

С.А. БУЛКИН¹

¹ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия

КРУЧЕНИЕ С ИЗГИБОМ СТАЛЕФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. В статье приведена информация о проведенных испытаниях железобетонных балок прямоугольного сечения из высокопрочного сталефибробетона при действии кручения с изгибом. Приведена информация по основным полученным результатам: схема трещин с указанием их ширины раскрытия, значения опорных реакций в момент образования трещин и в момент, предшествующий разрушению образца. Установлено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона раскрывается в основном одна трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе. Произведено моделирование балок в расчетном комплексе с описанием основных расчетных предпосылок при моделировании рассматриваемой конструкции. Приведены результаты расчета и выполнен сравнительный анализ полученных результатов с результатами проведенных экспериментов. Отмечено, что принятые модели в расчетных комплексах требуют разработки подпрограмм и уточнения.

Ключевые слова: железобетон, кручение с изгибом, деформации, прочность, квадратное сечение.

S.A. BULKIN¹

¹ZAO «GORPROJECT», Moscow, Russia

TORSION WITH BENDING OF RECTANGULAR STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAM

Abstract. The article provides information about the tests of rectangular cross-section reinforced concrete beams made of high-strength steel-fiber concrete on combined torsion and bending. Given information contains the main results: a diagram of the cracks with an indication of their opening width, the values of support reactions at the moment of cracking and at the moment before destruction. It was found that as the load is applied in beams made of high-strength steel-reinforced concrete, in the case of several cracks at the first stage, there is one crack increases. The beams are modeled in the design complex and given description of the main design parameters. The results of the calculation are presented and a comparative analysis of the results obtained with the experiments results. It is noted that the adopted models in the computational complexes require the development of subroutines and refinement.

Keywords: reinforced concrete structures, combined bending and torsion, deformation, strength, square cross section

Введение

В настоящее время довольно широкое распространение при строительстве зданий и сооружений получило применение железобетонных конструкций. Возведение высотных зданий подразумевает работу несущих конструкций в условиях повышенных сочетаний усилий, что в свою очередь требует применения новых материалов – высокопрочных бетонов, а также фибробетонов. При этом при эксплуатации железобетонных конструкций в ряде случаев возникает сложнапряженное состояние - кручения с изгибом.

Исследованиями работы железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии занимались многие исследователи как российские, так и зарубежные: В.М. Бондаренко, П.Ф. Вахненко, А.И. Демьянов, Н.И. Карпенко, Вл.И. Колчунов, А.М. Кузьменко, В.И. Морозов, В.И. Травуш, А. Bishara, Н. Gesund, E. Rausch, T.T.C. Hsu и др. [1-15]. Большинство исследований посвящено рассмотрению вопросов прочности таких железобетонных элементов. Рассмотрению вопросов предельных состояний второй группы при кручении с изгибом занимались лишь отдельные авторы, а вопросы работы железобетонных конструкций из высокопрочного фибробетона находится в постановочной стадии.

Учитывая, что существующие нормативные документы не могут охватить весь спектр возникающих задач, а технологический прогресс и существующие потребности требуют применения новых материалов, ответственность за выбор, как расчетной модели, так и полученных результатов расчетов лежит непосредственно на проектировщике, который сталкивается со сложным вопросом выбора расчетной модели, позволяющей должным образом отразить действующую работу конструкций. При отсутствии результатов проведенных натурных экспериментов, решение возникшей проблемы в большинстве случаев сводится к предположениям.

Из сказанного выше следует, что разработка методики расчета железобетонных конструкций из высокопрочного сталефибробетона при кручении с изгибом с учетом особенностей возникновения трещин является актуальной задачей.

Однако, основные расчетные параметры (прогибы и углы поворота сечений, схема трещин и ширина их раскрытия, момент образования трещин), которые будут заложены в расчетную модель и, соответственно, на основании которой будет разрабатываться методика расчета, требуют экспериментального подтверждения.

Методика физического моделирования сталефибробетонной балки

Был проведен ряд экспериментов железобетонных балок прямоугольного сечения на совместное действие изгиба с кручением для определения фактической трещиностойкости и несущей способности. Для исследования были изготовлены балки квадратного 20х20 см и длиной 1.2 м. Балки выполнены из сталефибробетона В130 со стальной фиброй длиной 13 мм, диаметром 0,3 мм и временным сопротивлением не менее 1200 МПа.

Армирование балок выполнено в виде сварных каркасов с продольной и поперечной арматурой А240 Ø6 мм. Продольное армирование предусмотрено из восьми стержней по три стержня на каждой стороне, поперечное армирование расположено с шагом 100 мм (рисунок 1). Для возможности передачи крутящего момента в торцах балок были предусмотрены закладные детали.

