

## **ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ ПРИ КРУЧЕНИИ**

*Азизов Т.Н. (Уманский государственный педагогический университет  
имени Павла Тычины, г. Умань)*

*Срибняк Н.Н., Цыганенко Л.А. (Сумский национальный аграрный  
университет, г. Сумы)*

**В статье приводятся данные испытания балок прямоугольного сечения с искусственными нормальными трещинами, подверженных действию крутящего момента. Проанализировано влияние продольной арматуры и высоты сжатой зоны на работу балок с трещинами при кручении.**

**Анализ публикаций и постановка задачи.** Расчетом прочности железобетонных элементов, подверженных кручению и изгибу с кручением в разное время занималось множество авторов [1-11]. В.К Юдин, анализируя испытания на изгиб с кручением серии балок прямоугольного сечения, имеющих слабую поперечную арматуру, отмечал, что разрушение таких балок наступало весьма быстро после первой трещины из-за появления текучести в хомутах. Характер разрушения таких балок напоминал характер разрушения балок без хомутов. Испытания таких балок показали, что с уменьшением сечения продольной растянутой арматуры в два раза несущая способность скручиваемой балки уменьшается примерно на 20-30%, тогда как уменьшение сечения хомутов во столько же раз снижает несущую способность на 60% и более [11]. Таким образом, повышение несущей способности скручиваемых балок следует делать за счет увеличения относительного содержания в бетоне поперечной арматуры, а не продольной [10].

Г.Дж.Коун [5] отмечал, что наличие в балках только продольной арматуры в сравнении с неармированными балками незначительно увеличивает прочности сечения при кручении. Рост общего сопротивления кручению объясняется замещением некоторой части площади сечения арматуры, равновеликой площадью сечения арматуры, которая имеет значительно больший модуль сдвига, чем бетон. Предполагается, что продольная арматура мало влияет на работу балки при кручении в упругой стадии [5].

Результаты испытания балок, имеющих слабую поперечную

арматуру, подтвердили правильность утверждения шведского профессора Нилендера и других авторов о том, что до появления первой трещины железобетонные скручиваемые балки работают так же, как бетонные, а после появления трещин их несущая способность в основном зависит от насыщения бетона поперечной арматурой [10].

Таким образом, можно сделать вывод, что в упругой стадии работы балки на кручение, когда нормальные трещины отсутствуют, продольная арматура мало влияет на ее прочность.

Вопрос о том, как изменится прочность балки при кручении при наличии нормальных трещин, и как на нее влияет продольная арматура, остается малоизученным.

Выявлено [2], что наличие отверстий в балках при изгибе с кручением оказывает заметное влияние на деформативность опытных образцов. С увеличением высоты и длины отверстия возрастает и деформативность балок прямоугольного сечения со сквозными отверстиями. Наиболее ярко это выражено в балках с высотой отверстия  $0,25h_0$ .

В [11] в ходе экспериментального исследования на изгиб с кручением балок, имеющих искусственные поперечные трещины, были сделаны следующие выводы. Работа балок с искусственными трещинами протекала так же, как и балок, не имевших искусственных трещин, а величины прогибов и углов поворота некоторых балок с трещинами оказались даже меньшими, чем балок без трещин. Появление косых трещин в балках с искусственными поперечными трещинами происходило при нагрузках, в среднем на 20% больших, чем в балках без искусственных трещин, а разница в величинах разрушающих нагрузок в пользу балок с искусственными трещинами колеблется от 10 до 80%. Автор [11] предполагает, что искусственные поперечные трещины, упорядочивая развитие трещин по длине балок, благотворно влияют на их несущую способность. Однако, увеличение жесткости балок с поперечными трещинами по сравнению с балками без трещин по работе [11] вступает в противоречие с обратным утверждением в работе [2], а также с теоретическими исследованиями.

Следует отметить, что вышеуказанные экспериментальные балки имели верхнюю и нижнюю продольную арматуру, поперечные хомуты и были подвержены одновременно действию изгибающего и крутящего моментов. На практике, однако, часто встречаются случаи, когда железобетонный элемент имеет одиночное армирование и в нем присутствуют только нормальные трещины. К таким элементам относятся ребра плит перекрытий. В пространственно деформирующемся диске перекрытия эти элементы испытывают не

только изгибающие, но и крутящие моменты.

В связи с вышесказанным **целью** настоящей статьи является экспериментальное исследование влияния нормальных трещин на несущую способность балок, армированных только продольной арматурой, при кручении.

