

**РАСЧЕТ НАГЕЛЬНОЙ СИЛЫ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
АРМАТУРНЫХ КАРКАСАХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ
ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОТ КРУЧЕНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ**

*Азизов Т.Н., Парамонов Д.Ю. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры)*

В статье представлены предложения по расчету нагельной силы, возникающей в пространственных арматурных каркасах железобетонных элементов при кручении. Определение данного усилия используется для построения зависимостей деформирования от кручения элементов с нормальными трещинами, на основе которых устанавливается крутильная жесткость.

Постановка задачи и анализ исследований.

В конструкциях перекрытий основным силовым воздействием является изгибающий момент, от действия которого, при изгибе, образуются нормальные трещины в элементах. В случае неравномерного характера нагружения диска перекрытия, при выполнении расчетов с учетом пространственной его работы необходимо принимать во внимание появление вторичного силового фактора – крутящего момента [1]. Трещинообразование оказывает значительное влияние на изменение крутильных и изгибных жесткостей, учет которого необходим для повышения достоверности проектирования.

Теория расчета крутильной жесткости с учетом наличия нормальных трещин находится на начальной стадии [2 – 5, 7 – 9], поэтому в ее построении используется ряд упрощений. Так, в приведенных работах, предложено рассчитывать крутильную жесткость только для элементов, армированных одиночным арматурным стержнем, располагающимся в растянутой зоне элемента на его вертикальной оси.

Определение перемещений от кручения с помощью аппроксимационных формульных зависимостей [2, 4, 7] является наиболее перспективным направлением расчета крутильной жесткости железобетонных элементов с нормальными трещинами. Эту методику достаточно просто распространить на элементы, имеющие поперечные сечения отличные от прямоугольного, и выполнять расчеты балок с наклонными трещинами.

Конструкции, подверженные изгибу с кручением, армируют пространственными каркасами. Развитие методики определения их крутильной жесткости является необходимым для практических расчетов перекрытий и мостовых сооружений с учетом их пространственной работы. Составной частью таких расчетов является нахождение нагельной силы, возникающей от кручения.

Цель статьи - определить подход в определении нагельной силы в пространственных арматурных каркасах элементов, подверженных кручению.

Изложение основного материала.

В расчетном железобетонном элементе с нормальной (от изгиба) трещиной при действии кручения возникает перемещение в трещине, которое определяется уравнением:

$$\Delta_{кр} = \Delta_{Mt} - \Delta_Q \quad (1)$$

где Δ_{Mt} - перемещение от действия крутящего момента при условии отсутствия сопротивления арматуры повороту сечения в трещине; Δ_Q - перемещения от действия нагельной силы.

По методике [9], для нахождения перемещения от нагельной силы Q необходимо определить перемещение в трещине от действия единичной нагельной силы $\bar{Q} = 1 \text{ кН}$, приложенной в центре тяжести арматуры и направленной в сторону, противоположную перемещению от кручения.

Значение нагельной силы Q описывается уравнением, полученным из зависимости равенства деформаций:

$$Q = \frac{\Delta_{Mt}}{\Delta_Q + \Delta_{sm}} \quad (2)$$

где Δ_{sm} - перемещения от смятия бетона арматурой от единичной нагельной силы \bar{Q}

Рассмотрим бетонное сечение элемента в месте нормальной трещины (рис. 1).

Крутящий момент Mt приложен в центре кручения O и передается с блока на блок через зону бетона над нормальной трещиной (a). В общем случае армирования одиночным стержнем (I), расположенным на одной вертикальной оси с центром кручения O , нагельная сила Q направлена перпендикулярно к вертикальной оси.

Вектор действия нагельной силы Q в арматуре от кручения обусловлен траекторией вращения сечения (2), всегда будет иметь направление по касательной к траектории вращения и образовывать перпендикуляр с радиусом вращения, проведенным из центра кручения (O) к центру тяжести арматуры.