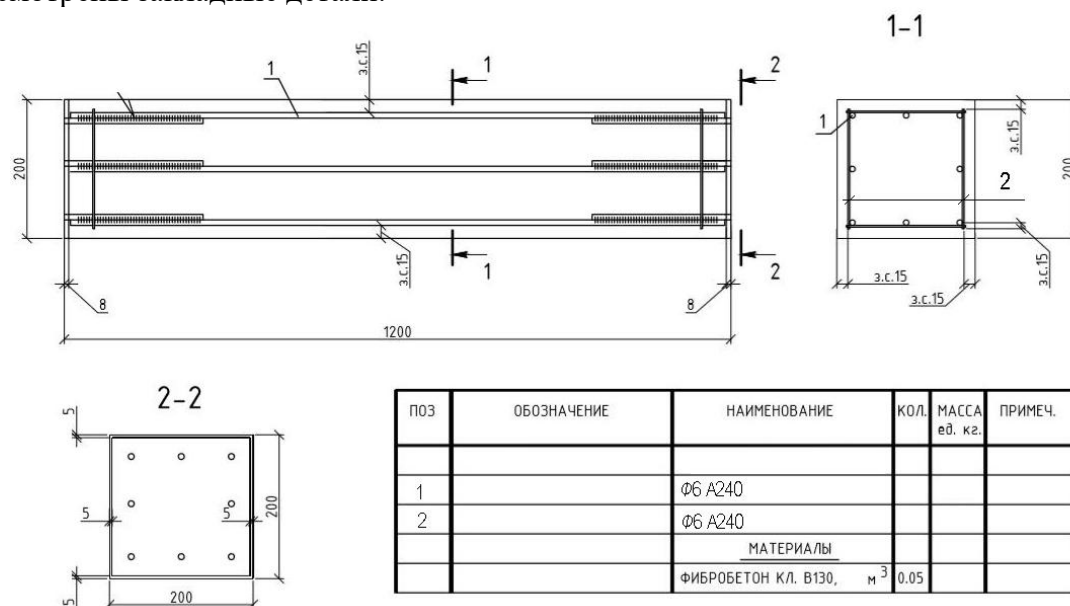


Рисунок 1 - Схема армирования балок

При проведении эксперимента, балка с приваренными к установленным в торцах закладным деталям консолями длиной 720 мм устанавливалась средней частью на опору, а к консолям через траверсу передавалось вертикальное усилие (рисунок 2). Нагружение производилось поэтапно – ступенями равными 10% от нагрузки трещинообразования. Фиксация показаний приборов (индикаторы прогибомеров) производилась на каждой ступени до и после выдержки.



Рисунок 2 - Процесс испытания балки



Рисунок 3 - Трещина в балке в момент разрушения

Результаты экспериментальных и численных исследований и их анализ

В процессе проведения экспериментов были зафиксированы момент возникновения трещин, а также момент разрушения образцов с определением соответствующих усилий (рисунок 3).

По результатам проведенного эксперимента были получены данные о сложном напряженно-деформируемом состоянии при изгибе с кручением в исследуемых областях балок и определены основные параметры:

- опытное значение опорной реакции в момент образования пространственных трещин составило 42 кН, при разрушении железобетонных конструкций – 53 кН;
- координаты образования пространственных трещин;
- прогибы консолей и, соответственно, углы поворота;
- ширина раскрытия трещин на ступени 80% от разрушающего усилия составила 5 мм, а в момент, предшествующий разрушению – 13 мм;
- изменение длины проекций пространственных трещин в зависимости от увеличения ступеней нагружения;

По результатам анализа была составлена схема трещин. Схема трещин с указанием их номеров и ширины раскрытия приведена на рисунке 4.

При проведении экспериментов было отмечено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона увеличивается в основном одна трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе.

Образование единичной пространственной трещины в рассмотренных образцах приводило к быстрому раскрытию этой трещины, значительному росту деформаций, с соответствующим ростом прогибов и углов поворота.

Для сравнения с результатами проведенных экспериментов было проведено моделирование балки в среде ANSYS и выполнен расчет.

В качестве расчетной схемы рассматривалась балка с консолями, которая имеет опору посередине (рисунок 5).

Формирование геометрической модели в программном комплексе выполнялось на основании данных об образцах, используемых в экспериментах. Геометрическая модель представляет собой модель бетона балки квадратного сечения с размерами 200х200 мм.

Внутри бетона расположен арматурный каркас, состоящий из продольной арматуры – по три стержня на каждой стороне, расположенные на расстоянии 25 мм от грани до центра стержней, и поперечной арматуры, расположенной с шагом 100 мм.

К геометрическим моделям бетона и арматуры были жестко присоединены консоли в виде элементов прямоугольного сечения 50х200 мм и длиной 720 мм.

Следующим этапом расчетного моделирования было назначение типов элементов и построение конечно-элементной сетки.

Бетон балки представлен объемными конечными элементами типа *SOLID65*, армирование балки моделировалось стержневыми конечными элементами типа *BEAM189*. Консоли и опорная часть балки моделированы объемными элементами типа *SOLID186*.

