

УДК 624.012.454

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КОСОСИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ

канд. техн. наук, доц. Ю.В. ПОПКОВ, С.К. РОМЕРО ВЕЛАРДЕ
(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия)

Представлены основные результаты исследования влияния кососимметричной схемы расположения арматурных стержней из высокопрочной стали класса А800 в сечении при фиксированном начальном положении плоскости изгиба на напряженно-деформированное состояние и несущую способность внецентренно сжатых железобетонных элементов. С целью выяснения факторов, влияющих на несущую способность таких элементов, проведен анализ их работы в предельной стадии. Установлено, что кососимметричная схема армирования сечений в сравнении с симметричной при прочих равных условиях снижает несущую способность конструкции до 20 %. Предложены рекомендации по уточнению методов расчета с учетом влияния прогибов в направлениях главных осей симметрии, предельных углов поворота силовой линии и нейтральной оси на предельную деформацию наиболее сжатого ребра сечения и напряжения в арматурных стержнях.

Введение. Выполненные ранее исследования [1 – 4] сжатых железобетонных элементов с ненапрягаемой высокопрочной арматурой проводились преимущественно на коротких образцах, прогибы которых не оказывают существенного влияния на несущую способность конструкции. Однако, как показывают данные экспериментов, за счет более высокой деформативности коротких сжатых образцов с высокопрочной арматурой величины их прогибов значительно больше, чем аналогичных образцов со сталью менее прочных сортов. Можно предположить, что с увеличением гибкости отличие прогибов указанных конструкций может привести к значительным расхождениям расчетной оценки напряженно-деформированного состояния на разных стадиях работы таких элементов. Несмотря на очевидную актуальность и практическое значение этих вопросов, опытных данных о работе гибких сжатых элементов с ненапрягаемой высокопрочной арматурой немного. Наряду с рассмотренными вопросами, имеющими несомненную актуальность в изучении кососжатых элементов, получены также конкретные сведения об изменчивости предельных деформаций наиболее сжатых фибр бетона при различных положениях плоскости изгиба, о процентах армирования, формах поперечного сечения и сжатой зоны. Вместе с тем остаются недостаточно изученными особенности напряженно-деформированного состояния элементов при кососимметричной схеме армирования сечения и фиксированной начальной плоскости изгиба, что характерно для косоугольного внецентренного сжатия и имеет место в реальных конструкциях колонн типовых каркасов многоэтажных зданий.

Цель данной работы заключалась в разработке на основе экспериментально-теоретических исследований рекомендаций по расчету несущей способности при кратковременном сжатии железобетонных элементов различной гибкости с продольной ненапрягаемой арматурой класса А800 в сочетании с поперечным армированием хомутами.

Основная часть. Экспериментальные исследования проводились на образцах различной гибкости с максимальным возможным приближением к элементам натуральных конструкций по размерам сечений и схемам их армирования, составу бетона, заводской технологии его приготовления. Опытные образцы (рис. 1) имели квадратную форму поперечного сечения и изготавливались из тяжелого бетона проектной прочности В25 на гранитном щебне и кварцевом песке, армировались продольными стержнями диаметром 22 мм из стали класса А800.

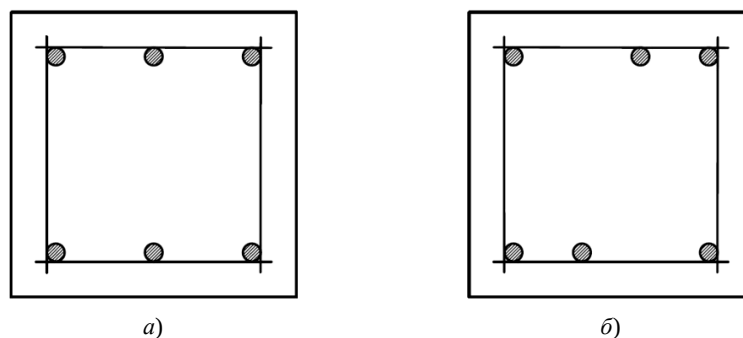


Рис. 1. Схемы армирования поперечных сечений опытных образцов:
а – симметричная; б – кососимметричная

Поперечная арматура средней части длины конструкции представлена в виде хомутов из проволоки диаметром 6 мм, расположенных с шагом 200 мм. Торцевые участки образцов усиливались косвенным армированием сварными сетками, изготовленными из проволоки диаметром 6 мм. Продольная и поперечная арматура объединялись в пространственный каркас контактной точечной сваркой. Положение концов стержней продольной арматуры фиксировалось ручной электродуговой сваркой к стальным пластинам толщиной 14 мм.

