

УДК 69.05

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА СЖАТОЙ ЗОНЫ ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ГИБКОСТИ АРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛЬЮ

Попков Юрий Викторович

канд. тех. наук
Shamel_1983@yahoo.com

Аль Адхами Шамиль Камил Ахмед

магистрант
Shamel_1983@yahoo.com
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород

Аннотация. Приведен анализ напряженного состояния бетона сжатой зоны железобетонных конструкций, армированных сталью класса А800 и выше. Рассмотрены показатели характеризующие величину и положение равнодействующей напряжений в бетоне сжатой зоны, что позволило выявить особенности работы стоек различной гибкости и влияние высокопрочной стержневой арматуры.

Ключевые слова: бетон; железобетонные элементы; сталь; стержневая арматура.

CHARACTERISTICS OF THE TENSION OF CONCRETE OF THE SQUEEZED ZONE NON-CENTRAL LOADED FERROCONCRETE ELEMENTS OF VARIOUS FLEXIBILITY REINFORCED BY HIGH-STRENGTH STEEL

Popkov Yury Viktorovich

candidate of engineering

Al Adkhani Shamil Kamil Ahmed

undergraduate

The Belgorod state technological university of V. G. Shukhov, Belgorod

Abstract. The analysis of a tension of concrete of the squeezed zone of the ferroconcrete designs reinforced by steel of the class A800 above is provided. Indicators characterizing size and situation equally effective tension in concrete of the squeezed zone that allowed to reveal features of work of racks of various flexibility and influence of high-strength rod fittings are considered.

Key words: concrete; ferroconcrete elements; steel; rod fittings.

В сечениях, нормальных к продольной оси железобетонных элементов, при действии продольных сил и изгибающих моментов напряжения в бетоне сжатой зоны развиваются в условиях неоднородного распределения деформаций. Наличие градиента деформаций при неоднородном деформировании сжатой зоны оказывает существенное влияние на работу конструкции в целом, что должно учитываться в расчетной оценке их прочности. Весьма значительным, как показывают многочисленные эксперименты, является влияние так же и армирования сжатой зоны бетона высокопрочными сортами стали класса А800 и выше. Совместная работа

на сжатие бетона и арматуры с высокими пределами текучести повышает в ряде случаев несущую способность конструкций в 1,3...1,8 раза по сравнению с несущей способностью конструкций, армированных мягкими сталями. Уточнение для выше названных условий деформирования бетона эпюры распределения напряжений в сжатой зоне представляется настоятельно необходимым с целью дальнейшего усовершенствования расчетных моделей железобетонных конструкций.

Для получения сведений, используя результаты экспериментов о характеристиках напряженного состояния бетона сжатой зоны, проведен анализ деформированного состояния опытных образцов в предельных стадиях с помощью уровней равновесия, которые позволяют установить величину усилия, воспринимаемого бетоном сжатой зоны и положение оси его действия, а так же условный коэффициент полноты эпюры распределения напряжений. Данные характеристики напряженного состояния дают возможность судить, хотя и косвенно, о параметрах формы эпюры в бетоне сжатой зоны. Величина равнодействующей напряжений в бетоне сжатой зоны (N_B) определялась из условия равновесия продольных сил:

$$N_B = N_u - \sum \sigma_{si} \cdot A_{si}, \quad (1)$$

где N_u – опытная предельная нагрузка приложенная к образцу;

σ_{si} – напряжение в i -том арматурном стержне, полученное по измеренным деформациям в конструкции и в испытанных образцах стали по фактической диаграмме « $\sigma_s - \varepsilon_s$ »;

A_{si} – площадь поперечного сечения арматурных стержней конструкции.

Положение линии действия усилия, воспринимаемого бетоном сжатой зоны (N_B), определялось расстоянием (z_B) до оси проходящей через центр тяжести площади менее сжатой или растянутой арматуры из условия равновесия моментов внешних и внутренних сил сечения по формуле:

$$z_B = (N_u \cdot e - \sum \sigma_{si} \cdot s_{si}) / N_s, \quad (2)$$

где e – эксцентриситет внешней силы относительно той же оси с учетом измеренного прогиба;

S_{si} – статический момент площади сечения 1-го арматурного стержня относительно той же оси.