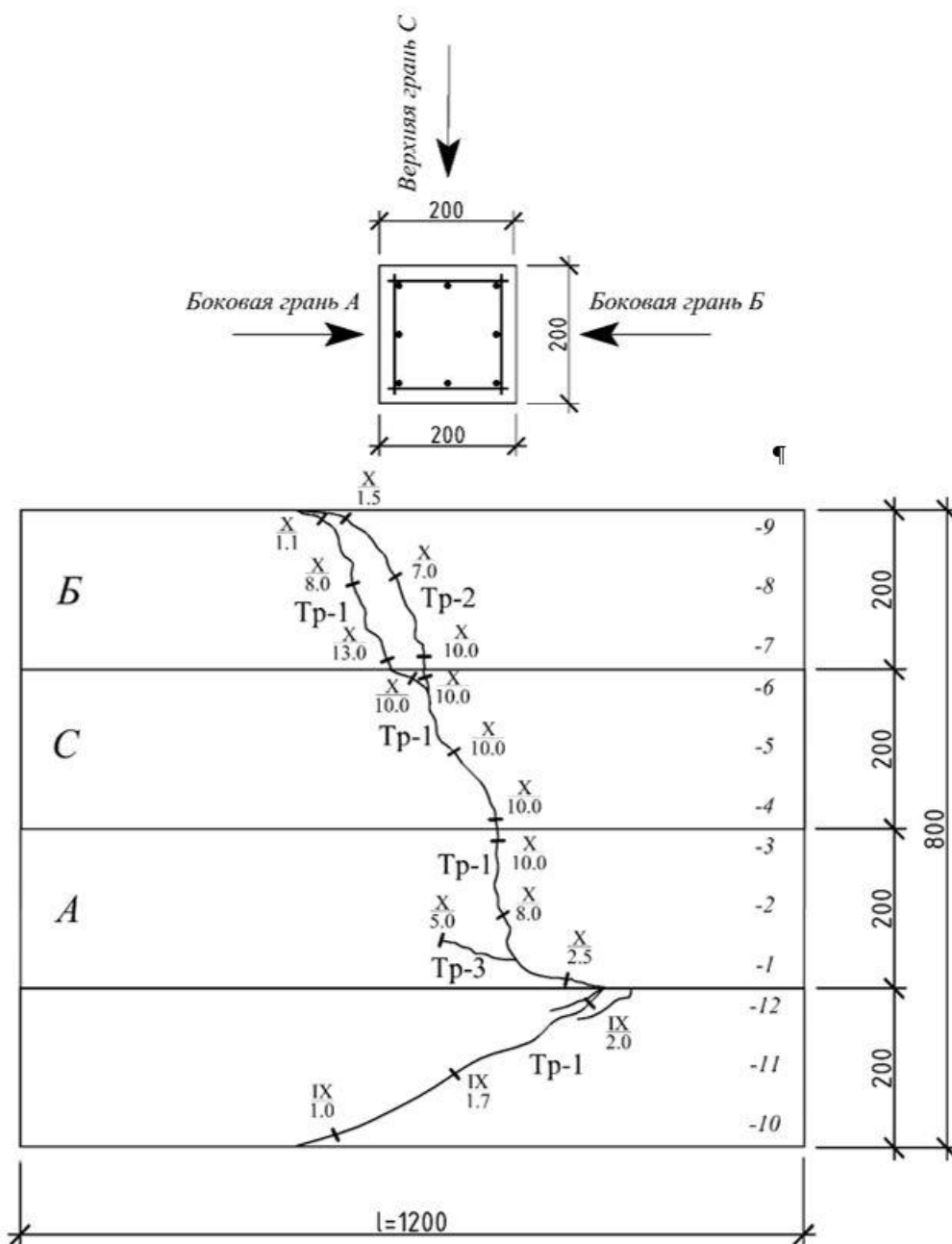


Рисунок 4 - Схема трещин

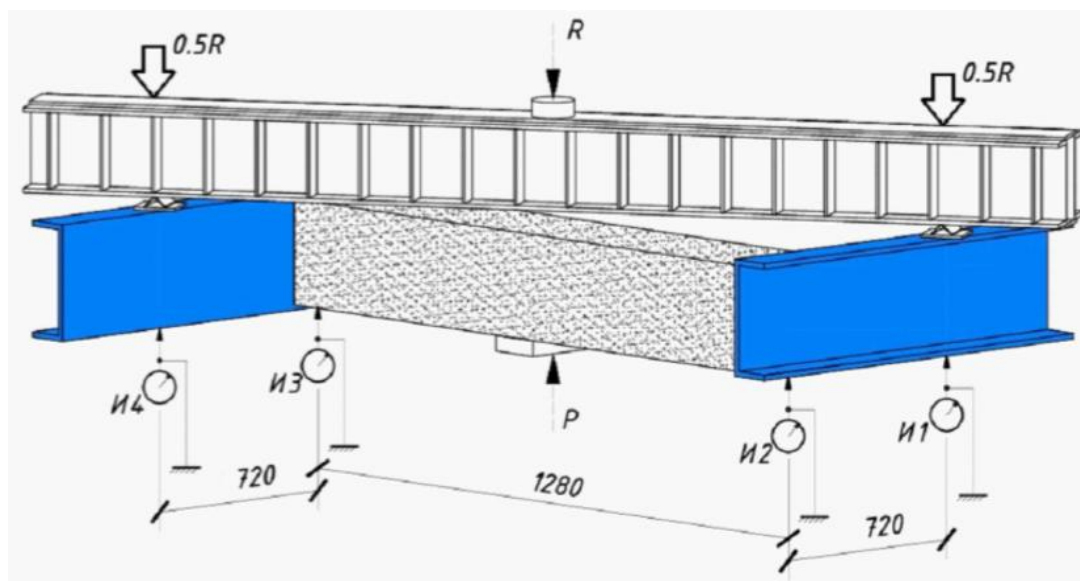


Рисунок 5 - Расчетная схема балки квадратного сечения

Объемные конечные элементы типа *SOLID65* предназначены для моделирования элементов, допускающих трещинообразование при растяжении, а также они допускают возможность разрушения материала при сжатии. С учетом того, что по результатам проведенных экспериментов разрушение происходит после достижения растянутой арматурой предела текучести, в целях проводимых исследований возможность разрушения бетона при сжатии не рассматривалась (опция разрушения сжатого бетона не использовалась).

Дополнительно введен коэффициент передачи сдвига (0.7) (*Shear transfer coefficients*), а также ограничены предельные растягивающие напряжения (22.6 МПа) и предельные сжимающие напряжения (132.5 МПа). Диапазон коэффициента передачи сдвига задается в пределах от 0 до 1, где 0 соответствует отсутствию передачи сдвига (гладкая трещина), а 1 соответствует полной передаче сдвига.

Для моделирования бетона в среде ANSYS принята комбинация следующих материалов: *Linear Isotropic*, *Multilinear Isotropic* и *Concrete*. Материал *Linear Isotropic* предназначен для задания начального модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона. Материал *Multilinear Isotropic* подразумевает задание криволинейной диаграммы мультилинейной аппроксимацией. Материал *Concrete* предусматривает образование трещин при превышении главными напряжениями заданного предела прочности при растяжении, а также учет трехосного напряженного состояния.

Физико-механические характеристики бетона были определены по результатам статистической обработки испытаний кубиков и призм. Результаты представлены в таблице 1.