### Изложение основного материала.

На базе лаборатории Сумского завода железобетонных конструкций были испытаны железобетонные балки прямоугольного сечения с нормальными, искусственно созданными щелями, имитирующими трещины. Целью эксперимента было определение как жесткостных параметров образцов, так и анализ их прочностных характеристик.

Были изготовлены образцы-балки размерами  $1000 \times 220 \times 120$  мм (рис.1).

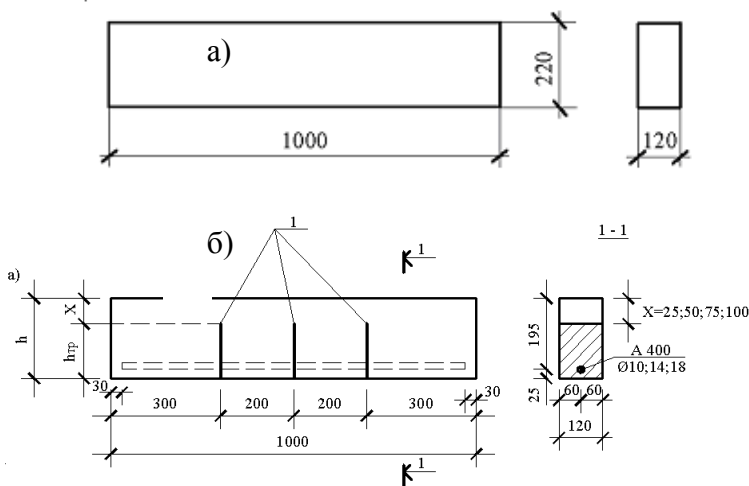


Рис. 1 Экспериментальная балка  
а) геометрические характеристики; б) разбивка экспериментального образца нормальными трещинами на отдельные блоки; схема армирования образцов; 1- вставка из ДВП

Всего было изготовлено 15 балок пяти типов, с одиночным продольным стержнем из арматуры периодического профиля диаметром 10, 14 и 18 мм. Поперечная арматура отсутствовала.

Классификация балок по типам производилась в зависимости от высоты зоны без трещин, а по подтипам – в зависимости от диаметра

арматуры. Балки пятого типа были изготовлены без искусственных трещин (см. табл. 1).

Таблица 1

Маркировка экспериментальных балок

Высота зоны без трещин $x$ , мм	Диаметр арматуры $d_s$ , мм	Марка балки
25	10	Б 1-1
25	14	Б 1-2
25	18	Б 1-3
50	10	Б 2-1
50	14	Б 2-2
50	18	Б 2-3
75	10	Б 3-1
75	14	Б 3-2
75	18	Б 3-3
100	10	Б 4-1
100	14	Б 4-2
100	18	Б 4-3
без трещин	10	Б 5-1
без трещин	14	Б 5-2
без трещин	18	Б 5-3

Общий вид экспериментальной установки с образцом показан на рис. 2.

Нагружение образцов производилось этапами, с выдержкой под нагрузкой в течение 10 минут. Для нагружения использовались штучные металлические грузы, заранее взвешенные и замаркированные, которые укладывались на металлический поддон таким образом, чтобы на каждом этапе выдерживалась примерно одна и та же вертикальная нагрузка.

Испытание на осевое сжатие шести кубиков размером 100x100x100 мм, выполненных из одного бетонного замеса с образцами, показало, что прочность бетона составляет 30,7 МПа, что примерно соответствует классу бетона В30.

Механические характеристики арматуры приняты по усредненным данным испытания двух образцов одного диаметра (табл.2).



Рис. 2 Общий вид экспериментальной установки

Таблица 2

Механические характеристики арматуры образцов

Диаметр и площадь, мм, мм <sup>2</sup>	Граница текучести, МПа	Нагрузка, предшествующая текучести, кН	Нагрузка, предшествующая разрушению, кН	Относительное удлинение, %
Ø10 78,54	585,7	46	51,2	14
	603,5	47,4	64,8	15
	<b>594,6</b>	<b>46,7</b>	<b>58</b>	<b>14,5</b>
Ø 14 153,94	558,7	86	99	17
	563,9	86,8	102	19
	<b>561,3</b>	<b>86,4</b>	<b>100,5</b>	<b>18</b>
Ø 18 254,47	605,2	154	189	19
	613,0	156	183	22
	<b>609,1</b>	<b>155</b>	<b>186</b>	<b>20,5</b>

**Результаты эксперимента.**

В двух балках пятого типа (Б 5-1 и Б 5-3) трещины кручения не возникли, так как горизонтальное положение образца в установке было

нарушено из-за скалывания угла в опорном коробе, к которому прикладывалась на расстоянии  $L$  вертикальная нагрузка, создавая таким образом крутящий момент. В балке Б 5-2, без искусственных трещин, возникла наклонная пространственная трещина кручения под углом около  $45^\circ$ .