Отношение (ω) средних напряжений в бетоне сжатой зоны (σ_B) к призменной прочности бетона (R_B) или коэффициент полноты эпюры напряжений вычислялись по формуле:

$$\omega = \frac{\sigma_B}{R_B} = \frac{N_B}{e \cdot x \cdot R_B}, \quad (3)$$

где e – ширина сечения; x – высота сжатой зоны бетона, полученная из экспериментов.

В формулах (1) и (2) не учитывается работа растянутого бетона над трещиной, поскольку в стадии разрушения она не оказывает заметного влияния на N_B и z_B . Положение центра тяжести площади эпюры напряжений характеризуется коэффициентом β , который представляет собой отношение расстояния от линии действия усилия N_B до сжатой грани к высоте сжатой зоны:

$$\beta = (h_0 - z_B) / x, \quad (4)$$

где h_0 – расстояние от оси, проходящей через центр тяжести площади менее сжатой или растянутой арматуры до наиболее сжатой грани сечения элемента.

Кривые « $\omega - \xi$ » (рис. 1), построенные по данным опытов, отражают напряженное состояние бетона сжатой зоны в стадии, предшествующей разрушению, имеют минимум при эксцентриситетах, близких к ядровым ($\xi = x / h_0 \approx 1$). С увеличением эксцентриситета за пределами ядра сечения значения ω возрастают, приближаясь к единице. Это свойство параметра ω характерно для случая армирования сжатой зоны высокопрочной сталью.

При использовании в железобетонных элементах мягких арматурных сталей коэффициент ω с увеличением эксцентриситета за пределами ядра сечения практически не изменяется. Даже при малом проценте армирования высокопрочной сталью $\mu = 1,15$ % наблюдается повышение значений ω с увеличением эксцентриситета внешней силы или с уменьшением высоты сжатой зоны. При одной и той же высоте сжатой зоны более высокие проценты армирования высокопрочной сталью вызывают увеличение полноты эпюры напряжений в бетоне.

На характер изменений β в предельной стадии по прочности (рис. 1) влияет процент армирования образца. Чем выше процент армирования, тем, с увеличением эксцентриситетов или уменьшением высоты сжатой зоны, параметр β быстрее достигает наибольшего значения, равного 0,5. Наименьшие величины β соответствуют эксцентриситетам, близким к ядровым.

Многочисленные результаты исследований, показывают, что величина β уменьшается до 0,33, а величина ω – до 0,5 с увеличением прочности или снижением неупругих свойств бетона сжатой зоны. Перераспределение напряжений в сжатой зоне железобетонного элемента, вызывающее искривление эпюры напряжений, связано именно с неупругими деформациями бетона, поэтому при уменьшении последних можно ожидать приближения формы эпюры напряжений к треугольной. Увеличение неупругих деформаций характеризуется перемещением точки приложения равнодействующей усилий в бетоне сжатой зоны в сторону нейтральной оси, что приводит к возрастанию значений β до 0,5, а ω до 1, отвечающих прямоугольной форме эпюры напряжений.

В коротких опытных образцах из тяжелого бетона достаточно высокой прочности ($R_B = 45,2...48,7$ МПа), имеющей пониженную способность к перераспределению напряжений, даже при эксцентриситетах на границе ядра сечения ($\xi = 0,85...0,9$) получены довольно высокие средние по-

казатели эпюры напряжений ($\omega = 0,87$; $\beta = 0,42$). Образцы без армирования из бетона примерно такой же прочности ($R_B = 46,08$ МПа), испытанные на внецентренное сжатие с ядровым эксцентриситетом, имели меньшие значения характеристик эпюры напряжений сжатой зоны ($\omega = 0,734$; $\beta = 0,34...0,35$) и за пределами ядра сечения практически не менялись. Опытные результаты исследований изгибаемых элементов, армированных сталью 35ГС, упрочненной вытяжкой, позволили заметить некоторое увеличение полноты эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны при уменьшении значений ξ , что согласуется с данными, полученными в наших исследованиях.