Модуль упругости, пределы прочности на сжатие и растяжение при изгибе для бетона в настоящем расчетном исследовании принимались в соответствии с полученными данными по изготовленным образцам из высокопрочного фибробетона: $E_b = 48.4$ ГПа, $R_b = 132.5$ МПа, $R_{tt} = 22.6$ МПа.

Диаграмма работы для арматурной стали A240 принималась двухлинейной с упрочнением в соответствии с рекомендациями СП 63.13330. Предел прочности на растяжение и сжатие при расчетах был принят равным 240 МПа.

Нагрузка прикладывалась к концам консолей в соответствии с определенной расчетной схемой, позволяя получить в балке сложное напряженно-деформируемое состояние при кручении с изгибом (рисунок 6).

Таблица 1 – Физико-механические характеристики бетона

№ п/п	Вид бетона	Прочность бетона в 28 сут., МПа				Модуль упругости, ГПа		Фактический класс бетона при коэффициенте вариации 10%
		R	R _b	R _{bt}	R _{tt}	E _b	E _{дин}	
Сверхвысокопрочный бетон								
1.	Фибробетон	152.6	132.5	9.6	22.6	48.4	54.6	B134

Нагружение модели производилось нелинейно с определением автоматического шага на первоначальных этапах 0.5 кН и уменьшением шага до 0.05 кН на этапе предшествующему образованию трещин.

Закрепление опорной площадки балки производилось наложением ограничений перемещений по трем направлениям по нижней поверхности площадки.

По результатам расчета получены напряжения в элементах балки, деформированные схемы, схемы расположения трещин при различных стадиях нагружения, а также определен момент возникновения трещин.

Момент возникновения трещин определен на шаге 46 и соответствует нагрузкам на консоли балки 21.4 кН. Схемы расположения трещин в этот момент приведены на рисунке 7 и рисунке 8.