Характер разрушения всех образцов был хрупким, в преобладающем большинстве случаев – мгновенным, в некоторых случаях развитие и раскрытие трещины происходило в течение 0,5-1 минуты. В процессе нагружения, вплоть до последней ступени, появление каких либо наклонных трещин на гранях балки не наблюдалось, хотя индикаторы часового типа, установленные на двух крайних блоках и фиксировавшие перемещения двух средних блоков, отделенных трещинами, показывали значительные приросты деформаций в течение последних этапов выдержки под нагрузкой.

Следует отметить, что во всех случаях, трещина кручения начинала развиваться на боковой грани на участке без трещин под углом в  $45^\circ$  от верхнего конца одной из трех искусственных нормальных трещин - в семи случаях из двенадцати - от первой искусственной трещины, ближней к краю балки, к которому прикладывался крутящий момент. Это свидетельствует лишь о том, что трещины развивались в наиболее ослабленных сечениях, так как значение крутящего момента по всему сечению одинаково.

Во всех случаях трещины кручения возникали мгновенно на боковой грани балки, ближней к поперечной силе, вызывающей крутящий момент. Трещина стремительно распространялась по верхней грани, переходя на боковую, дальнюю от поперечной силы. Трещина развивалась по линии, образуя пространственное наклонное сечение (рис. 3).

Таким образом, разрушение балки происходило от появившейся в сжатой зоне пространственной трещины кручения при значении крутящего момента, равном предельному.

Общий вид части испытанных образцов приведен на рис. 4.

Значения разрушающего крутящего момента, полученные для балок в результате эксперимента, свидетельствуют о пропорциональной зависимости величины предельного момента от диаметра арматуры (табл.3).

Из таблицы 3 можно также видеть, что прочность испытанных образцов зависит от высоты зоны балок без трещин. Т.е. чем больше сжатая зона балки (через которую передается крутящий момент от одного блока к другому), тем больше прочность балки на кручение.

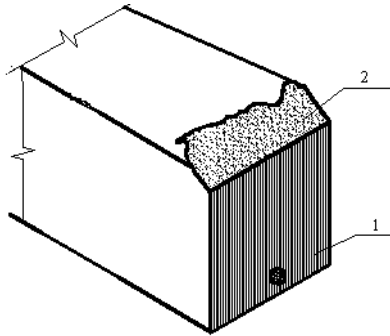


Рис.3 Схема разрушения балок с искусственными нормальными трещинами: 1- вставка из ДВП; 2- разрушенный участок

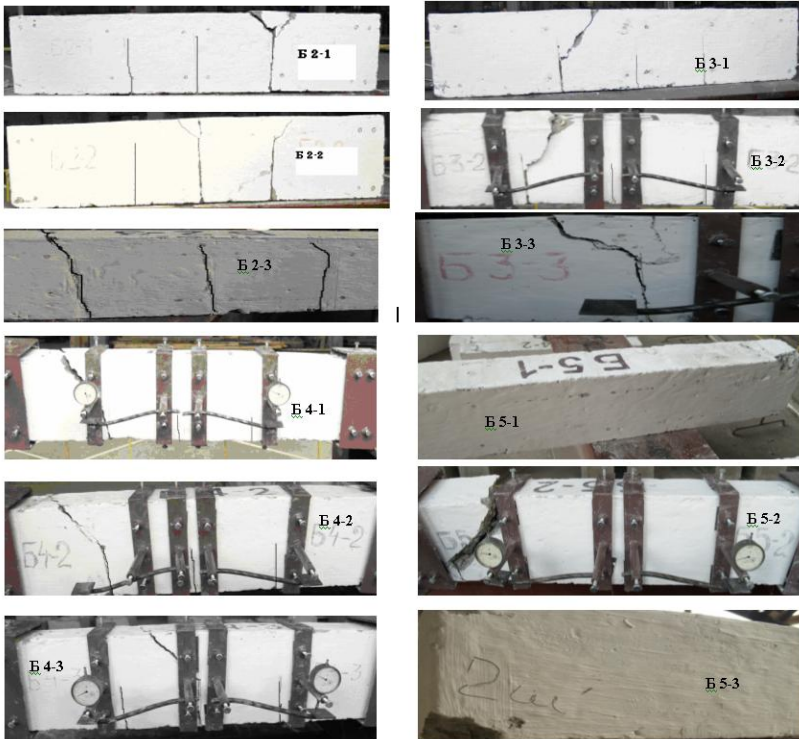


Рис. 4. Экспериментальные образцы- балки после разрушения

Таблица 3.

