

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.

Кольцевое сечение

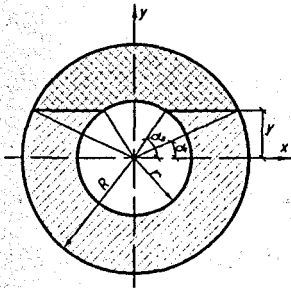


Рисунок 1

$$A = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi(R^2 - r^2); \quad I = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4);$$

$$dA_1 = b_1 dy_1 = b_1 R \cos \alpha_1 d\alpha_1; \quad dA_2 = b_2 dy_2 = b_2 r \cos \alpha_2 d\alpha_2;$$

$$b_1 = 2R \cos \alpha_1; \quad b_2 = 2(R \cos \alpha_1 - r \cos \alpha_2);$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{y}{R}; \quad \sin \alpha_2 = \frac{y}{r}; \quad \alpha_1 = \arcsin\left(\frac{r}{R} \sin \alpha_2\right);$$

$$S_{\text{омс.1}} = \frac{2}{3} R^3 \cdot \cos^3 \alpha_1;$$

$$S_{\text{омс.2}} = \frac{2}{3} \left(R^3 \cdot \cos^3 \left(\arcsin \left(\frac{r}{R} \sin \alpha_2 \right) \right) - r^3 \cos^3 \alpha_2 \right).$$

Подставив полученные выражения в (1), получим:

$$k = \frac{16}{9\pi} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^4\right] \left[1 + \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]} \left\{ \pi \left[\frac{5}{8} + \left(\frac{r}{R}\right)^2 - \frac{5}{4} \left(\frac{r}{R}\right)^4 - \frac{3}{8} \left(\frac{r}{R}\right)^6 \right] + \arcsin \frac{r}{R} \left[\frac{5}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2 - 2 \left(\frac{r}{R}\right)^4 - \frac{1}{2} \right] + \left[\frac{1}{16} + \left(\frac{r}{R}\right)^2 - \left(\frac{r}{R}\right)^4 \right] \cdot \sin \left(2 \arcsin \frac{r}{R} \right) + \frac{1}{8} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right] \cdot \sin \left(4 \arcsin \frac{r}{R} \right) - \frac{1}{48} \sin \left(6 \arcsin \frac{r}{R} \right) - \frac{2}{3} \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot \cos^3 \left(\arcsin \frac{r}{R} \right) \right\}. \quad (2)$$

При $r = 0$, т.е. если сечение – круг, то по этой формуле получаем для сплошного круглого сечения $k = 10/9 \approx 1,1111$. Для кольцевых сечений при $r/R = 0,1$ получаем $k = 1,1191$; при $r/R = 0,5$ получаем $k = 1,3176$; при $r/R = \sqrt{3}/2 = 0,866$ – $k = 1,486$; при $r/R = 0,95$ – $k = 1,498$, и при $r/R \rightarrow 1$ получаем, что коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе стремится к 1,5.

Круглое сечение со срезанными сегментами

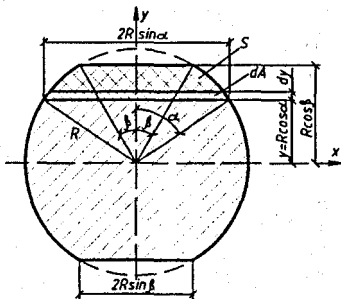


Рисунок 2

$$A = R^2 (\pi - 2(\beta - 0,5 \sin 2\beta)); \quad A_{\text{сеч}} = R^2 (\beta - 0,5 \sin 2\beta);$$

$$y_{\text{сеч}} = \frac{R \sin 2\beta (1 - \cos \beta)}{3(\beta - 0,5 \sin 2\beta)};$$

$$I = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{R^2 \sin^2 2\beta (1 - \cos \beta)^2}{9(\beta - 0,5 \sin 2\beta)^2} \cdot R^2 (\beta - 0,5 \sin 2\beta) =$$

