

Меркулов С. И., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Меркулов Д. С., канд. техн. наук, ст. преп.
Курский государственный университет

Стародубцев С. В., аспирант
Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс
Логачев К.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВЫБОРУ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СОСТАВНОГО ЭЛЕМЕНТА ТАВРОВОЙ ФОРМЫ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

89202614781@mail.ru

Выполнен анализ расчетных методик железобетонных элементов на изгиб с кручением. Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных элементов составного сечения при совместном действии крутящего и изгибающего моментов. Выявлен характер изменения напряженно-деформированного состояния железобетонных балок составного таврового сечения с учетом совместной работы бетонов с различными деформативно-прочностными характеристиками при сложном напряженном состоянии и схемы разрушения.

Ключевые слова: железобетон, тавровое сечение, изгиб с кручением, расчетная модель, эксперимент, предварительное напряжение.

Как показано в [1] расчет железобетонных элементов на действие крутящего момента производится на основе модели пространственных сечений. Эта модель принята в том числе и в СП 52-101-2003 [2], рассматривает сечение, образованное наклонными отрезками прямых, соединяющими по трем растянутым граням элемента и замыкающим отрезком прямой по четвертой сжатой грани элемента. При расчете рассматривают все возможные положения пространственного сечения, принимая его сжатую зону у нижней, боковой и верхней граней элемента. При этом необходимо проверять несущую способность наиболее опасного пространственного сечения. Наибольшей универсальностью обладает расчетная модель сопротивления железобетонных конструкций на кручение с изгибом, рассматривающая разрушение по спиральному пространственному сечению. При действии крутящих моментов в железобетонном элементе образуется спиральная трещина, которая в пределах трех граней элемента вместе с замыкающей ее сжатой зоной по четвертой грани образует пространственное сечение.

При расчете железобетонных элементов составного сечения необходимо учитывать ряд особенностей: работа в составе конструкции бетонов и арматуры различных классов, стадийность изготовления конструкций, компоновка сечения и другие. Для составных элементов прямоугольного сечения при изгибе с кручением реализована модель спирального пространственного сечения [1]. Однако на сегодняшний день отсутствует методика расчета предварительно напряженных таврового составного сечения. Это объясняется отсутствием достаточного объема данных экспериментально-

теоретических исследований конструкций данного типа. Справедливость применения той или иной методики расчета к железобетонным предварительно напряженным элементам составного сечения на действие изгибающего и крутящего моментов является целью настоящих исследований.

Выбор и экспериментальное обоснование расчетной модели конструкций обеспечивает конструктивную безопасность сооружения в целом [3].

Для оценки характера разрушения и определения закономерностей деформирования предварительно напряженных железобетонных элементов составного сечения при действии изгибающего и крутящего моментов разработаны и испытаны образцы двух серий.

Программа экспериментальных (табл. 1) исследований включала испытания следующих типов образцов:

- испытания стандартных образцов для определения физико-механических характеристик бетона и арматуры;
- испытания на изгиб с кручением составных железобетонных тавровых элементов с компоновкой поперечного сечения (Б-1), с приложением нагрузки $l_1=l_2=1/3l$;
- испытания на изгиб с кручением составных железобетонных тавровых элементов с компоновкой поперечного сечения (Б-1), с приложением нагрузки $l_1=1/8,75l$;
- испытания на изгиб с кручением составных железобетонных тавровых элементов с компоновкой поперечного сечения (Б-2), с приложением нагрузки $l_1=l_2=1/3l$;
- испытания на изгиб с кручением составных железобетонных тавровых элементов с

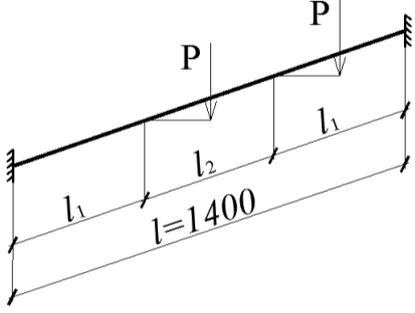
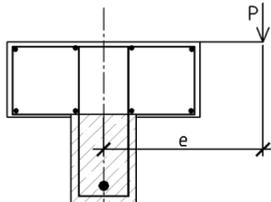
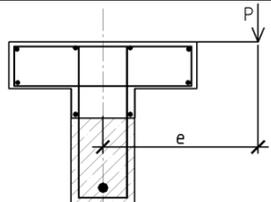
компоновкой поперечного сечения (Б-2), с приложением нагрузки $l_1 = 1/8,75$.

