

КРУТИЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ТАВРОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ

Азизов Т.Н., Стадник В.И., (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса)

Наводиться опис методики визначення крутильної жорсткості залізобетонних елементів таврового перерізу за наявності в них нормальних тріщин. Показаний факт практичної відсутності методик визначення крутильних жорсткостей залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при тому, що їх жорсткості при згинанні приділена переважна кількість досліджень.

Постановка задачи и анализ исследований. Известно, что учет пространственной работы перекрытий обеспечивает существенную экономию материалов и значительно повышает точность определения усилий, действующих в их элементах [4-7]. Исследованиями автора настоящей статьи и других авторов [5,6] было показано, что эффект пространственной работы сборного перекрытия при действии локальных нагрузок в значительной степени зависит от крутильной жесткости его элементов.

Для расчета перекрытий с учетом пространственной работы требуется знание изгибной и крутильной жесткостей составляющих элементов как при наличии различного рода трещин, так и при их отсутствии. Существующие методики определения жесткости на кручение [8,9] касаются только железобетонных элементов с пространственными (спиральными) трещинами. В работе автора [2] предложена методика определения крутильной жесткости элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами. Определению крутильной жесткости элементов таврового сечения с нормальными трещинами не уделено внимания в литературе.

В связи с вышесказанным **целью настоящей статьи** является разработка методики определения НДС железобетонных элементов таврового сечения с нормальными трещинами при кручении.

Изложение основного материала. В работах [1-3] показано, что для определения жесткости элементов прямоугольного сечения при наличии нормальных трещин принимается схема, при которой арматура в трещине мысленно рассекается и из условия равенства перемещений слева и справа от рассечения определяется неизвестная нагельная сила. В такой схеме крутящий момент с одного блока к другому, отделенному нормальными трещинами передается через сжатую зону как показано на рис. 1.

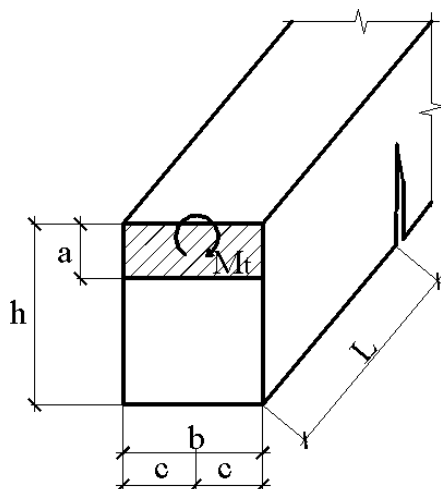


Рис. 1. Схема передачи крутящего момента через сжатую зону

Применим такой же подход для определения крутильной жесткости элемента таврового сечения. Рассмотрим тавровый элемент с полкой в сжатой от изгиба зоне (рис. 2).

Пусть в результате действия изгибающего момента образовалась нормальная трещина и высота сжатой зоны равна Z (рис. 2). Т.е. в общем случае сжатая зона может заходить в ребро элемента. После мысленного рассечения арматуры в трещине крутящий момент с одного блока на другой будет передаваться через сжатую от изгиба зону высотой Z .

Как и в случае прямоугольного сечения, основной проблемой будет определение перемещений верхней части блока относительно его нижней части. Для этого воспользуемся схемой определения таких перемещений, приведенной в [1-3] для прямоугольного сечения. Рассечем блок, отделенный нормальными трещинами горизонтальной плоскостью, параллельной продольной оси X элемента и по высоте сечения проходящей на уровне низа сжатой зоны (рис. 3).