$$= R^4 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2 \sin^2 2\beta (1 - \cos \beta)^2}{9(\beta - 0,5 \sin 2\beta)^2} \right);$$

$$b_y = 2R \sin \alpha; \quad y = R \cos \alpha; \quad dy = R \sin \alpha d\alpha;$$

$$dA = b_y dy = b_y R \sin \alpha d\alpha.$$

Подставив полученные выражения в (1), получим:

$$S_{\text{омс.}} = \frac{R^3 \sin 2\alpha (1 - \cos \alpha)}{3} - \frac{R^3 \sin 2\beta (1 - \cos \beta)}{3} = \frac{R^3}{3} (\sin 2\alpha (1 - \cos \alpha) - \sin 2\beta (1 - \cos \beta));$$

$$k = \frac{256}{9} \times \frac{(\pi - 2\beta + \sin 2\beta)}{(2\pi - 4\beta + \sin 4\beta)^2} \left[\frac{5(\pi - 2\beta)}{32} + \frac{15 \sin 2\beta}{64} - \frac{3 \sin 4\beta}{64} + \frac{\sin 6\beta}{192} - 2 \sin^3 \left(\cos \beta - \frac{\cos^3 \beta}{3} \right) + \frac{\sin^6 \beta (\pi - 2\beta)}{2} \right]. \quad (3)$$

При $\beta = 0$ получим круглое поперечное сечение и $k = 10/9$. При $\beta = \pi/6 - k = 1,132$.

Полое прямоугольное сечение

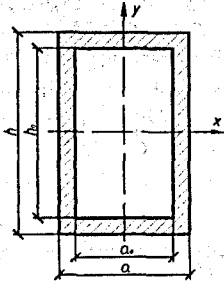


Рис. 3

$$A = ah - a_0 h_0; \quad I = \frac{ah^3}{12} - \frac{a_0 h_0^3}{12};$$

$$A_{омс.1} = a(h - y); \quad y_{c1}^{омс.} = \frac{h/2 + y}{2} = \frac{h + 2y}{4}; \quad b_{y1} = a;$$

$$S_{омс.1} = A_{омс.1} \cdot y_{c1}^{омс.} = a(h - y) \cdot \frac{h + 2y}{4};$$

$$A_{омс.2} = (a - a_0)(h_0 - y); \quad y_{c2}^{омс.} = \frac{h_0 + 2y}{4}; \quad b_{y2} = a - a_0;$$

$$S_{омс.2} = A_{омс.2} \cdot y_{c2}^{омс.} = (a - a_0)(h_0 - y) \cdot \frac{h_0 + 2y}{4}; \quad dA = b_y dy;$$

Подставляем эти выражения в (1) и получаем:

$$k = \frac{6 \left(1 - \frac{a_0 h_0}{ah}\right)}{5 \left(1 - \frac{a_0}{a}\right) \left(1 - \frac{a_0 h_0^3}{ah^3}\right)^2} \cdot \left\{ 1 - \frac{a_0}{a} \left[1 - \frac{1}{8} \left(\frac{15h_0}{h} - \frac{30h_0^3}{h^3} + \frac{7h_0^5}{h^5} + \frac{8a_0 h_0^5}{ah^5} \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

Данное выражение полностью совпадает с полученным для такого же сечения в [10].

Если принять $a_0 = 0$ и $h_0 = 0$, то будем иметь прямоугольное поперечное сечение и по выражению (6) получим $k = 6/5$.

Для $\frac{a_0}{a} = \frac{1}{4}$ и $\frac{h_0}{h} = \frac{1}{4}$ получим $k = 1,289$; для $\frac{a_0}{a} = \frac{1}{2}$ и $\frac{h_0}{h} = \frac{1}{2} - k = 1,548$, а для

$\frac{a_0}{a} = \frac{h_0}{h} = \frac{9}{10} - k = 1,9603$.

