

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТИЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ СЕЧЕНИЙ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ковров А.В., Кушнир А.М. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)*

Приводится методика определения крутильной жесткости для прямоугольного бетонного сечения.

Актуальность исследований. Существует большое количество работ по исследованию изгибной жесткости бетонных и железобетонных элементов и весьма малое количество исследований крутильной жесткости таких элементов.

Цель работы – разработать методику определения крутильной жесткости сечений бетонных элементов на основе деформационной теории.

Основная часть. Согласно нормативным документам BS EN 1992, Eurocode 2, ДБН В.2.6-98:2009 и ДСТУ В.2.6-156:2011 [1], [2], [3] при сопротивлении сплошных железобетонных сечений кручению рекомендуется их моделировать эквивалентными тонкостенными элементами.

Поперечные сечения сложной формы, могут разделяться на несколько составляющих сечений, каждый из которых моделируется эквивалентным тонкостенным, а общее сопротивление кручению принимается как сумма сопротивлений отдельных элементов.

Распределение действующих крутящих моментов в отдельных составляющих сечениях должно осуществляться пропорционально их крутящим жесткостям без трещин.

В работе принимаются:

- при кручении замкнутых тонкостенных сечений, касательные напряжения равномерно распределены по толщине стенки [4].
- угловая деформация, возникающая в точке сечения прямо пропорциональна расстоянию от центра тяжести до точки;
- связь между касательными напряжениями и угловыми деформациями бетона в точке сечения описывается при помощи формулы:

$$\tau_{t,ib} = \frac{E_b \nu_b}{2(1 + \mu_b)} \gamma_b \quad (1)$$

где ν_b - коэффициенты изменения секущего модуля упругости при сдвиге определяемый в соответствии с методикой предложенной Н.И.Карпенко в работе [5].

Величины деформаций железобетонных прямоугольных сечений зависят в большей мере от жесткости бетонной части сечений.

Примем моделирование сопротивление кручению прямоугольного бетонного сечения сопротивлением совокупности эквивалентных замкнутых тонкостенных бетонных элементов.

Прямоугольное бетонное сечение условно разбиваем на n замкнутых тонкостенных элементов. На рис. 1 показан i -й замкнутый тонкостенный элемент, выделенный в поперечном сечении бетонного элемента.

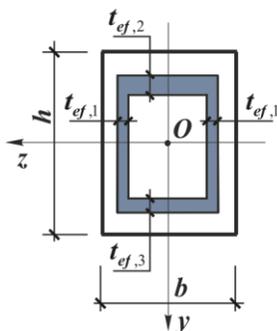


Рис. 1. Замкнутый тонкостенный элемент, выделенный в поперечном сечении бетонного элемента
O - центр тяжести бетонного сечения;
 $t_{ef,i}$ - толщины условных стенок.

Согласно [1], [3] напряжения сдвига в стенке сечения на который действует крутящий момент определяется выражением:

$$\tau_{t,i} t_{ef,i} = \frac{T_{ed,i}}{2A_{k,i}} \quad (2)$$

где $A_{k,i}$ - площадь, охватываемая осевой линией замкнутого тонкостенного сечения;

$t_{ef,i}$ - толщина стенки тонкостенного сечения;

$\tau_{t,i}$ - касательные напряжения;

$T_{ed,i}$ - крутящий момент.

Крутящий момент для замкнутого тонкостенного сечения можно представить в виде:

$$T_{ed,i} = 2t_i A_{k,i} \quad (3)$$

где t_i - поток касательных напряжений, который является постоянной величиной по контуру и определяется по формуле:

$$t_i = \tau_{t,i} t_{ef,i} \quad (4)$$

Относительный угол закручивания замкнутого тонкостенного стержня с неодинаковой толщиной стенки [3] определяется по формуле:

$$\theta = \frac{T_{ed}}{4GA_k^2} \oint \frac{ds}{t_{ef,i}} \quad (5)$$

После подстановки выражения (3) в выражение (5) с учетом (4) относительный угол закручивания можно записать в виде:

$$\theta = \frac{\tau_{t,i} t_{ef,i}}{2GA_k} \oint \frac{ds}{t_{ef,i}} \quad (6)$$

Касательные напряжения при кручении равны:

$$\tau_{t,i} = G\gamma_i \quad (7)$$

После подстановки выражения (7) в выражение (6) получим равенство:

$$\theta = \frac{\gamma_i t_{ef,i}}{2A_k} \oint \frac{ds}{t_{ef,i}} \quad (8)$$

В результате интегрирования по длине контура относительный угол закручивания для i -го замкнутого тонкостенного элемента можно записать в виде:

$$\theta = \frac{1}{2A_k} \sum_1^4 h_i \gamma_i \quad (9)$$

где h_i - длина прямолинейного участка контура.

Относительные углы закручивания всех замкнутых тонкостенных контуров бетонного сечения равны между собой.

Для исследования поперечных сечений бетонных элементов, подверженных кручению предлагается следующий алгоритм:

1. Исходными данными при определении жесткости для прямоугольного сечения бетонных элементов подверженных кручению являются:

- расчетная прочность бетона на сжатие R_b , на растяжение R_{bt} и на срез $R_{b,sh}$;
- начальный модуль упругости бетона E_b ;
- предельные угловые деформации сжатого и растянутого бетона γ_{bR} ;
- начальный модуль сдвига бетона G_b ;
- размеры сечения h и b ;

2. Разбивается поперечное сечение железобетонного элемента на n условных отдельных замкнутых тонкостенных элементов (рис.1).

3. Задается угловая деформация крайнего волокна поперечного сечения бетонного элемента подверженного кручению:

$$\gamma_b = \Delta \gamma_b \quad (10)$$

4. По принятым значениям угловых деформаций крайнего волокна, определяются угловые деформации для каждого тонкостенного замкнутого контура бетонного сечения.

5. По формуле (4) определяется поток касательных напряжений для каждого i -го контура.

6. После этого определяется крутящий момент, воспринимаемый каждым замкнутым контуром по формуле (3).

7. Крутящий момент, воспринимаемый всем сечением, определяется как сумму крутящих моментов воспринимаемых каждым замкнутым контуром:

$$T_{ed} = \sum T_{ed,bi} \quad (11)$$

8. Определяется относительный угол закручивания по формуле (9).

9. В дальнейшем увеличиваются угловые деформации крайнего волокна бетона по формуле:

$$\gamma_b^i = \gamma_b^{i-1} + \Delta\gamma \quad (12)$$

10. Расчет по пп. 4...9 повторяется до тех пор, пока угловые деформации крайнего волокна бетона не достигнут предельных значений.

11. Крутильная жесткость сплошного бетонного сечения определяется по формуле:

$$GI_p = \frac{T_{ed}}{\theta} \quad (13)$$

Вывод

Предложена методика определения крутильной жесткости бетонной части сечения элементов на основе деформационной теории.

Summary

The methods for determining the torsional stiffness for a rectangular concrete sections.

Литература

1. BS EN 1992, Eurocode 2: Design of concrete structures.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 71с.
3. ДСТУ В.2.6-156:2011 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування./ / Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 162с.
4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов: Изд. «Наукова думка» – Киев, 1988. – 734 с.
5. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.