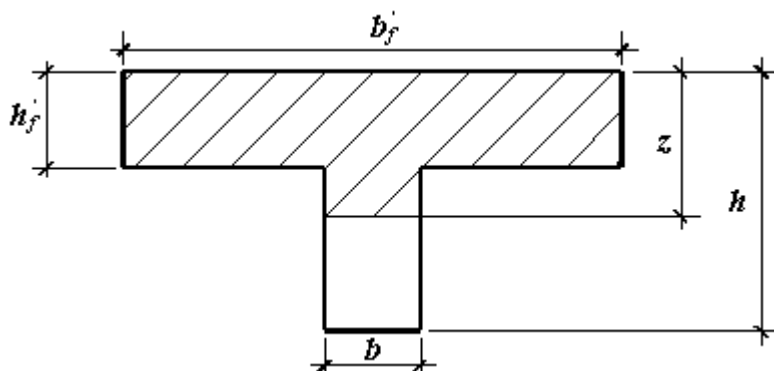


Рис. 2. Схема элемента таврового сечения

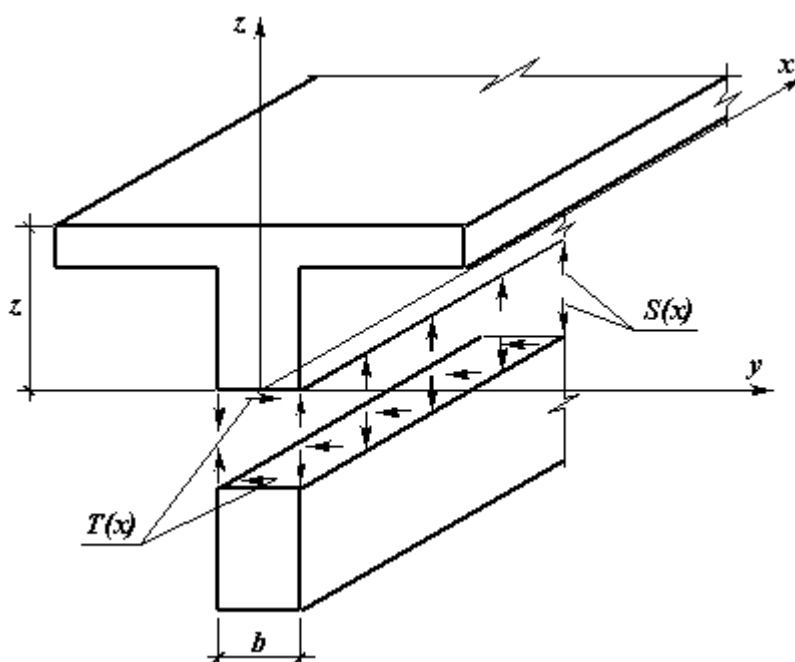


Рис. 3. Схема неизвестных внутренних усилий по плоскости рассечения таврового элемента

По плоскости рассечения будут действовать две неизвестные функции погонных внутренних усилий (см. рис. 3): нормальные к ребрам (вертикальные) $S(x)$; касательные вдоль пролета $T(x)$. Следует отметить, что в общем случае в сечении действуют и поперечные моменты $m(x)$, которые закручивают верхнюю и нижнюю отсеченные части балки, однако, как показывают расчеты по МКЭ ввиду малой толщины ребра эти моменты весьма малы и ими можно пренебречь.

Для определения внутренних усилий составляется система двух дифференциальных уравнений из

условия равенства сверху и снизу от сечения (с правой или с левой стороны, не имеет значения) следующих перемещений и их производных: горизонтальных перемещений (вдоль оси Y); вертикальных перемещений по оси Z. Эти уравнения составляются по аналогии с [1], но с учетом того, что усилия $T(x)$ и $S(x)$ действуют только на ширине b ребра тавра.

Для получения достаточно простого решения задачи неизвестные $T(x)$ и $S(x)$, а также внешний крутящий момент следует разложить в ряды Фурье по косинусам. При этом граничные условия будут удовлетворены автоматически.

После определения неизвестных внутренних усилий достаточно просто вычисляются углы поворота и перемещения верхней части относительно нижней (см. рис. 3) и по методике [1] определяется нагельная сила в продольной арматуре. Нагельная сила Q может быть определена на основе методик [1] и [2-3] из условия равенства перемещений точек C^I и C (см. рис. 4) по формуле:

$$Q = \frac{\Delta_{ver}^{M_i} - \Delta_{T,S}^{M_i}}{\Delta_{ver,ed}^Q + \Delta_{cel,ed}^Q - \Delta_{TS,ed}^Q + \Delta_{ob,ed} + \Delta_{sk,ed}} \quad (1)$$