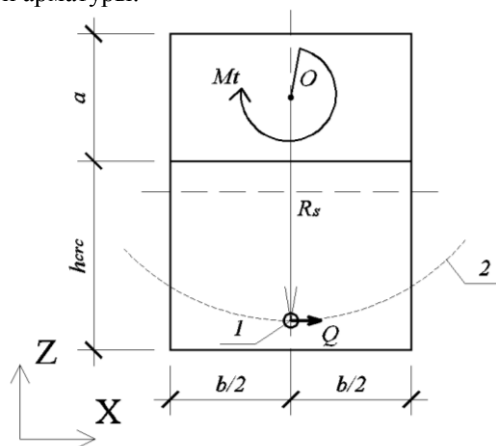


Рис. 1. Схема сечения балки в месте нормальной трещины для определения нагельной силы в случае расположения центра вращения на геометрической вертикальной оси балки

Сложное напряженно-деформированное состояние балки, перераспределение усилий, возникающее в процессе деформирования, может привести к смещению центра вращения балки. Отклонение центра вращения от вертикальной геометрической оси приведет к возникновению новой траектории вращения, соответственно направление нагельной силы Q поменяется. Оно будет состоять из горизонтальных и вертикальных проекций Q_x и Q_z соответственно (рис. 2). Для определения составляющих проекций нагельной силы необходимо найти центр вращения сечения, то есть геометрическое положение точки O .

В связи со сложным НДС сечения для того, чтобы определить центр вращения сечения нужно знать фактическое распределение напряжений по сечению, а также учитывать геометрические характеристики балки с учетом трещин. Чтобы облегчить подход к определению центра вращения в сечении балки найдем его из деформированной схемы.

Для этого рассмотрим сечение балки с действующим в нем крутящим моментом M_t и вызванным вследствие этого перемещением крайних нижних точек сечения в месте нормальной трещины (рис. 3).

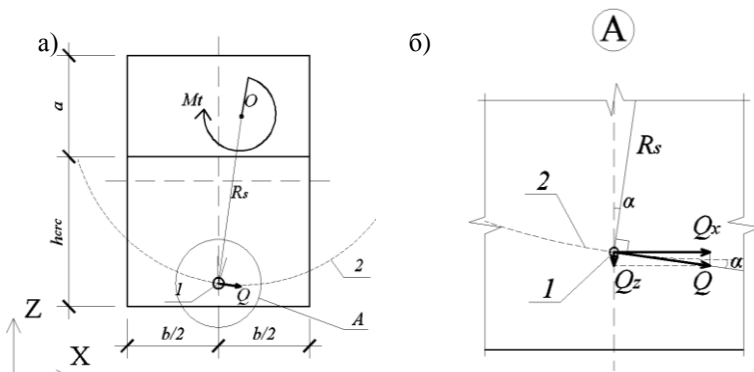


Рис. 2. Схема сечения балки в месте нормальной трещины для определения нагельной силы в случае смещения центра вращения с геометрической вертикальной оси: а) общая схема сечения; б) узел с нагельным усилием в арматуре

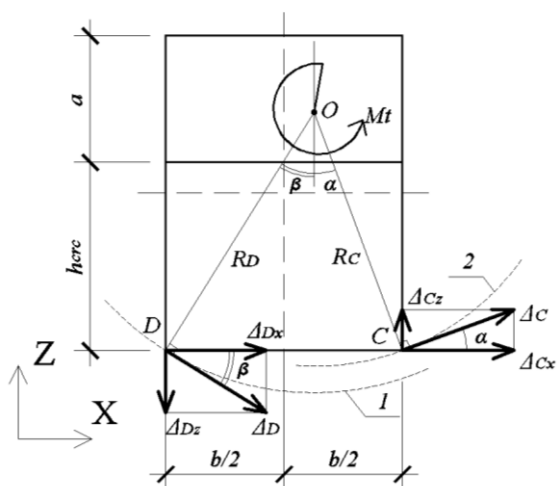


Рис. 3. Схема определения центра вращения балки

Направление вектора перемещения будет проходить по касательной к траектории вращения сечения. А расположение центра вращения будет совпадать с прямой перпендикулярной направлению вектора перемещения в точке D и C . Пересечения этих направляющих определит положение центра вращения сечения балки – точку O .