Исследование факторов, характерных для работы гибких элементов, проводилось путем сравнения результатов их испытаний с результатами испытаний жестких элементов. Повышение гибкости конструкций осуществлялось увеличением длин опытных образцов при неизменных размерах поперечного сечения. Влияние характера армирования на напряженно-деформированное состояние конструкций исследовалось при изменениях схемы их расположения в поперечном сечении. Испытательная нагрузка прикладывалась в трех точках поперечного профиля, в качестве основных варьируемых факторов эксперимента приняты: длина, гибкость конструкций L/h (6, 12, 18); начальный эксцентриситет приложения нагрузки e_0 , мм (0; 30; 60); схемы армирования сечений (симметричная и кососимметричная). Результаты эксперимента дублировались испытанием двух близнецов.

Вместе с основными опытными образцами конструкций изготавливались и испытывались стандартные образцы бетона в виде кубов с размером ребра 100 мм в количестве 48 штук и призм с размерами $200 \times 200 \times 800$ мм в количестве 12 штук.

Фактическая диаграмма деформирования арматуры определялась испытаниями на растяжение двенадцати образцов, изготовленных из стержней используемой партии стали. Испытания конструкций проводились в гидравлических прессах ПР-1000 и ПР-500 при диапазонах нагрузок «100» или «250» в зависимости от расчетной несущей способности и длины конкретного опытного образца. Схема нагружения предусматривала создание условий работы конструкций как стоек с шарнирным опиранием, с равными и одинаково направленными концевыми эксцентриситетами продольной силы. Передача нагрузки осуществлялась через цилиндрические шарнирные опоры, обеспечивающие свободные угловые перемещения элементов в заданной плоскости изгиба, а также через жестко закрепленные на торцах образцов стальные оголовки. На опорные поверхности оголовков выносились контуры профиля образца, размечалось положение силовой плоскости и эксцентриситета продольной испытательной нагрузки относительно геометрического центра поперечного сечения. Фиксирование эксцентриситетов выполнялось до установки образцов в пресс.

В процессе испытаний конструкций проводились измерения: средних продольных и поперечных деформаций на поверхностях боковых граней, прогибов, угловых перемещений, усилий трещинообразования, ширины раскрытия трещин, несущей способности.

При исследованиях деформаций использованы индикаторные тензометры с ценой деления 0,01 мм, установленные на базе измерения 400 мм, и тензометры с ценой деления индикатора 0,001 мм – на базе измерения 100 мм, а также тензорезисторы с базой измерения 50 мм, приклеенные к поверхности образцов. Показания тензорезисторов регистрировались с помощью автоматического тензометрического комплекса с блоком измерений мостового типа ЦТМ-3.

Для определения прогибов конструкций при испытаниях проводились измерения перемещений отдельных точек прогибомерами БПАО в трех уровнях длины коротких образцов и в пяти уровнях длины гибких образцов. С целью проверки угловых перемещений среднего сечения образцов предусматривалась установка двух прогибомеров на жестком рычаге, закрепленном на конструкции, кроме того, перемещения этих сечений контролировались и в плоскости, перпендикулярной начальному положению плоскости изгиба. Усилие трещинообразования фиксировалось по шкале силоизмерителя прессы в момент образования первых трещин. Ширина раскрытия трещин измерялась на уровне наиболее растянутой арматуры при помощи отсчетного микроскопа МПБ-2 с точностью 0,05 мм.

Нагружение проводилось при кратковременном режиме ступенчатого увеличения нагрузки на 10 % от расчетной с выдержкой на постоянном уровне каждой ступени в течение 12...15 минут. В стадиях, предшествующих исчерпанию несущей способности, размер ступени нагружения уменьшался до 5 %. Отсчеты по измерительным приборам регистрировались до и после приложения очередной ступени нагрузки. Измерения наиболее важных параметров деформирования проводились до нагрузок, соответствующих предельной несущей способности конструкций, что определялось по максимальному показанию контрольной стрелки силоизмерителя прессы.