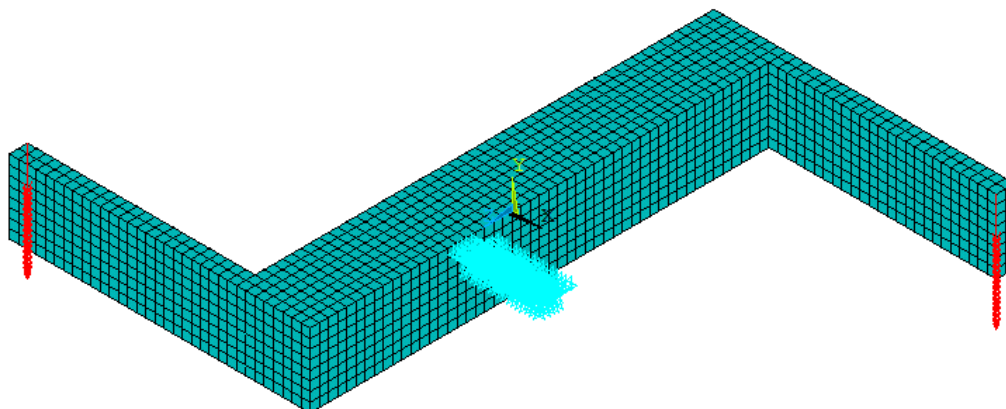


Рисунок 6 - Модель рассматриваемого образца с построенной сеткой конечных элементов и приложенными нагрузками

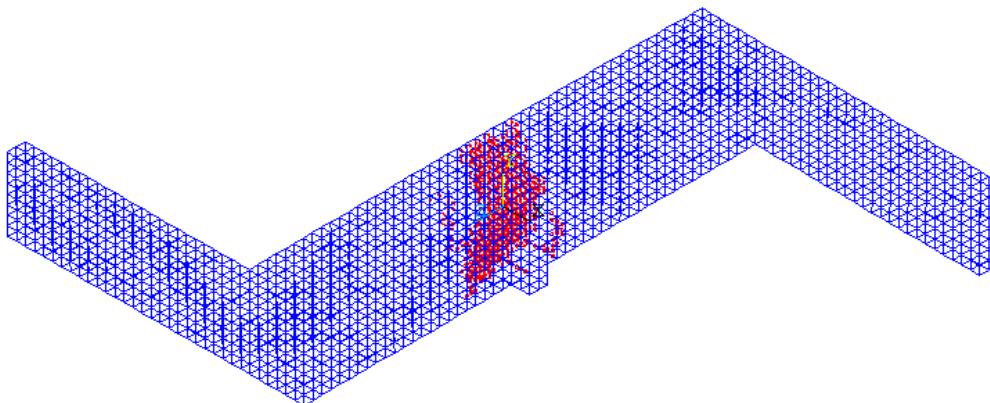


Рисунок 7 - Схема расположения трещин в балке

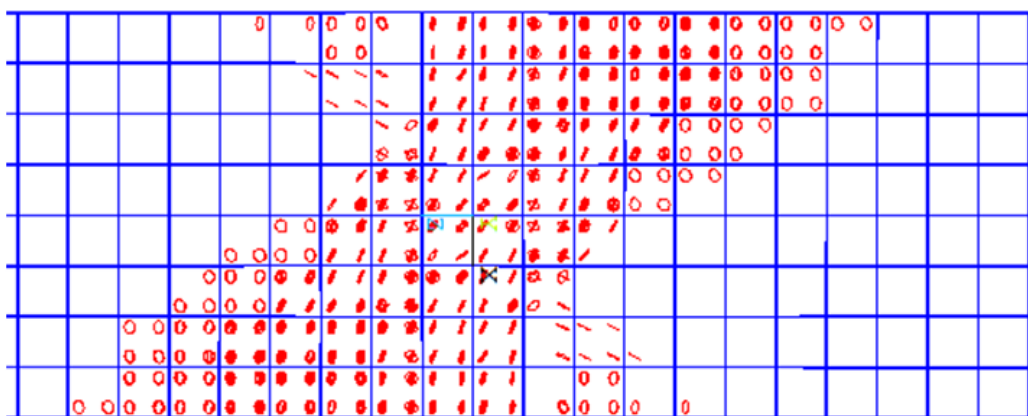


Рисунок 8 - Схема расположения трещин в балке. Вид сверху

Растягивающие напряжения в бетоне, предшествующие моменту появления трещин составили 22 МПа (рисунок 9). Растягивающие напряжения в арматуре – 240 МПа (рисунок 10).