Причем возможны, пять случаев размещения центров вращения баки и, как следствие, возникновение направлений нагельной силы (рис. 4):

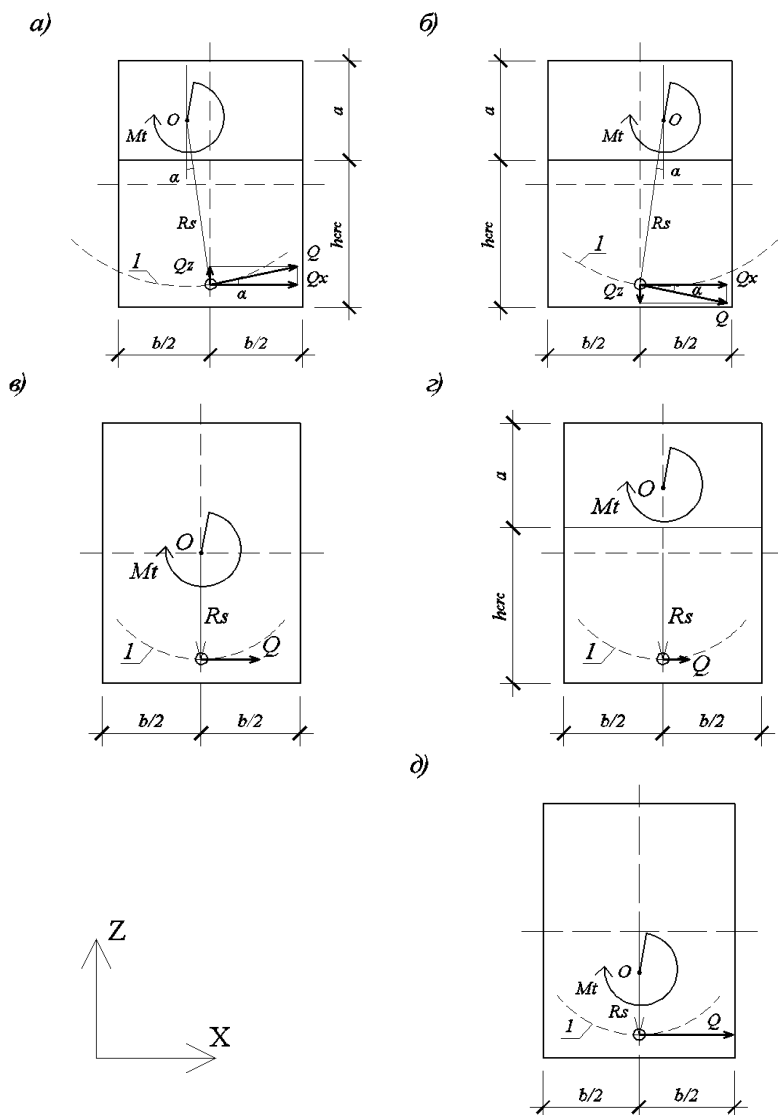


Рис. 4. Схемы возможных размещений центров вращения сечения O и направлений действия нагельной силы Q

1) левее от вертикальной центральной оси, тогда арматура будет иметь две положительно направленных составляющих нагельной силы Q_x и Q_z (рис. 4 а);

2) правее от вертикальной центральной оси. При этом арматура будет иметь одну положительно направленную составляющую нагельной силы Q_x и отрицательную Q_z (рис. 4, б);

3) на вертикальной центральной оси. Когда центр вращения O совпадает с пересечением геометрических осей арматура будет иметь одну положительно направленную составляющую нагельной силы $Q_x=Q$ (рис. 4 в);

4) на вертикальной центральной оси. При смещении центра тяжести от горизонтальной оси вверх, тогда арматура будет иметь одну положительно направленную составляющую нагельной силы $Q_x=Q$. Но чем большее будет смещение точки O к верхней грани балки, тем больше будет плечо вращения, а, следовательно, и меньше величина нагельной силы Q (рис. 4 г);

5) на вертикальной центральной оси. В случае смещения центра тяжести от горизонтальной оси вниз арматура будет иметь одну положительно направленную составляющую нагельной силы $Q_x=Q$. Но чем большее будет смещение точки O к нижней грани балки, тем меньше будет плечо вращения, а, следовательно, и больше величина нагельной силы Q (рис. 4 д).

Таким образом, чтобы установить направление и величину нагельной силы в арматуре в общем случае деформирования, когда центр вращения сечения может не совпадать с направлением геометрических осей балки, необходимо провести ряд вычислений. Во-первых, нужно из деформированной схемы найти центр вращения балки O ; во-вторых, в соответствии с расположением точки центра вращения, установить величину и направление нагельной силы.