Анализ внешних качественных признаков состояния конструкций в стадиях, предшествующих разрушению, а также характер самого разрушения позволяют оценить влияние отдельных факторов и судить о критериях несущей способности. Все образцы нагружались до разрушения, при котором происходило раздробление бетона сжатой зоны и выпучивание арматурных стержней. Первые признаки начала стадии разрушения – образование лещадок, продольных трещин и отслаивание отдельных участков защитного слоя бетона – проявились при уровне нагрузок порядка 0,85...0,90 от предельной.

Разрушение центрально сжатых элементов сопровождалось раздроблением бетона всего поперечного сечения. Неармированные образцы разрушались хрупко со взрывообразным раздроблением средних сечений. Переход в стадию разрушения армированных центрально нагруженных образцов отличался более пластичным характером. Начало стадии разрушения внецентренно нагруженных стоек протекало плавно и обозначалось появлением лежачих трещин на поверхности бетона наиболее сжатых граней сечения. Разрушение происходило с потерей устойчивости и выпучиванием стержней арматуры сжатой зоны. Плоскость разрушения в большинстве случаев составляла угол с вертикальной осью порядка $30...35$ градусов и проходила обычно по ранее образовавшимся продольным трещинам.

Однообразие характера разрушения испытанных конструкций состояло в том, что достижение наибольшей несущей способности являлось следствием исчерпания прочности сжатой зоны сечения. Вместе с тем наблюдались некоторые особенности форм потери устойчивости и направлений выпучивания арматуры отдельных конструкций. Стержни теряли устойчивость в пределах среднего участка длины конструкций и между точками закрепления в местах их пересечения с хомутами, а форма искривления указывала на наличие полного или частичного защемления концов стержней, т.е. свободная длина при потере устойчивости этих элементов, очевидно, меньше, чем расстояние между хомутами. При разрушении негибких конструкций кривизна оси всего образца в стадии разрушения мала, поэтому выпучивание потерявших устойчивость продольных стержней арматуры происходило в направлении от центра сечения и параллельно его диагоналям.

В стадии, предшествующей разрушению гибких стоек, наиболее сжатые стержни арматуры имели такую же кривизну, как и вся конструкция, в связи с чем потеря устойчивости и выпучивание этой арматуры происходило при наличии дополнительных связей (со стороны внутренних слоев сжатой зоны бетона), препятствующих выпучиванию в направлении плоскости изгиба всей конструкции.

Перечисленные явления, наблюдаемые в опытах, иллюстрируют процессы, происходящие в элементах конструкции при ее разрушении, и, видимо, должны учитываться при построении теории расчета прочности и устойчивости.

Испытания в целом показали, что исчерпание несущей способности элементов происходило либо от достижения предельных напряжений в материале (по прочности), либо от потери устойчивости конструкций, что главным образом зависит от значений гибкости и эксцентриситета. Вслед за потерей устойчивости наступало разрушение сжатой зоны сечения при упавшей нагрузке.

Кососимметричная схема армирования сечений в сравнении с симметричной при прочих равных условиях снижает несущую способность конструкций до 20 %, что установлено в проведенных нами опытах. С целью выяснения факторов, влияющих на несущую способность таких элементов, проанализирована их работа в предельной стадии.

Характер распределения деформаций по контуру поперечного сечения изучался по показаниям тензометров, которые позволили определить линейной интерполяцией точки с нулевыми приращениями, располагающимися на нейтральной оси (рис. 2).