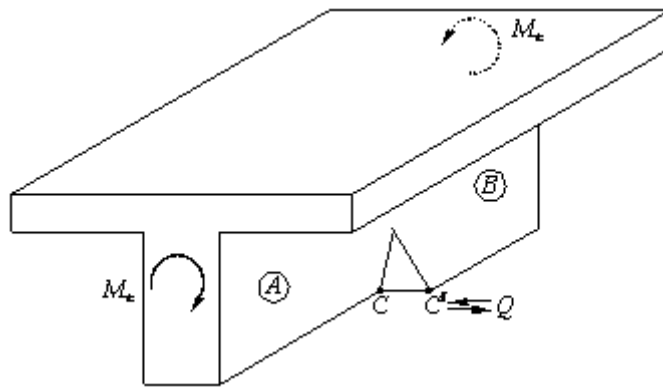


Рис. 4. Схема к определению нагельной силы в арматуре

В формуле (1) обозначено:

$\Delta_{ob,ed}; \Delta_{sk,ed}$ - перемещения от смятия бетона и сдвига арматуры от действия единичной силы $\bar{Q}=1$, определяемые как перемещения стержня, опирающегося на сплошное упругое основание [2];

$\Delta_{ver}^{M_i}$ - перемещение точки C от кручения верхней части, т.е. сжатой зоны внешним моментом M_i ;

$\Delta_{T,S}^{M_i}$ - перемещение точки C^I , т.е. нижней части, от действия внутренних сил $QS_i(x)$ и $T_i(x)$, возникающих в плоскости, проходящей на уровне низа сжатой зоны бетона, от кручения внешним моментом M_i ;

$\Delta_{ver,ed}^Q$ - перемещение точки C от кручения верхней части крутящим моментом, создаваемым единичной силой в арматуре;

$\Delta_{TS,ed}^Q$ - перемещение точки C^I , т.е. нижней части от действия внутренних сил $QS_i(x)$ и $T_i(x)$, возникающих в плоскости низа сжатой зоны от кручения единичной силой;

$\Delta_{cel,ed}^Q$ - перемещение точки C^I от кручения блока с полной высотой сечения в результате действия единичной силы. Следует отметить, что в действительности имеется не одна сила Q , а пара сил. Верхняя сила, направленная в сторону, противоположную от нагельной силы в арматуре и приложенная на уровне центра тяжести сжатой зоны вместе с рассматриваемой нагельной силой создает крутящий момент пары сил, где Z_s – плечо этой пары сил, равное расстоянию от центра тяжести арматуры до центра тяжести сжатой зоны бетона.

В виду симметрии схемы, показанной на рис. 4, общее взаимное перемещение берегов трещины будет складываться из перемещений как блока A , так и блока B . Поэтому перемещения блоков могут быть определены по схеме, показанной на рис. 5.

При этом длина каждого из блоков равна половине расстояния между трещинами. Т.е. условная заделка на рис. 5 находится в середине между двумя нормальными трещинами.

С учетом схемы по рис. 5 перемещения точек C и C' определяются по выражениям (против часовой стрелки – положительный знак):

$$\Delta C = \Delta_{T,S}^{Mt} - \Delta_{ver}^{Mt} - \Delta_{T,S}^Q + \Delta_{cel}^Q + \Delta_{ver}^Q + \Delta_{ob} + \Delta_{sk}$$

$$\Delta C' = -\Delta_{T,S}^{Mt} + \Delta_{ver}^{Mt} + \Delta_{T,S}^Q - \Delta_{cel}^Q - \Delta_{ver}^Q - \Delta_{ob} - \Delta_{sk} \quad (2)$$

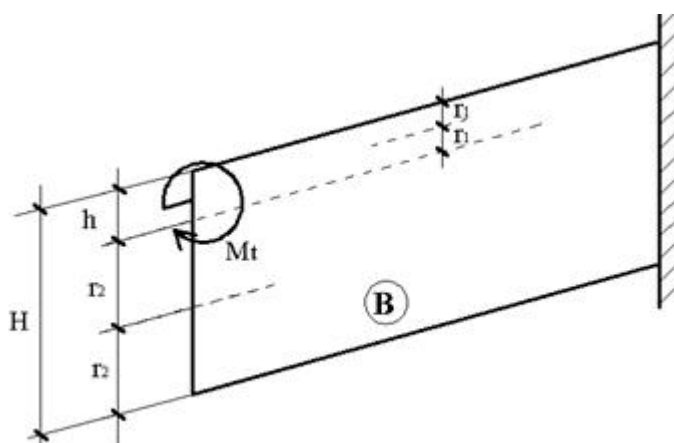


Рис. 5. Схема приложения момента к блоку B

При этом рассматривается сначала схема по рис. 5, затем кососимметричная этой схеме, т.е. когда с блока B передается крутящий момент на блок A .