Двутавровое сечение, состоящее из прямоугольных полос

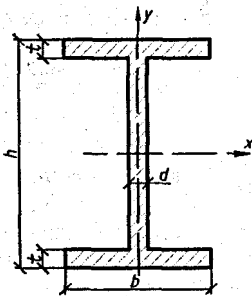


Рис. 4

$$A = 2tb + d(h - 2t) = 2tb \left(1 + \frac{d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right)\right);$$

$$I = \frac{bh^3}{12} - 2 \left[\frac{(b-d) \cdot (h-2t)^3}{12} \right] = \frac{bt^3 \left(\frac{h^3}{t^3} - \left(1 - \frac{d}{b}\right) \cdot \left(\frac{h}{t} - 2\right)^3 \right)}{12};$$

$$A_{омс.1} = b \left(\frac{h}{2} - y\right); \quad y_{c1}^{омс.} = \frac{h}{4} - \frac{y}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y\right); \quad b_{y1} = b; \quad b_{y2} = d;$$

$$S_{омс.1} = A_{омс.1} \cdot y_{c1}^{омс.} = \frac{1}{2} b \left(\frac{h}{2} - y\right)^2; \quad A_{омс.2} = bt + d \left(\frac{h}{2} - t - y\right);$$

$$S_{омс.2} = \frac{1}{2} \left(bt(h-t) + d \left(\frac{h}{2} - t - y\right) \left(\frac{h}{2} - t + y\right) \right); \quad dA = b_y dy.$$

Подставляя полученные выражения в (1), получим:

$$k = \frac{24 \left[1 + \frac{d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right) \right]}{5 \left[\frac{h^3}{t^3} - \left(1 - \frac{d}{b}\right) \left(\frac{h}{t} - 2\right)^3 \right]^2} \cdot \left[6 - \frac{h}{t} \left(15 - \frac{10h}{t}\right) + \frac{30b}{d} \left(\frac{h}{t} - 1\right)^2 \left(\frac{h}{2t} - 1\right) + 40 \left(\frac{h}{t} - 1\right) \left(\frac{h}{2t} - 1\right)^3 + \frac{16d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right)^5 \right]. \quad (5)$$

При $t = \frac{h}{2}$ будем иметь прямоугольное поперечное сечение, для которого получим $k = 6/5 = 1,2$.

Для $h = 20$ см, $b = 10$ см, $t = 0,84$ см и $d = 0,52$ см, что соответствует прокатному двутавру № 20, по выражению (5) получим $k = 2,573$. По формуле $k \approx \frac{A}{A_{om}}$ для этого же

двутавра будем иметь $k \approx \frac{26,8}{20 \cdot 0,52} \approx 2,576$. Аналогично, например, для прокатного двутавра № 40 получим $k \approx 2,18675$, для двутавра № 50 – $k \approx 2,00$. и т.д.

Заметим, что результаты вычисления коэффициента k по формуле (5) для двутаврового сечения и по формуле (4) для полого прямоугольного сечения при $h_0 = h - 2t$ и $a_0 = a - d$ полностью совпадают.

Тавровое сечение

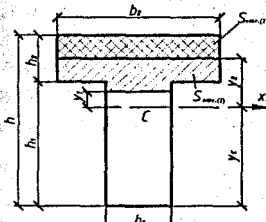


Рис.5

$$A = b_1 h_1 + b_2 h_2; \quad I = \frac{(b_1 h_1^2 - b_2 h_2^2)^2}{12A} + 4b_1 h_1 b_2 h_2 h^2;$$

$$y_C = \frac{h_1}{2} + \frac{b_2 h_2}{2} \frac{h_1}{A}; \quad b_{y1} = b_1; \quad b_{y2} = b_2;$$

$$S_{omc(1)} = b_2 h_2 \left[(h_1 - y_C) + \frac{h_2}{2} \right] + \frac{b_1}{2} \left[(h_1 - y_C)^2 - y_1^2 \right];$$