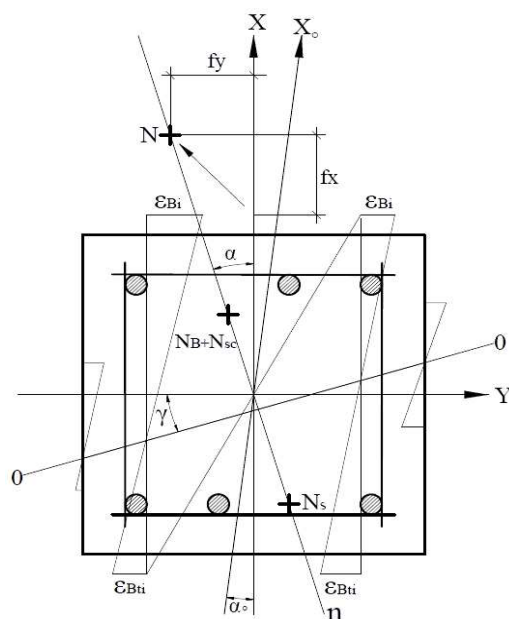


Рис. 2. Расположение нейтральной оси (0 – 0) и силовой линии (n – n) в поперечном сечении образцов

Наиболее вероятное положение нейтральной оси вычислялось линейной аппроксимацией. По найденному положению в предельной стадии определялась форма сжатой зоны, ее высота и строилась эпюра деформаций на плоскости, перпендикулярной нейтральной оси. Средние продольные деформации наиболее сжатого (ϵ_{BU}) и менее сжатого или растянутого (ϵ_{BT}) ребра сечения, наиболее удаленного от нейтральной оси стержня арматуры (ϵ_{sc}) и наиболее удаленного от нейтральной оси стержня менее сжатой или растянутой зоны (ϵ_s), определялись по линейной эпюре деформаций.

Измерения перемещений средних сечений в горизонтальной плоскости показали, что опытные образцы, отличающиеся кососимметричной схемой армирования, имели, кроме перемещений или прогибов по оси X , совпадающей с начальным положением силовой плоскости, перемещения в перпендикулярном направлении по оси Y . Величина прогибов f_y зависела от гибкости стойки и эксцентриситета нагрузки. Контроль перемещений прогибомерами не выявил угловых деформаций сечений, так как показания этих приборов отличались незначительно и имели разброс в пределах точности измерений и носили незакономерный характер. Таким образом, получено, что в процессе нагружения до разрушения образцов средние сечения имели плоскопараллельные перемещения в направлениях осей X и Y .

Для определения положений силовой линии и плоскости изгиба (нейтральной оси) в среднем сечении образцов использованы данные измерений прогибов и деформаций средних сечений.

Силовая линия $n - n$ (см. рис. 2) представляет собой прямую, соединяющую точки приложения нагрузки N , равнодействующие сжатой $N_B + N_{SC}$ и растянутой N_S зон сечения. В процессе увеличения нагрузки эта линия перемещается до некоторого предельного положения, что определяется по прогибам образцов относительно осей X и Y :

$$\operatorname{tg} \alpha = f_y / f_x. \quad (1)$$

Плоскость изгиба определяется положением нейтральной оси, изменения угла наклона которой относительно начального положения вычислялись по показаниям тензометров (см. рис. 2):

$$\operatorname{tg} \gamma = \epsilon_{Bi} - \epsilon_{Bj} / L_t, \quad (2)$$

где ϵ_{Bi} и ϵ_{Bj} – показания тензометров, расположенных на одной грани; L_t – расстояние между точками установки тензометров.

При начальных ступенях нагрузки нейтральная ось совершала поступательные перемещения, уменьшая площадь сжатой зоны. Изменения угла наклона здесь незначительны и близки к величине, соответствующей упругому деформированию материалов. Начиная с некоторого уровня нагрузки, нейтральная ось в сечениях образцов с кососимметричным армированием одновременно с поступательным совершала угловые перемещения в сторону ребра поперечного профиля с меньшим количеством арматурных стержней. Уровень нагрузки, при котором появлялся поворот, а также предельный угол этого смещения, зависят от величин начального эксцентриситета и гибкости стоек.

Как известно из литературных источников, взаимное расположение силовой линии и нейтральной оси в общем случае может быть различным [4]. С целью определения соотношения углов α и γ , имевших место в данных опытах, вычислены значения $\operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \gamma$. В результате обработки данных получено, что для коротких образцов кососимметричное размещение арматурных стержней не вызывает существенных угловых перемещений силовой линии и нейтральной оси в предельной стадии и не влияет на несущую способность таких конструкций. Однако для гибких образцов ($\lambda = l / h = 12; 18$) предельные углы смещений изгиба и силовой линии более существенны. При этом изменения $\operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{tg} \gamma$ имеют общий характер и примерно одинаковые величины (рис. 3). Следовательно, угол между этими линиями на разных стадиях напряженного состояния сохраняется неизменным и равным 90° .