Учитывая вышесказанное, для нахождения центра вращения сечения балки с трещиной из деформированной схемы (рис. 3), необходимо подобрать формулы перемещений угловых точек сечения D и C по направлениям X и Z . Это лучше всего сделать путем эмпирического подхода в выводе соответствующих формул, описывающих перемещения, как проделано в [7]. Далее, имея направления перемещений, путем геометрических преобразований можем найти координаты центра вращения – точку O (ΔO_x , ΔO_z). Вычислив координаты центра вращения и зная расположение арматурного стержня, мы теперь легко можем отыскать направление действия нагельной силы в арматуре (рис. 5).

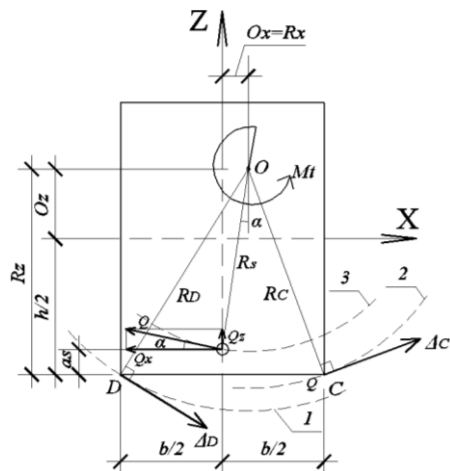


Рис. 5. Схема определения направления действия нагельной силы в арматуре: 1, 2, 3 – траектории перемещения точек сечения

Нагельная сила будет действовать по касательной к траектории вращения, и образовывать перпендикуляр к радиусу R_s . Отклонение прямой, соединяющей центр вращения O и центр тяжести арматуры, от вертикали образует угол α . Этот же угол соответствует наклону нагельной силы в арматуре от горизонтальной плоскости. Найти угол α можно путем геометрических преобразований, по рисунку 5:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{R_x}{R_z} \right) \quad (3)$$

где: $R_x = \Delta O_x$; $R_z = \Delta O_z + h/2 - a_s$

Чтобы найти направления составляющих проекций нагельной силы Q_x и Q_z достаточно определить с местом размещения арматуры относительно центра вращения сечения по одному из возможных пяти случаев (рис. 4). Для нахождения их значений воспользуемся формулами:

$$\begin{aligned} Q_x &= Q \cos \alpha \\ Q_z &= Q \sin \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

Выводы и перспективы исследований.

Принятый в статье подход в определении нагельной силы является универсальным и перспективным для распространения его на железобетонные элементы, армированные пространственными каркасами.

Предложенные решения по определению центра кручения и нагельной силы в арматуре в перспективе позволяют использовать их для составления аппроксимационных зависимостей при нахождении крутильной жесткости элементов, армированных пространственными каркасами.

Summary

The article presents suggestions for the calculation of nag force produced by the reinforcement of spatial frames of reinforced concrete elements of rectangular cross section under torsion. Determination of the effort used to build dependencies of deformation of the torsion elements of normal cracks, which is established on the basis of torsional rigidity.

1. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий / Азизов Т.Н. – К.: Науковий світ, 2001. – 276 с. 2. Азизов Т.Н. Использование аппроксимационных конечных элементов в расчетах конструкций. / Т.Н. Азизов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 39 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 10-16. 3. Азизов, Т.Н. К расчету железобетонных элементов полого сечения с нормальными трещинами при кручении / Т.Н. Азизов, О.В. Мельник, О.С. Мельник // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Вип. 33. – Д.: ДНУЗТ, 2010. – С. 10-14. 4. Азизов Т.Н. Аппроксимационный метод определения жесткости железобетонных элементов с трещинами при кручении. / Т.Н. Азизов, Д.Ю. Парамонов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – О.: Зовнішрекламсервіс, 2010. – Вип.40. –С.3-9. 5. Азизов Т.Н., Стадник В.И. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 4-11. 6. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с. 7. Парамонов Д.Ю. Метод аппроксимирования конечно-элементных моделей при построении зависимостей деформирования от кручения элементов с нормальными трещинами. / Д.Ю. Парамонов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – О.: Зовнішрекламсервіс, 2011. – Вип. 44. – С. 248-257. 8. Срібняк Н.М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами // Автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.23.01. Одеса, 2009. – 23. 9. Azizov T.N. Effect of torsional rigidity of concrete elements with normal cracks onto special work of bridges and floorings. / T.N. Azizov // International Science Ukrainian Edition. Volume 3. USA – December, 2010. – P.55-59.