$$S_{omc(2)} = \frac{b_2}{2} \left[(h - y_C)^2 - y_2^2 \right].$$

Подставляя полученные выражения в (1), получаем:

$$k = 144 \frac{\left(1 + \frac{b_1 h_1}{b_2 h_2}\right)^3}{\left\{ \left[\frac{b_1}{b_2} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2 - 1 \right]^2 - \frac{b_1}{b_2} \frac{h_1}{h_2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)^2 \right\}^2} \cdot \left\{ \frac{b_2 h_1}{b_1 h_2} \left[\left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^2 + \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{h_1}{3h_2} \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2} + \frac{1}{2}\right) \right\} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right) \cdot \left(\frac{2h_1 - y_C}{h_2} - \frac{y_C^2}{h_2^2}\right) + \frac{b_1}{12b_2} \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^2 \times \left(\frac{h_1^2}{h_2^2} - \frac{3y_C^2}{h_2^2}\right) + \frac{b_1}{20b_2} \left[\left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^5 + \left(\frac{y_C}{h_2}\right)^5 \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4} \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^4 - \frac{1}{6} \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^2 \times \left[\left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^3 - \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^3 \right] + \frac{1}{20} \left[\left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^5 - \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^5 \right] \right\}. \quad (6)$$

При $b_1 = b_2$, а также при $b_1 = 0$, $h_1 = 0$ и при $b_2 = 0$, $h_2 = 0$, получаем прямоугольное сечение и $k = 1,2$. Для $b_1 = 2$ см, $h_1 = 7$ см; $b_2 = 8,75$ см, $h_2 = 2$ см коэффициент k получаем равным 1,83265, а для $b_1 = 1$ см, $h_1 = 12$ см; $b_2 = 4$ см, $h_2 = 6$ см – $k = 1,8$.

Заключение. Анализируя представленные выше результаты, можно утверждать, что, действительно, величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе для простых сечений зависит только от формы поперечных сечений, что отмечается во многих работах [2,4,11,12,14,15], и является для каждой из таких форм сечений постоянной величиной, равной: для прямоугольного и треугольного сечений – $k = 1,2$; для круглого сечения – $k = 10/9$; для полукруглого сечения – $k = 1,1617$; для правильного шести-угольного сечения – $k = 1,1097$; для ромбического сечения – $k = 31/30$; для трапециевидального сечения – $k \approx 1,2$.

Для сложных сечений, состоящих из нескольких простых фигур, таких как двутавровое, тавровое, полое прямоугольное, полое ромбическое, кольцевое, круглое со срезанными сегментами и т.п., величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе k зависит от соотношений размеров простых фигур, составляющих такие сечения.

В работе получены выражения для вычисления коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе для двутаврового (4), таврового (5), полую прямоугольного (3), круглого со срезанными сегментами (2) и кольцевого (1) сечения.

