УДК 624.012.45

Азизов Т.Н., д.т.н., профессор (Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины, г. Умань), **Срибняк Н.Н. , ассистент** (Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы)

ПРОЧНОСТЬ ПРИ КРУЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ

Приводится методика расчета прочности железобетонных элементов с нормальными трещинами при действии крутящего момента. Показано, что при наличии только продольной арматуры прочность железобетонного элемента с нормальной трещиной существенно ниже прочности элемента без трещин.

A method over of calculation of durability of reinforced-concrete elements is brought with normal cracks at the action of twisting moment. It is rotined that at presence of only longitudinal armature durability of reinforced-concrete element with a normal crack substantially below than durability of element without cracks.

Анализ исследований и постановка задачи. Имеющиеся исследования, касающиеся прочности железобетонных элементов при действии крутящего момента [4,5], предполагают наличие пространственных (спиральных) трещин. Однако, на практике в ребрах плитно-ребристых система (перекрытия, мостовые сооружения) возникают только нормальные трещины в результате действия изгибающего момента. При действии локальных нагрузок в этих ребрах возникают кроме изгибающих еще и достаточно существенные крутящие моменты. В таком случае прочность железобетонного элемента с нормальными трещинами может быть недостаточной для восприятие крутящего момента, что может привести к потере несущей способности. В работах [1,2] приводится методика определения крутильной жесткости железобетонных элементов с нормальными трещинами. Прочность же таких элементов не рассматривалась.

В связи с вышесказанным **целью настоящей статьи** является разработка методики расчета прочности железобетонных элементов с нормальными трещинами при действии крутящего момента.

Изложение методики. Как было сказано выше, при расчете прочности железобетонных элементов при кручении предполагается только для случаев наличия спиральных пространственных трещин.

Экспериментальными исследованиями авторов [3] установлено, что прочность железобетонного элемента с нормальной трещиной при кручении существенно ниже прочности элемента без трещин, если элемент армирован только продольной арматурой. Ввиду отсутствия методов расчета элементов с нормальными трещинами на прочность при кручении ниже предлагается методика расчета таких элементов.

Рассмотрим схему усилий, действующих в нормальном сечении с трещиной при действии крутящего момента (рис. 1).

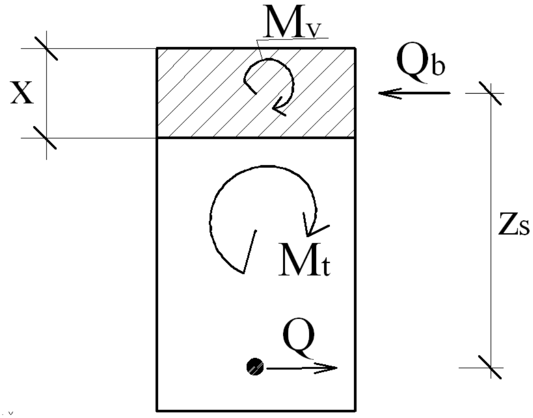

Рис. Схема усилий, действующих в нормальном сечении при кручении

На рисунке заштрихованная часть – сжатая от изгиба зона.

Внешний крутящий момент M_t воспринимается частично крутящим моментом M_v, действующим непосредственно в сжатой от изгиба зоне и моментом M_Q, воспринимаемым парой сил Q и Q_b от нагельной силы в арматуре. Из условия равновесия на горизонтальную ось (в направлении Q) вытекает естественная зависимость

$$Q_b = Q \tag{1}$$

Момент этой пары сил (рис. 4.5) равен:

$$M_Q = Q \cdot Z_s \tag{2}$$

Условие равновесия (кручения вокруг продольной оси элемента) записывается в виде:

$$M_t - M_Q = M_V \tag{3}$$

Т.е. момент M_v - это часть внешнего крутящего момента, воспринимаемого бетоном сжатой от изгиба зоны.

Величина M_Q определяется после вычисления нагельной силы Q по методике [1,2].

Схема разрушения может быть в двух вариантах:

1 вариант – разрушение от среза сжатой зоны бетона в результате действия силы Q_b (рисунок);

2 вариант – разрушение сжатой от изгиба зоны в результате действия крутящего момента M_V, воспринимаемого этим участком.

Первое условие запишется в виде:

$$Q_b = \frac{M_t}{Z_s} \leq R_{sh}, \tag{4}$$

где R_{sh} - расчетное сопротивление бетона срезу;

M_t - внешний крутящий момент;

Z_s - расстояние от центра тяжести арматуры до центра тяжести сжатой зоны бетона.

Расчет по формуле (4) идет в запас прочности, т.к. на самом деле пара сил $Q_b - Q$ воспринимает не весь внешний крутящий момент, а только его часть (см. формулу 3).

Второе условие прочности запишется в виде

$$M_V \leq [M_V], \tag{5}$$

где $[M_v]$ - предельный крутящий момент, воспринимаемый бетоном сжатой от изгиба зоны, т.е исключительно бетонного сечения с размерами $b \times h = b \times x$, т.е. ширина бетонного сечения равна ширине сечения балки, а его высота – высоте сжатой зоны бетона X.