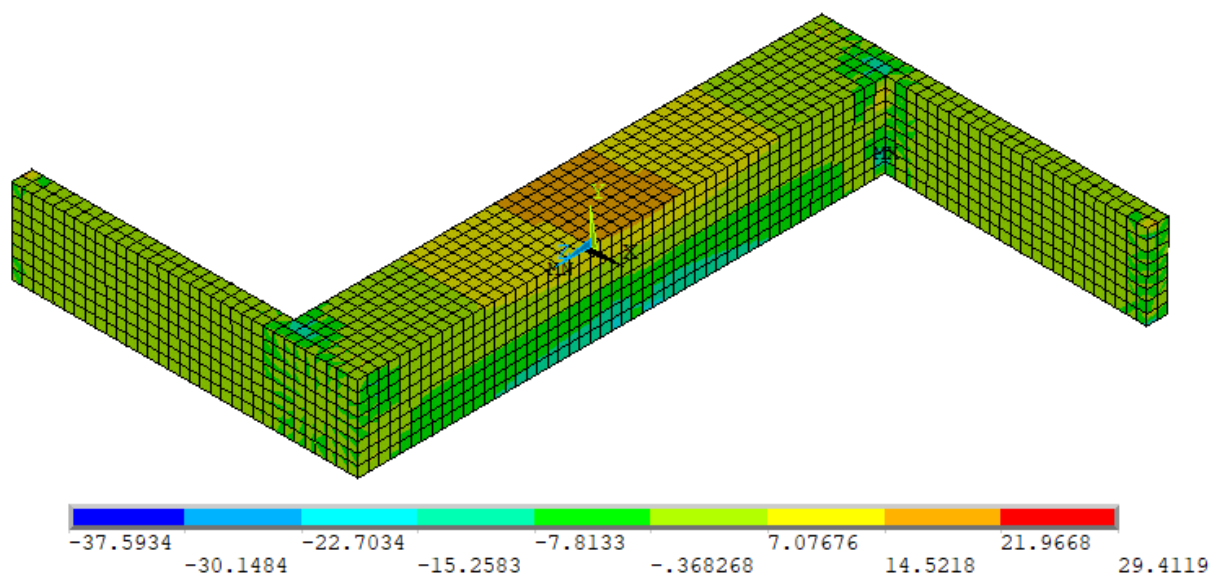


Рисунок 9 - Главные напряжения в бетоне предшествующие моменту возникновения трещин

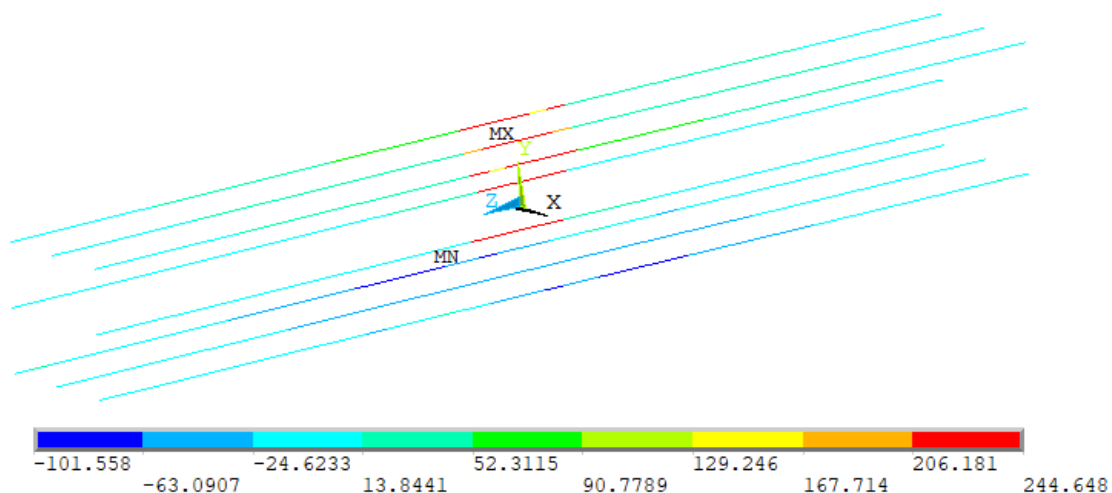


Рисунок 10 - Напряжения в арматуре предшествующие моменту возникновения трещин в бетоне

Деформированная схема балки в момент возникновения трещин приведена на рисунке 11. Перемещения концов консолей в момент образования трещин составили 6 мм.

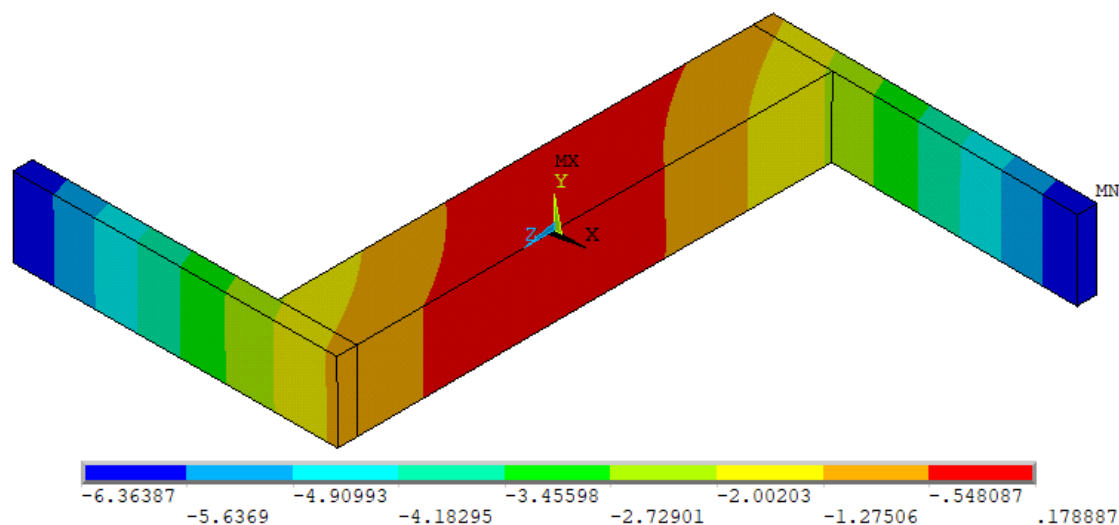


Рисунок 11 - Деформированная схема балки в момент образования трещин

Момент разрушения балки определен на шаге 48 и соответствует нагрузкам на консоли балки 21.6 кН. Схемы расположения трещин в этот момент приведены на рисунке 12.