Параметры работы бетона сжатой зоны ω и β (см. рис. 1) для образцов с гибкостью $\lambda = 12$ и для образцов с гибкостью $\lambda = 18$ имеют меньшие значения чем для образцов коротких ($\lambda = 6$). Это объясняется тем, что к моменту потери устойчивости конструкций, когда достигается наибольшая нагрузка на образец, сжатая зона имеет запас прочности, благодаря чему элемент продолжает нести ниспадающую нагрузку при ускоренном развитии прогибов, деформаций и перераспределении напряжений в бетоне вплоть до разрушения.

Таким образом разрушение коротких стоек происходит одновременно с достижением максимальной продольной силы, а разрушение средних сечений гибких стоек наблюдается после потери устойчивости и исчерпани прочности сжатой зоны. В этом состоит основная особенность и отличие работы гибких сжатых элементов от коротких.

Из анализа так же следует, что при наличии в сжатой зоне высокопрочной стержневой арматуры значительно повышаются неупругие свойства бетона, способствующие перераспределению напряжений на менее нагруженные участки бетона. С увеличением процента армирования или с уменьшением высоты сжатой зоны это свойство проявляется в большей мере.

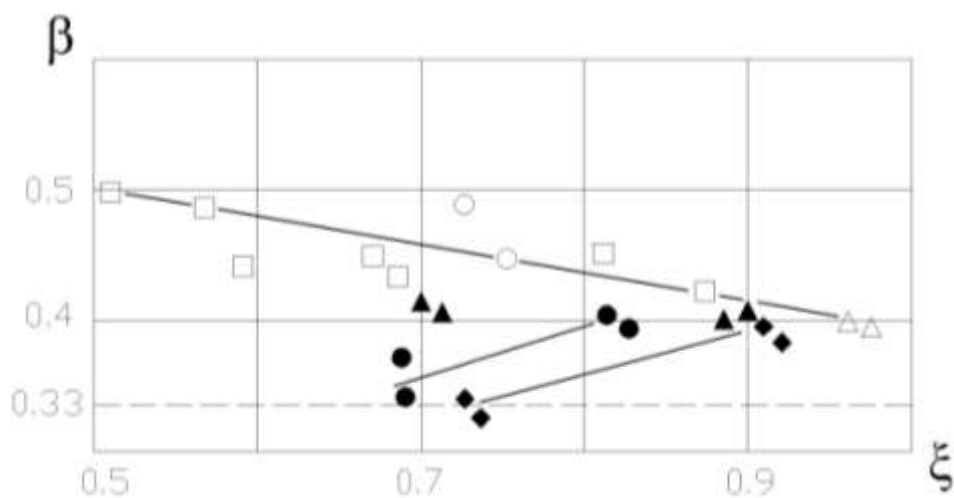
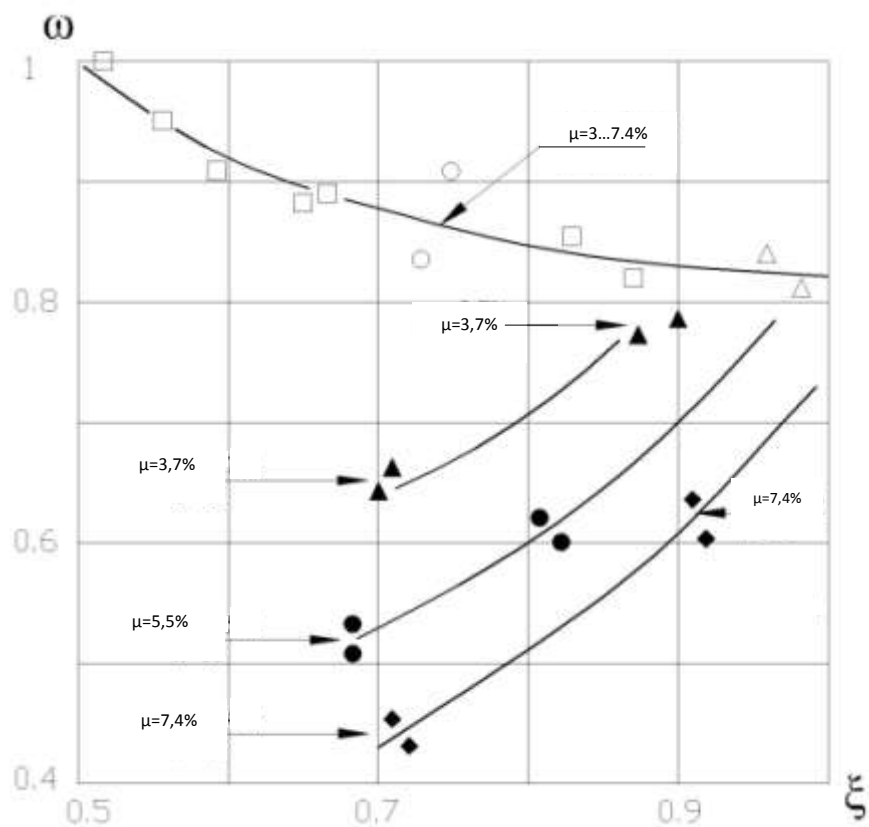