Величину $[M_v]$ рекомендуется определять из условия ограничения максимальных растягивающих напряжений, определенных по известным формулам сопротивления материалов для прямоугольного сечения, например [6]:

$$\sigma_{mt} = \frac{M_V}{\alpha \cdot a^2 \cdot b} \leq R_{bt}, \tag{6}$$

где R_{bt} - прочность бетона при растяжении;

a и b - соответственно меньшая и бо́льшая сторона прямоугольного сечения;

α - коэффициент, зависящий от соотношения сторон a/b (или b/a) и определяемый по таблицам, приводимым во всех справочниках по сопротивлению материалов и теории упругости. Для того, чтобы не использовать таблицы при расчете на ЭВМ удобнее воспользоваться точным определением этого коэффициента по [7] (в [7] коэффициент α формулы (6) обозначен через K:

$$\alpha = K_1 / K\,, \tag{7}$$

где

$$K_1 = \frac{1}{3}\left(1 - \frac{192}{\pi^5}\cdot\frac{a}{b}\sum_{n=1,3,5}^{\infty}\frac{1}{n^5}th\frac{\pi\cdot n\cdot b}{2\cdot a}\right); \tag{8}$$

$$K = 1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1,3,5}^{\infty}\frac{1}{n^2\cdot ch\dfrac{\pi\cdot n\cdot b}{2\cdot a}} \tag{9}$$

В выражениях (8) и (9)через a и b обозначены в отличии от (6) половины соответственно короткой и длинной сторон прямоугольного сечения.

Ряды в выражениях (8) и (9) сходятся очень быстро. Достаточно 2-3 нечетных членов ряда для получения приемлемой точности.

Момент $[M_v]$, стоящий в левой части выражения (5) в запас прочности рекомендуется определять по (3) с максимальным значением M_v, т.е. минимальным значением M_Q. А минимальное значение M_Q получается при расчете по упругой стадии. Действительно, если при определении нагельной силы Q по методике [1,2] взять различные значения модуля деформаций бетона E_b, то бóльшая величина Q получится при меньшем значении E_b (соответственно G_b), т.к. внешний момент в выражении (3) является постоянной величиной.

Следовательно, мы установили, что расчет нагельной силы в упругой стадии идет в запас прочности.

Таким образом, учитывая (1) – (6), условия прочности железобетонного элемента прямоугольного сечения с нормальной трещиной на действие крутящего момента M_t окончательно запишется как меньшее из двух выражений:

$$M_t \le R_{sh} Z_s \tag{10}$$

$$M_t - Q\cdot Z_s \le R_{bt}\cdot\alpha\cdot X^2\cdot b \tag{11}$$

При этом Q определяется по методике [1,2] в упругой постановке;

$Z_s = h_0 - X/2$;

X - высота сжатой от изгиба зоны;

b - ширина сечения элемента;

α - коэффициент, определяемый по (7) с помощью (8) и (9) и зависящий от отношения X / b (высоты сжатой зоны к ширине сечения балки).

Расчеты по приведенной выше методике показывают, что прочность элемента с нормальной трещиной при кручении существенно меньше прочности элемента без трещин. Действительно, можно легко проверить, что величина M_t, определенная по (10) или (11) меньше величины, определенной по (6), если в последнюю подставить значения полной высоты и ширины сечения элемента.

Расчет по образованию нормальных трещин рекомендуется производить по известным методикам, включая нормативную. При этом определяется в том числе и высота сжатой зоны бетона. После определения высоты сжатой от изгиба зоны прочность элемента проверяется не только на действие изгибающего момента, но и на действие крутящего момента по вышеприведенной методике. Расчеты показывают, что проверка прочности при кручении элементов с нормальными трещинами обязательна при проектировании перекрытий с учетом пространственной работы.

Выводы и перспективы исследований. Предложен новый метод расчета прочности железобетонных элементов с нормальными трещинами при действии крутящего момента. Показано, что такой расчет должен обязательно проводиться для элементов в составе пространственно деформирующихся систем (мостовые сооружения, перекрытия).

В перспективе следовало бы разработать методику расчета прочности элементов с нормальными трещинами с учетом нелинейных свойств бетона сжатой зоны при кручении, т.к. нагельная сила в арматуре зависит от модуля деформаций бетона, а крутящий момент, воспринимаемый сжатой зоной, в свою очередь зависит от величины этой силы. Это позволило бы более экономично проектировать такие элементы.

1. Азизов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7.Том 1. - Київ: ДерждорНДІ, 2007. – С. 3-8. **2**. Азизов Т.Н., Срибняк Н.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 16.,ч.2. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – С. 8-17. **3.** Азізов Т.Н., Голодкова Н.М. Експериментальна методика визначення крутильної жорсткості елементів збірного залізобетонного перекриття з нормальними тріщинами // V-я международная научно-практическая Интернет-конференция «Состояние строительной науки-2007». **4.** Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М: Стройиздат, 1976. **5**. Карпенко Н.И. общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с. **6.** Коуэн Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне. – М.:Стройиздат, 1972. – 104 с. **7.** Тимошенко С.П. Теория упругости. – Л., М: Онти, 1934. – 451 с.