.

В известной учебной и справочной литературе [1-23] по строительной механике и сопротивлению материалов значения коэффициента k приводятся для весьма ограниченного числа сечений – для прямоугольного сечения ($k = 1,2$), для прокатных двутавров (приближённая формула – $k = A / A_{см}$, где A – общая площадь поперечного сечения, а $A_{см}$ – площадь вертикальной стенки двутавра), для круглого поперечного сечения. Причём в ряде случаев для одинаковых сечений в разных литературных источниках приводятся разные, часто существенно отличающиеся, значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений k . Так, для круглого сечения в работах [1, 4-6, 13, 18, 21, 22] значение коэффициента k приведено равным $10/9$, в [3, 7, 9, 14, 16, 17, 20] – $k = 32/27$, в [8, 23] – $k = 32/37$. В работе [5] для двутавров (имеется в виду, вероятно, для прокатных двутавров) значение коэффициента k приведено равным $3,14$, в остальных работах для прокатных двутавров приводится приближённая формула $k = A / A_{см}$, при вычислении по которой величина k может существенно отличаться от $3,14$. В работах [5, 21] значение k для тонкостенного кольца приведено равным 2 , хотя о том, какое кольцо понимается под тонкостенным, ничего не говорится.

Цель данной работы уточнить значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе k для круглого и двутаврового сечений и получить выражения для определения этого коэффициента, а также его значения для ряда поперечных сечений, не встречающихся в литературе.

Ниже приведены формы рассмотренных сечений и полученные для них выражения и значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе.