

2. Динамические испытания и диагностика бункерной этажерки / А.М. Югов, С.В. Колесниченко, Д.В. Левченко, А.С. Васильев, Ю.П. Некрасов, А.Н. Миронов, Е.В. Денисов, С.С. Аноприенко. // Вісник ДонДАБА. – вип. 2001 – 4(29). Том 2. - С. 47-53.

3. Колесниченко С.В., Миронов А.Н. Влияние геометрических параметров на напряженно-деформированное состояние и концентрацию напряжений Т-образных узлов с поясом из широкополочного двутавра и решеткой из гнутосварных замкнутых профилей // Металеві конструкції. – Том 4. - №1. - 2001. – С. 55-59.

4. Колесниченко С.В., Миронов А.Н. Напряженно-деформированное состояние сварных бесфазоночных узлов с использованием широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей // Вісник ДонДАБА. – Вип. 2003 – 2(39) - Том 1. - С. 107-115.

В статье рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и концентрации напряжений в сварных узлах плоских решетчатых конструкций с применением в поясах двутавров с параллельными гранями полков, а в решетке - гнутосварных замкнутых профилей.

На основе МКЭ проведено исследование НДС и концентрации напряжений в К-, Т-, V-, ТК – образных сварных узлах с поясом из ШПД и решеткой из ГСП с деталями усиления и без них. Выведены параметрические зависимости теоретического коэффициента концентрации напряжений от геометрических параметров профилей, составляющих узлы. Для К- и Т – образных узлов выведены параметрические зависимости поправочных коэффициентов концентрации напряжений от влияния: углов наклона решетки к поясу, узловых эксцентриситетов из плоскости узлов.

Приводятся результаты экспериментальных исследований НДС и концентрации напряжений К- и Т – образных узлов. Исследования проведены на натурных сварных узлах, входящих в состав статически определимой фермы пролетом 24 м при шести различных схемах загрузки, имитирующих подвижную нагрузку.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика определения коэффициентов концентрации напряжений и действительных геометрических напряжений в зоне соединения решетки с поясом К-, Т-, V-, ТК – образных сварных узлов с поясом из ШПД и решеткой из ГСП.

Theoretical and experimental investigations of stress-strain condition for welded joints of planar trusses with H-beams chords and rectangular hollow sections as trellis have been considered in the thesis.

On the basis of FEM analysis the stress-strain conditions also as stress concentration for K-, T-, V-, TK – shaped welded joints with H-beams and rectangular hollow sections with and without reinforcements were investigated. Parametrical formulae for correction factors depend of trellis incline members angles and joint eccentricity in plane and out-of-plane were found. Experimental investigations of stress-strain conditions for K- and T– shaped real joints also have been determined. Experimental and correction factors for stress concentration were defined. System for determination of stress concentration factors and stress-strain distribution for K-, T-, V-, TK – shaped welded joints with H-beams chord and rectangular hollow sections has prepared.

Key words: welded joints, finite element method, stress-strain condition, stress concentration.

Дата надходження в редакцію: 04.05.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Фомиця Л.М.

УДК 69.04; 624.046.4

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ КОМПЛЕКСНОМ ЗАГРУЖЕНИИ

В.В. Душин, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

А.П. Мартиненко, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

В статье рассмотрены расчетные схемы для определения жесткости железобетонных элементов прямоугольного сечения при загрузении комплексной нагрузкой.

Постановка проблемы в общем виде. Необходимость в методике определения жесткости элементов в рассматриваемых условиях внешнего воздействия вызвана потребностью вычисления в ряде случаев углов закручивания элемен-

тов конструкций, но главным образом для выполнения статического расчета плоских и пространственных систем, в которых действуют крутящие моменты. Как известно, специфические свойства железобетона (тем более для случаев

сложных комбинированных воздействий) при статическом расчете по упругому состоянию, когда можно отдельно учесть жесткость элементов при сжатии и кручении, не позволяют получить точные результаты. Особенно это относится к стадии или случаю работы элементов или их участков в состоянии с трещинами.

Формулировка целей статьи. По названным причинам, в рамках настоящей работы получены расчетные зависимости для определения жесткости элементов при комбинированном воздействии ($N^t + T^n$).

Изложение основного материала. Рассмотрены две расчетные схемы при превалировании либо продольной силы, когда элемент (брус) находится в состоянии без трещин со сложным напряженным состоянием активной приконтурной зоны и при превалировании крутящего момента для стадии с трещинами.

При разработке расчетных моделей используется предположение, подтверждаемое исследованиями, что в комбинированном воздействии при участии крутящего момента в прямоугольном сечении сложному напряженному состоянию активно сопротивляется приконтурная зона определенной толщины, величину которой можно принимать равной $d = 2a_i$.

$$q = \frac{T_{act}}{4z_{sx}^2 z_{sy}^2 d} \left(\frac{2z_{sy}}{G_I} + \frac{z_{sx}}{G_{II}} + \frac{z_{sx}}{G_{III}} \right); \quad (1)$$

Для квадратного сечения при $e_0 = e_a = 0$

$$q = \frac{T_{act}}{z_s^3 d G}; \quad (3.5)$$

Из формулы (3.4), принимая

$$q = \frac{T_{act}}{C_{pl}} \quad (3.6)$$

где: C_{pl} - упругопластическая жесткость на кручение, следует;

$$C_{pl} = \frac{4z_{sx}^2 z_{sy}^2 d}{\frac{2z_{sy}}{G_I} + \frac{z_{sx}}{G_{II}} + \frac{z_{sx}}{G_{III}}} \quad (3.7)$$

Для квадратного сечения при $e_0 = e_a = 0$

$$C_{pl} = G z_s^3 d \quad (3.8)$$

Таким образом задача по определению жесткости на кручение со сжатием в упругопластическом состоянии сводится к определению модулей сдвига G_i для сложнапряженного бетона элементов активной зоны, усиленных арматурой в двух направлениях.

Напряженное состояние элементов активной зоны характеризуется действием нормальных вдоль оси OZ и касательных напряжений бетона, которые могут быть определены по формулам:

$$s_{bz} = \frac{N_{act} - A_{br} R_b - R_s A_{sz}}{A_{bp}} \quad (3.9)$$

$$t_b = \frac{T_{act}}{2z_{sy} z_{sx} d} \quad (3.10)$$

где: $A_{br} = (h - 2d)(b - 2d)$ - площадь ядра сечения;

$A_{bp} = 2d(z_{sy} + z_{sx})$ - площадь активной зоны;

A_{sz} - площадь продольной рабочей арматуры.

При учете эксцентриситета силы N_{act} напряжение s_{bz} соответственно уточняется дополнением напряжений от изгиба:

$$\pm \frac{M_a}{z_{sx} b d} \quad (3.11)$$

В рассматриваемых элементах по главным направлениям действуют напряжения S_{mc} и S_{mt} (рис. 3.2 б,в). Армирование элементов активной зоны

характеризуется коэффициентом армирования:

- по направлению оси OZ:

$$m_{1x} = \frac{\sum A_{S_{ix}}}{bd}; \quad m_{1y} = \frac{\sum A_{S_{iy}}}{bd}; \quad (2)$$

- по направлению оси OY:

$$m_{2x} = \frac{A_{sw1}}{sd}; \quad m_{2y} = \frac{A_{sw1}}{sd} \quad (3)$$

- по главным направлениям:

$$m_{mtx} = m_{1x} \sin^2 a_I + m_{2x} \cos^2 a_I$$

$$m_{mty} = m_{1y} \sin^2 b_I + m_{2y} \cos^2 b_I \quad (4)$$

$$m_{mcx} = m_{1x} \cos^2 a_I + m_{2x} \sin^2 a_I$$

$$m_{mcy} = m_{1x} \cos^2 a_I + m_{2x} \sin^2 a_I$$

По направлению главных осей сопротивляются бетон и арматура. Значения главных напряжений в бетоне без учета арматуры и углы наклонов трещин определяются, например для грани в плоскости OZX по формулам;

$$\left. \begin{matrix} S_{mt}^x \\ S_{mc}^x \end{matrix} \right\} = -\frac{s_{bz}}{2} \pm \sqrt{0,25s_{bz}^2 + t_b^2} \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} 2a_I = \frac{2t_b}{S_{bz}} \quad (6)$$

Главные растягивающие напряжения для граней с учетом армирования, например для грани в плоскости OZ определяются по формуле:

$$S_{mt}^{bs} = \frac{S_{mt}^x}{1 + \frac{2E_S m_{mtx}}{E_b}} \quad (7)$$

Затем с их учетом, вычисляется приведенная призматическая прочность для случая сжатия с растяжением:

$$R_b' = R_b \left(1 - 0,5 \frac{S_{mt}^{bs}}{R_{bt}} \right) \quad (8)$$

По условию $S_{mt}^{bs} \leq R_{bt}$ устанавливается отсутствие трещин в бетоне и контролируется I^a схема разрушения. Для такого напряженного состояния вычисляется модуль упругости бетона по формуле Л.И. Онищика:

$$E_b' = E_b \left(1 - 0,5 \frac{S_{mt}^{bs}}{1,1R_b'} \right) \quad (9)$$

С учетом армирования бетонных элементов в направлении S_{ms} вычисляется модуль упругопластичности бетона по формуле:

$$E_b'' = E_b' \left(1 - 0,5 \frac{S_{mt}^{bs}}{1,1R_b'} \right), \quad (10)$$

$$\text{где: } S_{mt}^{bs} = \frac{S_{mc}}{1 + \frac{2E_S m_{mcx}}{E_b''}} \quad (11)$$

Т.к. в формуле (3.21) неизвестно значение E_b'' его значением необходимо задаться на первом этапе и расчет следует вести методом последовательных приближений.

Модуль упругопластических деформаций по направлению OZ для элементов активной зоны;

$$E_{bx}^{oz} = E_{bx}'' \operatorname{Cos}^2 a_I \quad (12)$$

$$E_{by}^{oz} = E_{by}'' \operatorname{Cos}^2 b_I \quad (13)$$

Необходимое значение модуля сдвиговых деформаций для бетона в рассматриваемых условиях определяется по известной формуле:

$$G_i = 0,4E_i^{oz} \quad (14)$$

где: i - номер элемента активной зоны.

Жесткость элементов при сжатии с кручением вычисляется по одной из формул (3.7), (3.8).

Жесткость на кручение центрального бетонного ядра может быть приближенно вычислена по формуле:

$$C_r = 0,4k_v E_b b (h - 2d)(b - 2d)^3 \quad (15)$$

где: b - коэффициент Сен-Венана;

k_v - коэффициент учитывающий неупругое деформирование бетона.

Выводы.

1. Для статического расчета плоских и пространственных стержневых конструкций, необходимы расчетные зависимости для определения жесткости их элементов при сжатии-растяжении с кручением на стадиях, соответствующих неупругому деформированию структурных элементов и наличия трещин. В этих случаях использование принципа независимости действия сил недопустимо.

2. Выполненные исследования позволили выявить две характерные формы напряженно-деформированного состояния призматических стержней при комбинированных воздействиях ($N + T^r$) для случаев превалирования продольной силы или крутящего момента, требующих специфических подходов к определению жесткости при сжатии с кручением или растяжении с кручением.

3. Установлено, что железобетонную структуру стержня при расчете жесткости можно разделить на приконтурную зону активно сопротивляющуюся кручению со сжатием и зону - ядро, от которой жесткость стержня на кручение зависит слабо.

4. При превалировании в комбинации ($N + T^r$) продольных сил и отсутствии

пространственных трещин в бетоне жесткость стержня в упругопластическом состоянии должна определяться с учетом сложного напряженного состояния двухосно-армированной активной зоны (сжатия с растяжением по главным направлениям) с вычислением коэффициентов (модулей) жесткости для отдельных участков активной зоны по методике изложенной в настоящей главе.

5. При превалировании в комбинации ($N + T^r$) крутящих моментов и при наличии трещин в бетоне активной зоны жесткость на кручение со сжатием в упругопластическом состоянии должна определяться с учетом сложного напряженного состояния полос бетона активной зоны и сложного деформированного состояния продольной и поперечной арматуры в трещинах. Коэффициенты (модули) сдвиговых деформаций в общем случае должны вычисляться для отдельных участков активной зоны с учетом конкретного напряженно-деформированного состояния бетона и арматуры по методике изложенной в настоящей главе.

Список использованной литературы:

1. Ржаницын Л.Р. Строительная механика: учеб. [пособие для вузов] / Л.Р. Ржаницин.- М.: Высш. школа, 1982.- 400 с.
2. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики / П.А. Лукаш. - М.: Стройиздат, 1987. - 204 с.
3. Ильин О.Ф. К оценке прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям: [сборник трудов. / Под ред. Л.С. Залесова и др.] - М.:НИИЖБ Госстроя СССР, 1989. - 199с.
4. Елагин Е.Г. Сопротивление раскрытию трещин железобетонных стержней произвольного сечения при сложном деформировании, включающем кручение / Е.Г. Елагин – Известия ВУЗов. Строительство и архитектура.-1998. №6.-С. 8-9.
5. Городецкий А.С. Приложение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам строительной механики / А.С. Городецкий: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.17. - Киев, 1978. - 34 с.
6. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): учеб. пособие для студентов вузов / [Г.К. Клейн, Н.И. Леонтьев, М.Г. Ванющенко и др.] ; под ред. Г.К. Клейна. – [4-е изд., переаб. и доп.]. - М.: Высш.школа, 1980. - 384 с.

У статті розглянуті розрахункові схеми для визначення жорсткості залізобетонних елементів прямокутного перерізу при завантаженні комплексної навантаженням.

The article deals with calculation schemes for determining the stiffness of reinforced concrete elements with rectangular.

Дата надходження в редакцію: 20.05.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Симановський В.І.

УДК 624.046

ЗАВИСИМОСТЬ ПРИРАЩЕНИЙ КРИВИЗН В СЕЧЕНИЯХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ УСИЛИЙ

В.В. Душин, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
Н.В. Нагорный, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
А.Н. Чегринец, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Предложенные расчетные зависимости удобны для анализа процессов деформирования и разрушения статически неопределимых железобетонных балочных систем при переменном положении нагрузки и запроектных воздействиях, в случае возникновения динамических эффектов в элементах системы от этих воздействий. Определение напряженно-деформированного состояния различных сечений неразрезной балки можно производить с помощью метода сил в конечно элементной постановке, организовав нелинейный расчет системы методом итераций

Постановка задачи в общем виде. При определении приращений динамических кривизн в случае внезапных запроектных воздействиях в сечениях элементов балочных систем, будем использовать полученные в предыдущем параграфе выражение для определения предельного изгибающего момента (M_0). В развитие исследований [86] построим расчетные зависимости для определения приращений динамических кривизн в сечениях железобетонных балок при переменном положении нагрузки.

Общий вид диаграммы «М- α » для балочного элемента, с достаточной для практики точностью, может быть представлен зависимостью следующего вида:

$$M = 2\alpha \cdot k(1 - \alpha \cdot k / (2m \cdot M_0)) / m, \quad (1)$$

где M_0 — предельное значение момента;

$$k = \operatorname{tg} \varphi_0; m = \operatorname{tg} \varphi_0 / \operatorname{tg} \varphi$$

Найдем из выражения (1) значение α :

$$\alpha = m M_0 (1 - \sqrt{1 - (M/M_0)}) / k \quad (2)$$

Формулировка целей статьи. При внезапном разрушении j -го элемента в n - раз статически неопределимой балочной системе, допустим, произойдет выключение из работы опорного сечения над второй опорой неразрезной балки ($j=2$) или самой опоры ($j=2$) от действия эксплуатационной нагрузки, тогда в оставшихся неразрушенными элементах ($n-1$)-раз статически неопределимой балочной системы возникнет динамический эффект.