Усиливаемые элементы по серии БС были изготовлены в виде сборных железобетонных балок прямоугольного сечения ($b \times h_1 = 120 \times 120$ мм) с предварительно напряженной арматурой и выпусками арматуры для последующего домоноличивания. Класс бетона В25. В качестве напрягаемой арматуры была принята стержне-

вая арматура $1\text{Ø}12$ мм класса Ат-V (А800) по ГОСТ 5781. Ненапрягаемая арматура балок по серии БС принята в виде плоских сварных каркасов с симметричным расположением продольной и поперечной арматуры из обыкновенной арматурной проволоки периодического профиля $\text{Ø}4$ мм класса Вр-I (В500) по ГОСТ 6727 шагом $S_w = 50$ мм на приопорных участках и шагом $S_w = 100$ мм в пролете.

Таблица 1

Программа экспериментальных исследований

Схема испытаний	Приложение нагрузки		Сечение образца	Серия
	№ схемы	Схема нагружения		
	1	$l_1 = l_2 = 1/3l$		Б-1
	2	$l_1 = 620 \text{ мм}$ $l_2 = 160 \text{ мм}$		
	1	$l_1 = l_2 = 1/3l$		Б-2
	2	$l_1 = 620 \text{ мм}$ $l_2 = 160 \text{ мм}$		

Сборные элементы добетонированы с одной стороны (сверху) монолитным бетоном класса В12,5. Размеры сечения монолитного бетона (для Б-1: $b \times h = 300 \times 100$ мм; Б-2: $b \times h_1 \times h_2 = 300 \times 70 \times 60$ мм) по всей длине балок назначены с учетом характеристик крупного заполнителя и пропорций реальных конструкций. Для монолитных частей балок Б-1 и Б-2 изготавливались каркасы из арматуры $\text{Ø}4$ мм класса Вр-I (В500) шаг $S_w = 50$ мм. Выпуски арматуры $\text{Ø}4$ мм класса Вр-I (В500) длиной 120 мм из сборного элемента обеспечивали совместную работу усиливаемой части и бетона усиления.

Для эксперимента был разработан и изготовлен стенд, позволяющий проводить испытания на совместное действие изгибающего и крутящего моментов. Стенд представляет собой конструкцию шарнирно-рычажного типа сваренную из прокатных профилей, состоящую из опорной балки, стоек, шарнирно соединенных рычагов и упоров, обеспечивающих устойчивость опытных образцов на стенде. Конструкция опор и упоров опытных балок обеспечивала их устойчивость на всех этапах испытаний.

Продольные деформации измеряли индикаторами многооборотными часового типа МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм на базе 150, 300 и 500 мм по ГОСТ 9696 и тензорезисторами типа

КФ5П1-20-200-А-12 с базой 20 мм по ТУ 3.06.7710-0001-93, наклеенными на бетон стенки тавра под углом 45° между местами приложения нагрузки. Показания тензорезисторов снимали с помощью автоматического электронного измерителя деформаций для полных тензорезисторных мостов и полумостов типа АИД-4. На боковых гранях сборного элемента под углом 45° между местами приложения нагрузки наклеивали по 18 тензорезисторов с каждой стороны. Для измерения в 72 точках электронный измеритель деформаций АИД-4 использовался в комплекте с коммутирующим устройством – переключателем АП-3. Цена деления в единицах относительной деформации 10-5.

Поворот измеряли индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм, установленными в середине пролета экспериментальных балок. Индикаторами часового типа ИЧ-10 жестко крепили снизу, в середине и в верхней точке сечения сборного элемента для наблюдения за поворотом балки. На опорах опытных образцов были установлены с двух сторон по боковым граням индикаторы часового типа ИЧ-10 для исключения влияния деформаций обжатия опор и изменения формы при нагружении испытываемых элементов.