В выражениях (2) приняты обозначения:

$\Delta_{T,S}^{Mt}$ - перемещения нижней точки консоли (на рис.5) от действия внешнего момента, который на уровне низа сжатой зоны создает внутренние усилия T и S (см. [1]);

Δ_{ver}^{Mt} - перемещения точки C от кручения верхней части консоли внешним моментом (условно, если считать блок A абсолютно жестким, то точка C переместится в результате закручивания верхней части блока B);

$\Delta_{T,S}^Q$ - то же, что и, $\Delta_{T,S}^{Mt}$ но от кручения парой сил, создаваемой нагельной силой Q ;

Δ_{ver}^Q - то же, что и, Δ_{ver}^{Mt} но от кручения парой сил, создаваемой нагельной силой Q ;

Δ_{cel}^Q - перемещение нижней точки консоли от кручения блока с полной высотой H (см. рис. 5) парой сил, создаваемой нагельной силой Q ;

Δ_{ob} и Δ_{sk} - перемещения от смятия бетона и сдвига арматуры в результате действия нагельной силы.

Приравнивая перемещения точек C и C^I по (2), придавая единичное значение нагельной силе и приведя подобные, получим приведенную выше формулу (1) для определения неизвестной нагельной силы.

После вычисления неизвестной величины Q можно определить реальное перемещение в трещине a_{tot} , которое будет равно удвоенной сумме перемещений от смятия бетона и сдвига арматуры:

$$a_{tot} = 2(\Delta_{\sigma\delta} + \Delta_{sk}) \quad (3)$$

Здесь перемещения умножаются на 2, т.к. обмятие арматуры происходит как в блоке слева, так и в блоке справа от трещины. При разных длинах блоков принцип определения нагельной силы и перемещений в трещине не изменяется.

Для определения крутильной жесткости элемента с нормальной трещиной следует определить угол поворота условно сплошного (без трещин) элемента:

$$\varphi_{ekw} = \frac{a_{tot}}{h/2} \quad (4)$$

Отношение угла поворота сплошного элемента без трещин к эквивалентному, определяемому по (2), дает нам отношение жесткости сплошного элемента к жесткости элемента с нормальной трещиной.

Выводы и перспективы исследований

В статье предложена методика определения крутильной жесткости железобетонных элементов таврового сечения при наличии в них нормальных трещин. Методика расчета позволяет определять крутильную жесткость без применения программных комплексов с использованием объемных конечных элементов.

В перспективе следует провести экспериментальные исследования жесткости балок таврового сечения после образования в них трещин, с целью проверки предложенной методики определения их крутильной жесткости, а также с целью проверки их прочности при действии кручения.

Литература

1. Азизов Т.Н. Общий подход к определению крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 17., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – С. 92-99.
2. 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.
3. Азизов Т.Н., Срибняк Н.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами
4. Айвазов Р.Л. Сборное панельное перекрытие, опёртое по контуру: Сб.тр. МИСИ. – М., 1971. – Вып. 90. – Пространственная работа железобетонных конструкций.
5. Байков В.Н. Исследование совместной работы сборных железобетонных элементов в системах плоских и пространственных конструкций: Дис ... докт. техн. наук. – М., 1967.
6. Верещага А.И. Напряженно-деформированное состояние и прочность сборных железобетонных перекрытий. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Сумский национальный аграрный ун-т. – Сумы, 2002. – 248 с.
7. Горнов В.Н. Исследование прочности и жесткости промышленных конструкций жилых домов. – М.: Госстройиздат, 1954. – 240 с.
8. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
9. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.