Явление образования угла наклона нейтральной оси объясняется несимметричностью сечения относительно начального положения силовой плоскости изгиба. Дальнейшее увеличение углового смещения в плоскости изгиба происходит вследствие образования зон неупругого деформирования усилий на менее нагруженные участки при переходе кососжатого элемента с несимметричной формой сечения относительно силовой плоскости в стадию разрушения.

Судя по расположению равнодействующих усилий в сжатой и растянутой зонах сечения в стадии разрушения силовая линия проходит вблизи геометрического центра сечения. Это замечено и в опытах других авторов [1 – 4], исследовавших косое внецентренное сжатие элементов различных форм сечений. Так как это отклонение незначительно и вызвано, видимо, несовпадением геометрического и физического центров поперечного сечения, им можно пренебречь в расчетах, допуская, что силовая линия пересекает геометрический центр сечения.

Деформации и напряжения в арматуре зависят от положения стержней по высоте сечения в плоскости изгиба. Наиболее удаленные стержни от нейтральной оси получают большие приращения деформаций от внешней нагрузки. Крайние стержни сжатой зоны деформируются в зависимости от величины

предельной деформации бетона наиболее сжатого ребра и соответствуют ее изменениям. При плоском внецентренном сжатии стержни, сосредоточенные у наиболее напряженных граней, деформируются равномерно, а при повороте силовой плоскости распределение стержней относительно плоскости изгиба меняется, в результате чего крайние стержни оказываются нагруженными более интенсивно.

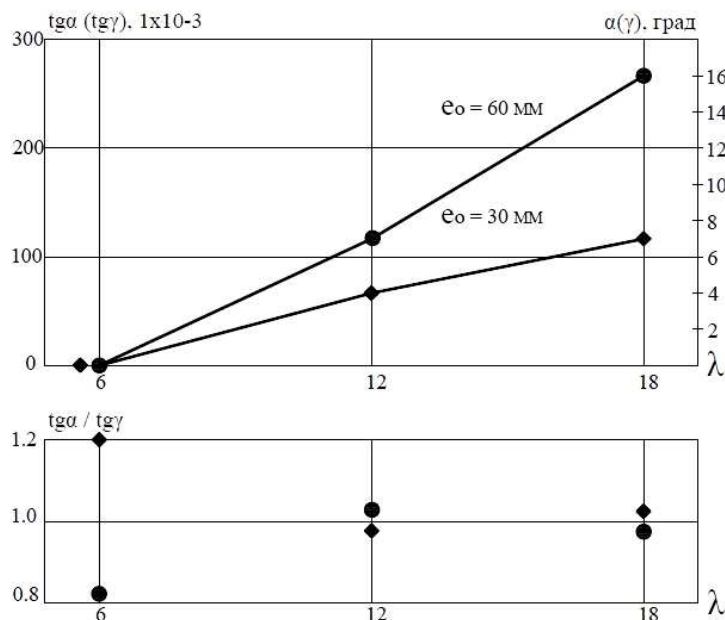


Рис. 3. Зависимость предельных углов поворота силовой линии (α) и нейтральной оси (γ) относительно граней сечения

Как показали экспериментальные исследования (см. рис. 2), угловые перемещения силовой линии и нейтральной оси имели направление в сторону ребра сечения с одиночным стержнем как в сжатой, так и растянутой зонах. Предельные деформации бетона этих ребер и соответствующие им деформации арматуры превышали деформации наиболее удаленных от нейтральной оси фибр бетона и арматуры в аналогичных образцах с симметричным армированием. Однако при повороте плоскости изгиба в сторону граней с меньшим количеством арматуры грани с более интенсивным армированием оказывались расположенными вблизи нейтральной оси. В результате чего уменьшалось сопротивление сечения действию изгибающего момента, увеличивались прогибы в направлении оси Y и, как следствие, снижалась несущая способность конструкции.