Заметим, что если для сложных сечений под сечениями определённой формы понимать такие, для которых при изменении размеров сечений остаются неизменными соотношения между размерами составляющих их простых фигур, а при изменении этих соотношений считать, что изменяется форма сечений, то можно говорить, что и для сложных сечений величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе зависит только от формы поперечных сечений. Для каждого из таких сечений определённой формы независимо от их размеров, величина коэффициента k будет константой, значение которой несложно определить по представленным выше выражениям, подставив в них соответствующие заданной форме сечения соотношения между размерами простых элементов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – Москва: Гостехиздат, 1965. – 856 с.
2. Бурчаков, Ю.И. Строительная механика / Ю.И. Бурчаков, В.Е. Гнедин, В.М. Денисов. – Москва: Высшая школа, 1983. – 255 с.
3. Дарков, А.В. Статика сооружений / А.В. Дарков, В.П. Кузнецов. – Москва: Трансжелдориздат, 1951. – 530 с.
4. Дарков, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Широ. – Москва: Высшая школа, 1969. – 734 с.
5. Долинский, Ф.В. Краткий курс сопротивления материалов / Ф.В. Долинский, М.Н. Михайлов. – Москва: Высшая школа, 1969. – 432 с.
6. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов / Г.М. Ицкович, А.И. Винокуров, Л.С. Минин. – Москва: Высшая школа, 1970. – 544 с.
7. Киселов, В.А. Строительная механика. Общий курс / А.В. Киселов. – Москва: Стройиздат, 1986. – 520 с.
8. Мухин, Н.В. Статика сооружений / Н.В. Мухин, А.Н. Першин, Б.А. Шишман. – Москва: Высшая школа, 1980. – 343 с.
9. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И.Н. Миролюбов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1985. – 399 с.
10. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И.Н. Миролюбов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1969. – 482 с.
11. Рабинович, И.М. Курс строительной механики стержневых систем: в 2 ч. – т. II: Статически неопределимые системы. – Москва: Госстройиздат, 1954. – 392 с.
12. Ржаницын, А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницын. – Москва: Высшая школа, 1991. – 438 с.
13. Рудицын, М.Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов / М.Н. Рудицын, П.Я. Артемов, М.И. Любошиц. – Минск: Высшая школа, 1970. – 628 с.

14. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем) / Под ред. Г.К. Клейна. – Москва: Высшая школа, 1980. – 318 с.
15. Снитко, Н.К. Строительная механика. – Москва: Высшая школа, 1980. – 431 с.
16. Сопротивление материалов / Под ред. Г.С. Пасаренко. – Киев: Вища шк., 1986. – 775 с.
17. Справочник проектировщика промышленных, жилых, общественных зданий и сооружений. Расчётно-теоретический: в 2 кн. / Под ред. А.А. Уманского – Москва: Стройиздат, 1977. – 415 с.
18. Строительная механика / Под ред. А.В. Даркова. – Москва: Высшая шк., 1976. – 600 с.
19. Строительная механика летательных аппаратов / Под ред. И.Ф. Образцова. – Москва: Машино-строение, 1986. – 536 с.
20. Тимко, И.А. Статика сооружений. – Харьков: Издательство Харьковского университета, 1969. – 372 с.
21. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов. – Москва: Наука, 1979. – 559 с.
22. Фесик, С. П. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Будівельник, 1982. – 280 с.
23. Шишман, Б.А. Статика сооружений / Б.А Шишман. – М.: Стройиздат, 1988. – 384 с.

УДК 727.113:721.011.12(476)

Кусова Ю.Л.

Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННО-КОММУНИКАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЙОНА ГОРОДА

Что объединяет группу архитектурных объектов в живой город? Мосты и путепроводы, которые горожане иногда не замечают. Если любой крупный современный город, такой как Брест, лишит действующих мостов и транспортных развязок, то он распадется на десятки труднодоступных сухопутных «островков».

Любой автомобилист подтвердит, что города задыхаются от транспортных проблем. Машин на улицах становится все больше, транспортные потоки – все плотнее, уличные пробки возникают все чаще. Если бездействовать, то вскоре мы столкнемся со всеми прелестями транспортных проблем, от которых страдают жители многих крупных городов-мегаполисов. Поэтому, например, в Минске поставлена задача в ближайшие годы построить как минимум восемнадцать современных многоуровневых общественно-коммуникационных центров, для десяти из которых уже существуют архитектурные решения.

Строительство общественно-коммуникационных центров вызвано необходимостью разгрузки центральной части городов, которые в настоящее время страдают от постоянных автомобильных пробок.

Перед началом проектирования должен быть представлен анализ исходного состояния окружающей среды: результаты химического анализа почв, измерение фоновых уровней шума, радиационное обследование, определение фоновых концентраций загрязняющих веществ в воздухе. Выполнены расчеты по загрязнению почвы свинцом, загрязнению атмосферного воздуха, расчет уровней шумового воздействия, количество транспорта в единицу времени на текущий момент и в перспективе развития города.