Рисунок 1. Зависимость коэффициентов ω и β от относительной высоты сжатой зоны ξ . (μ – процент армирования сечений образцов; λ – гибкость образца : l/h)

Коэффициент β характеризует относительное положение в сечении центра тяжести эпюры напряжений в бетоне или точки приложения равнодействующей усилий, воспринимаемых бетоном сжатой зоны опытных образцов. Представляет интерес также анализ возможных отклонений в расчетной оценке момента усилия воспринимаемого бетоном сжатой зо-

ны при условной прямоугольной форме эпюры напряжений в бетоне. Такой анализ проведен исходя из условий равенства усилия, воспринимаемого бетоном опытных образцов, и усилия, воспринимаемого бетоном при условной прямоугольной эпюре напряжений, равных призмочной прочности. При этом рассмотрено соотношение:

$$z_{\beta} = z_B / z_d, \quad (5)$$

где z_B – расстояние от центра тяжести площади мене сжатой или растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей N_B , полученное по формуле (2);

z_d – расстояние от той же оси до точки приложения равнодействующей N_B в условной прямоугольной эпюре напряжений, вычисленное по формуле:

$$z_d = (h_o - 0,5 \cdot N_B / R_B \cdot b) / N_B, \quad (6)$$

При анализе изменений z_B в зависимости от относительного эксцентриситета и процента армирования установлено, что в большинстве случаев опытные результаты превышают расчетные. Средняя величина весьма близка к единице ($z_B \approx 1,053$). Среднеквадратическое отклонение среднего ($\sigma_x = 6,27 \cdot 10^{-2}$) и коэффициент вариации ($\nu = 6,1 \cdot 10^{-2}$) весьма малы, следовательно точки приложения равнодействующей усилий в условной прямоугольной сжатой зоне и равнодействующей сжатой зоны опытных образцов можно считать практически совпадающими в предельной стадии по прочности элемента.

Рассмотренный выше параметр напряженного состояния бетона сжатой зоны ω характеризует величину средних напряжений при условной прямоугольной форме эпюры, т.е. при равномерном распределении напряжений по площади. Высокие показатели коэффициента ω , достигающие величины 0,9... 1,02, а также криволинейное очертание факти-

ческой эпюры напряжений позволяют предположить, что максимальные напряжения в бетоне сжатой зоны превышают призмную прочность.

Таким образом, выявлена особенность работы гибких стоек, состоящая в том, что в стадии потери устойчивости при достижении максимальной нагрузки прочность сжатой зоны оказывается неисчерпанной, благодаря чему сечения продолжают нести ниспадающую нагрузку при ускоренном развитии прогибов, деформаций и перераспределении усилий в бетоне вплоть до разрушения. Разрушение коротких стоек происходит от достижения предельных напряжений в материале, т.е. по прочности, а разрушение сечений гибких стоек наблюдается после потери устойчивости, вслед за которой наступает разрушение сжатой зоны сечения при упавшей нагрузке.

Впервые данная статья была опубликована в сборнике материалов IV Международной научно-практической конференции «Современная наука: тенденции развития» (26 марта 2013 г., Краснодар).