Для уточнения влияния кососимметричного расположения арматурных стержней в поперечном сечении на несущую способность конструкций предлагается учитывать смещение силовой плоскости изгиба по методике, рекомендованной в работе [2], рассматривая работу элемента как кососжатого с начальным положением силовой плоскости, расположенной под углом (α_0) к осям приведенного сечения (см. рис. 2).

Напряжения в i -том стержне арматуры сечения следует вычислять по формуле:

$$\sigma_{si,\gamma} = \sigma_{si} \cdot \kappa_\gamma \leq \sigma_{sc,u}, \quad (3)$$

где σ_{si} – напряжение в арматуре, вычисляемое при $\gamma = 0$; κ_γ – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона плоскости изгиба на предельную деформацию наиболее сжатого ребра сечения квадратного профиля:

$$\kappa_\gamma = \cos \gamma + \sin \gamma, \quad (4)$$

где $\sigma_{sc,u}$ – предельные сжимающие напряжения в арматуре.

Влияние прогибов на несущую способность определяются раздельным учетом гибкости в направлениях главных осей симметрии и определением расчетного эксцентриситета по формуле:

$$e_0 = \sqrt{(e_{0x} \cdot \eta_x)^2 + (e_{0y} \cdot \eta_y)^2}, \quad (5)$$

где η_x и η_y – коэффициенты влияния прогибов, определяемые относительно принятых осей координат.

Положение границы сжатой зоны из условий равновесия усилий в силовой плоскости и плоскости изгиба рекомендуется определять из условия:

$$\frac{(f_c \cdot S_{B,\alpha} - \sum \sigma_{si} \cdot S_{si,\alpha}) \cdot e_\gamma}{(f_c \cdot S_{B,\gamma} - \sum \sigma_{si} \cdot S_{si,\gamma}) \cdot e_\alpha} = 1, \quad (6)$$

где $S_{B,\alpha}$, $S_{B,\gamma}$ и $S_{si,\alpha}$, $S_{si,\gamma}$ – соответственно статические моменты площади сжатой зоны бетона и статические моменты продольной арматуры относительно осей, проходящих через центр тяжести сечения менее сжатого или растянутого стержня арматуры и перпендикулярных силовой линии и нейтральной оси; e_γ и e_α – эксцентриситеты продольной силы относительно тех же осей.

Предельные углы наклона силовой линии (α) и нейтральной оси (γ) элементов прямоугольного профиля (см. рис. 2) вычисляются по зависимости:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{I_{red}^y}{I_{red}^x}, \quad (7)$$

где I_{red}^y , I_{red}^x – моменты инерции приведенного сечения относительно осей Y и X.

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \left(\frac{\xi - \xi_{Lim}}{\xi_1 - \xi_{Lim}} k_\alpha \right) \geq \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (8)$$

Здесь $\operatorname{tg} \alpha_0$ – тангенс угла линии суммарного эксцентриситета к оси X, вычисляемый по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{e_0^y}{e_0^x}; \quad (9)$$

ξ – относительная высота сжатой зоны в плоскости изгиба; ξ_1 – относительная высота сечения в плоскости изгиба, соответствующая границе между трапецевидной и пятиугольной формами сжатой зоны:

$$\xi_1 = \frac{h \cdot \cos \gamma}{h_0 \cdot \cos \gamma + b_0 \cdot \sin \gamma}; \quad (10)$$

ξ_{Lim} – относительная граничная высота сжатой зоны в плоскости изгиба.

Коэффициент k_α в формуле (8), учитывающий предельное приращение угла силовой линии, определяется:

- при $\operatorname{tg} \alpha_0 < \operatorname{tg} \alpha_{гр}$ по формуле:

$$k_\alpha = 2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha_{гр}} \cdot 1 - \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha_{гр}} \right); \quad (11)$$

- при $\operatorname{tg} \alpha_0 > \operatorname{tg} \alpha_{гр}$ по формуле:

$$k_\alpha = 2 \cdot \frac{\operatorname{ctg} \alpha_0}{\operatorname{ctg} \alpha_{гр}} \cdot 1 - \left(\frac{\operatorname{ctg} \alpha_0}{\operatorname{ctg} \alpha_{гр}} \right). \quad (12)$$

В формулах (11) и (12)

$$\operatorname{tg} \alpha_{гр} = \frac{I_{red}^x}{I_{red}^y}. \quad (13)$$

При $\xi > \xi_1$ в формуле (8) следует условно принимать $\xi_{Lim} = 1$. Величины ξ , ξ_1 и ξ_{Lim} определяются в плоскости изгиба, имеющей угол наклона γ , вычисляемый из зависимости (7) при $\alpha = \alpha_0$.