В процессе экспериментальных исследований выявлена закономерность образования и развития трещин в железобетонных образцах составного сечения при совместном действии крутящего и изгибающего моментов (рис. 2).

На стадии нагружения $0,75-0,82N_u$ появляются трещины (№1-№4) по нормальным сечениям в середине пролета образца. При дальнейшем нагружении происходит образование новых трещин (№5-№14) под углом близким к 45° и раскрытие старых трещин до $0,1$ мм и их увеличение по длине.

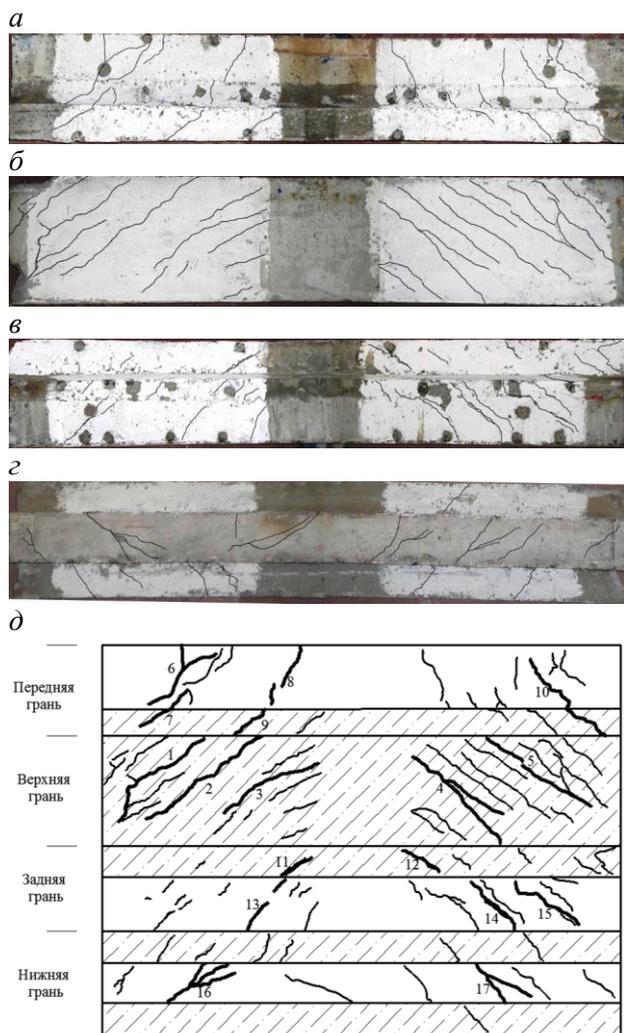


Рис. 2. Характер и характер разрушения железобетонных образцов по пространственным сечениям

a – передняя грань; *б* – верхняя грань; *в* – задняя грань; *г* – нижняя грань; *д* – схема трещин по развертке образца

На стадии нагружения $0,8-0,85N_u$ наблюдалось появление трещин по стыковому шву бетонов с различными прочностными характеристиками. Однако смещение слоев бетонов относительно друг друга не наблюдалось.

На стадии нагружения $0,8-0,95N_u$ появляются трещины параллельные предыдущим и

увеличиваются по длине и ширине раскрытия до полного разрушения балки.

Разрушение образцов происходило по пространственному сечению по трещинам: №№2-11-13-16-8-9 и №№4-12-14-17-10. При действии крутящих моментов в железобетонном элементе образуется спиральная трещина. Образование пространственной трещины на нижней грани железобетонного элемента происходит перпендикулярно направлению главных деформаций удлинения бетона, а расположение конца фронта пространственной трещины у сжатой грани железобетонного элемента совпадает с направлением главных деформаций укорочения бетона – таким образом, пространственная трещина имеет спиралеобразную форму.

Таким образом, экспериментально подтверждена правомерность применения для оценки несущей способности составных железобетонных элементов таврового сечения расчетной модели спирального пространственного сечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов, Д.С. К выбору расчетной модели силового сопротивления железобетонных элементов при изгибе с кручением / Д.С. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №10. – С. 46-48.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
3. Меркулов, С.И. Конструктивная безопасность эксплуатируемых железобетонных конструкций / С.И. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №4. – С. 53-54.