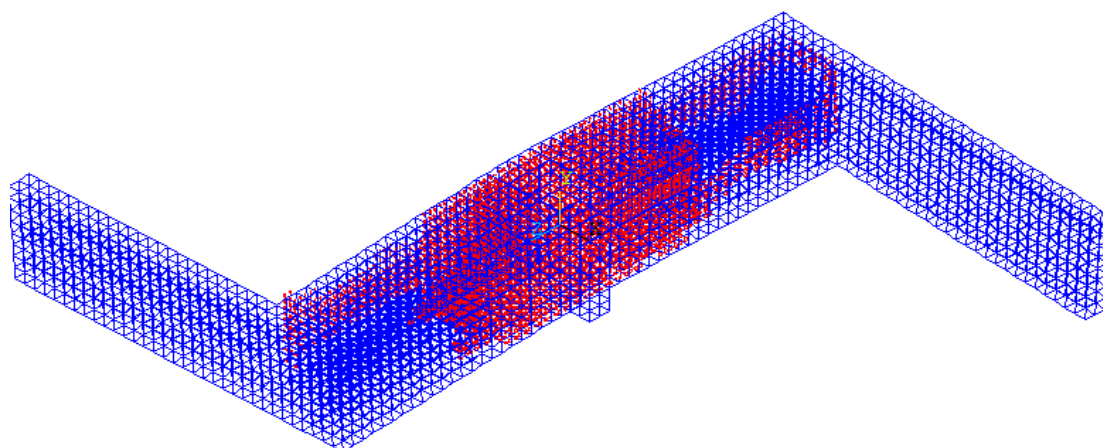


Рисунок 12 - Схема расположения трещин в балке

Растягивающие напряжения в арматуре практически во всех продольных стержнях составили – 280 МПа (рисунок 13).

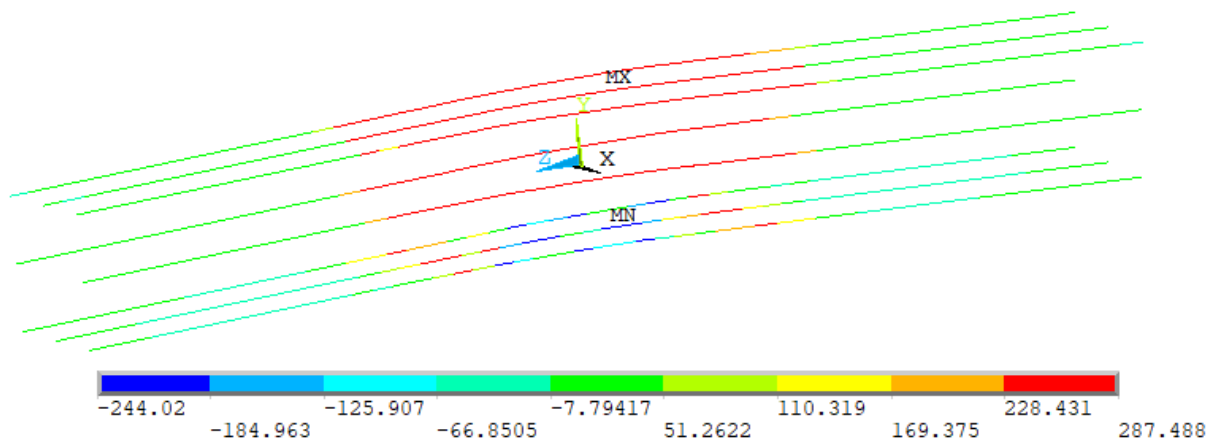


Рисунок 13 - Напряжения в арматуре в момент разрушения балки

Деформированная схема балки, предшествующая моменту разрушения приведена на рисунке 14. Перемещения концов консолей в этот момент составили 51 мм.