Результаты расчетов по приведенным рекомендациям показали удовлетворительную сходимость с опытными значениями и учитывают снижение несущей способности конструкций, выявленное испытаниями опытных образцов.

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

- элементы с кососимметричным расположением арматурных стержней в поперечном сечении при нагружении, кроме прогибов по оси X , совпадающей с начальным положением силовой плоскости, имели прогибы также и в направлении оси Y . Предельная величина прогибов в направлении оси Y зависит от эксцентриситета и гибкости элемента;
- угловые перемещения силовой линии и нейтральной оси, имея направление в сторону сечения с меньшим количеством арматуры, приводят к тому, что грани с более интенсивным армированием располагаются вблизи нейтральной оси, в результате чего снижается сопротивление сечения действию изгибающего момента и уменьшается несущая способность конструкций;
- при кососимметричном смещении промежуточных стержней арматуры, расположенной у наиболее нагруженных граней сечения, относительно среднего их положения на величину 20 % и более расстояния до углового стержня расчет несущей способности сжатых конструкций с гибкостью 12 и более следует выполнять, рассматривая работу сечений как кососжатых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахненко, П.Ф. Напряженно-деформированное состояние и расчет железобетонных элементов при косом внецентренном сжатии косом изгибе: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / П.Ф. Вахненко. – Киев, 1992. – 36 с.
2. Попков, Ю.В. Прочность железобетонных элементов с высокопрочной стержневой арматурой при косом внецентренном сжатии: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.В. Попков. – Новополоцк, 1988. – 198 с.
3. Редкин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования кососжатых железобетонных элементов различной гибкости с напрягаемой и ненапрягаемой высокопрочной арматурой: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Редкин. – Полтава, 1983. – 252 с.
4. Семенюк, С.Д. Исследование кососжимаемых железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / С.Д. Семенюк. – Ровно, 1980. – 194 с.
5. Сурин, В.В. Прочность внецентренно сжатых железобетонных элементов с высокопрочной стержневой арматурой (при кратковременной нагрузке): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Сурин. – Челябинск, 1981. – 180 с.
6. Торяник, М.С. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях / М.С. Торяник. – М., 1974. – 295 с.
7. Чистяков, Е.А. Несущая способность сжатых железобетонных колонн с высокопрочной арматурой / Е.А. Чистяков, В.В. Сурин // Прочностные и деформативные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. – М., 1982. – С. 70 – 80.
8. Попков, Ю.В. Прочность и деформация сжатых железобетонных элементов с продольной ненапрягаемой высокопрочной арматурой / Ю.В. Попков, Д.А. Слуцкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2004. – № 6. – С. 19 – 27.
9. Popkov, J. Quality control of reinforced concrete structures by holography / J. Popkov, G. Machkovtsev // International symposium non-destructive testing civil engineering (NDT-CE). – Berlin, 1995. – С. 1249.

Поступила 12.06.2013

STRESS - STRAIN STATE OF CONCRETE STRUCTURES WITH SKEW-SYMMETRIC REBAR ARRANGEMENT IN CROSS-SECTION

Y. POPKOV, S.K. ROMERO VELARDE

The main results of the study of the influence of the skew-symmetric arrangements of reinforcing bars made of high grade steel A800 in the cross section at a fixed initial position of the plane of bending on the stress-strain state and the carrying capacity of eccentrically compressed concrete elements are presented. Skew-reinforcement arrangement of sections in comparison with symmetric, all other things being equal reduces the load-bearing capacity of the structure to 20 %, as determined in experiments conducted by us. In order to determine the factors that affect the carrying capacity of such elements, the analysis of their work in the limit stage. Proposals are submitted to the refinement of methods of calculation taking into account the effect of the deflections in the directions of the principal axes of symmetry, the limiting angles of rotation of the power line and the neutral axis to the limit strain most compressed rib section and the stresses in the rebars.