Значения разрушающего крутящего момента для образцов

№ п/п	Марка балки	Диаметр арматуры, мм		
		10	14	18
1	Б 1-1	0,36		
2	Б 1-2		0,43	
3	Б 1-3			0,44
4	Б 2-1	0,84		
5	Б 2-2		1,14	
6	Б 2-3			1,25
7	Б 3-1	0,93		
8	Б 3-2		1,11	
9	Б 3-3			1,19
10	Б 4-1	1,17		
11	Б 4-2		1,42	
12	Б 4-3			1,56
13	Б 5-1	2,31		
14	Б 5-2		2,28	
15	Б 5-3			2,48

Кроме того, экспериментально установлена пропорциональная зависимость крутильной жесткости железобетонных балок от высоты сжатой зоны (зоны без трещин) и диаметра арматуры.

**Выводы и перспективы исследований.** В результате экспериментальных исследований установлено, что жесткость и прочность железобетонных балок с нормальными трещинами зависит от высоты сжатой зоны и диаметра продольной арматуры. Ранее было известно, что в балках без трещин продольная арматура практически не оказывает влияния на их прочность при кручении. Наличие нормальных трещин существенно изменяет жесткость и характер разрушения балок, подверженных кручению, по сравнению с балками без трещин.

В перспективе следует провести теоретические исследования по выявлению влияния глубины нормальных трещин, диаметра и количества арматуры на прочность и крутильную жесткость железобетонных элементов при наличии в них нормальных трещин.



## Литература

1. Бурлаченко П.И. Экспериментальное исследование влияния сопротивления бетона сжатию на прочность железобетонных балок, работающих на изгиб с кручением. Автореф. дис. канд. техн. наук / Новосибирский ин-т инженеров железнодорожного транспорта. – Новосибирск, 1963.-23 с.
2. Дюрменова С.С. Прочность железобетонных балок со сквозными отверстиями при интенсивном кручении. Автореф. дис. канд.техн. наук: 05.23.01-«Строительные конструкции, здания и сооружения»/ Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия.- Ростов-на -Дону, 2006.
3. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
4. Касаев Д.Х. Исследование преднапряженных перearмированных элементов прямоугольного сечения, работающих на кручение и изгиб с кручением. // Бетон и железобетон. – 1971. – № 8. – С. 39-40.
5. Коуэн Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно наяржённом железобетоне: Пер. с англ. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 104 с.
6. Лессиг Н.Н., Руллэ Л.К. Общие принципы расчета прочности железобетонных стержней на изгиб с кручением.// Теория железобетона, под ред. К.В. Михайлова, С.А. Дмитриева. – М.: Стройиздат, 1972. – с. 43- 49.
7. Лялин И.М. Исследование работы железобетонных балок прямоугольного сечения, подверженных воздействию поперечной силы, изгибающего и крутящего моментов. Автореф. дис. канд. техн. наук / МИСИ, М.: , 1960.- 18 с.
8. Фалеев Л.В. Экспериментально-теоретические исследования несущей способности железобетонных балок прямоугольного и таврового сечений, работающих на косоу изгиб с кручением. Автореф. дис. анд. техн. наук: 480. / Белорус. политехн. ин-т, Минск , 1968.- 23 с.
9. Эль Хадж Назих. Работа железобетонных элементов при совместном действии изгиба и кручения. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01/Киевский инж.-строит. ин-т.- Киев, 1986.-19 с.
10. Юдин В.К. Кручение железобетонных элементов (теоретические и экспериментальные исследования). Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.480 / Ленинградский инж.-строит. ин-т, Ленинград, 1970.- 24 с.
11. Юдин В.К. Работа железобетонных балок прямоугольного сечения на кручение с изгибом. // Бетон и железобетон. – 1964. – № 1. – с. 30-35.