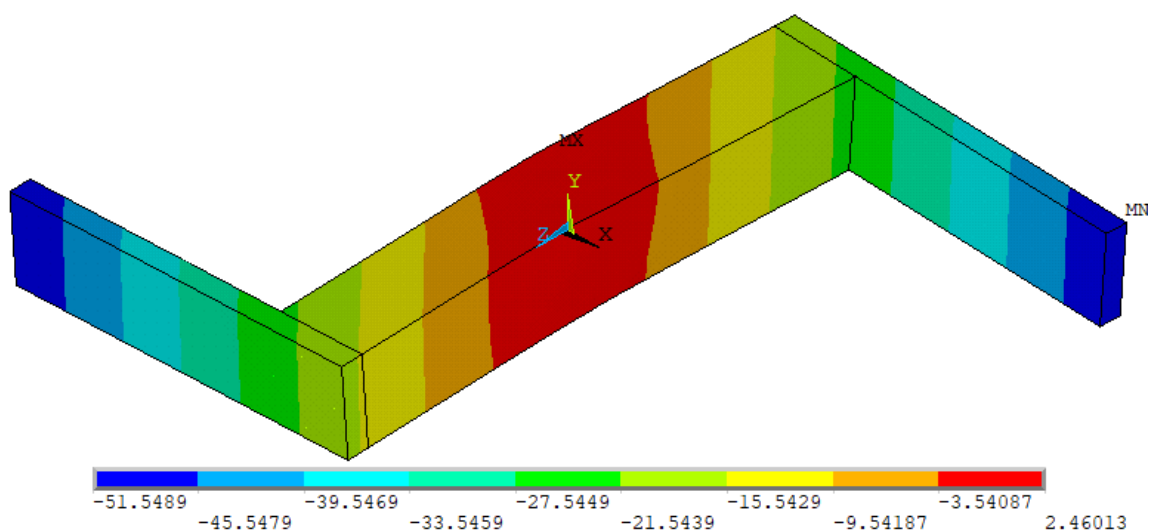


Рисунок 14 - Деформированная схема балки в момент образования трещин

По результатам проведенных расчетов были определены значения усилий, передаваемых на консоли балок в моменты возникновения трещин и в момент разрушения. При этом, полученные усилия в момент возникновения трещин в балке при расчете (21.4 кН) близки к полученным в результате эксперимента (21 кН, 22.5 кН), а усилия полученные в момент разрушения при расчете (21.6 кН) несколько отличаются от экспериментальных данных (26.5 кН, 27.5 кН).

Деформированная схема балки определяется существенными перемещениями консолей, что обусловлено поворотом сечения с образованием пластического шарнира (вследствие достижения арматурой предела текучести) в центре балки, который соответствует моменту образования трещин и составил 21.4 кН.

Фактическое разрушение балки при проведении эксперимента произошло не так быстро, по сравнению с расчетом, с образованием пластических деформаций и отсутствием хрупкого разрушения.

Также одной из отличительных особенностей при проведении экспериментов являлся рост одной основной трещины, чего на данном этапе не удалось получить в расчетах, т.к. при использовании расчетного комплекса в момент трещинообразования образуется сетка трещин, которая по мере увеличения нагрузки захватывает все большую поверхность рассматриваемой балки.

Такое значительное отличие требует разработки подпрограмм для возможности корректировки расчетной модели и приведения получаемых результатов в соответствие с экспериментальными данными.

Выводы

1. При проведении экспериментальных исследований было установлено, что по мере приложения нагрузки в балках из высокопрочного сталефибробетона увеличивается в основном одна прогрессирующая трещина, даже в случае возникновения нескольких трещин на первом этапе.
2. Образование единичной пространственной трещины в рассмотренных образцах приводило к быстрому раскрытию этой трещины, значительному росту деформаций, с соответствующим ростом прогибов и углов поворота.

3. Программный комплекс ANSYS позволяет производить объемное моделирование железобетонных элементов с учетом армирования и назначения нелинейных диаграмм работы бетона и арматуры. Момент образования трещин (передаваемое усилие), полученный в результате расчета близок к результатам полученным экспериментально.

4. В отличие от экспериментальных данных о образовании одной главной трещины, при расчете в программном комплексе образуется сеть трещин, что требует дополнительного анализа и разработки специальных подпрограмм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №6. С. 32-43.
2. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. №15(1). С.51-61.
3. Демьянов А.И. Особенности трещинообразования в конструкциях из высокопрочного железобетона при сложном сопротивлении – кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2019. №5. С. 3-10.
4. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Булкин С.А., Московцева В.С.. Результаты экспериментальных исследований сложнапряженных балок круглого поперечного сечения из высокопрочного фиброжелезобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. №16 (4). С 290-297.
5. Колчунов Вл. И., Сальников А.С. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2016. № 3(65). С. 24–32.
6. Морозов В.И., Бахотский И.В. К расчету фиброжелезобетонных конструкций, подверженных совместному воздействию кручения с изгибом // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5.
7. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
8. Сальников А.С., Ключева Н.В., Колчунов В.И. Метод определения минимальной нагрузки и координат образования пространственной трещины в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №1. С. 52–57.
9. Сальников А.С., Колчунов Вл.И., Колчунов В.И. Методика расчета предельной нагрузки и координат образования пространственной трещины первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2015. №6(62). С. 49– 56.
10. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сальников А.С., Михайлов М.М. Расчетные модели статикодинамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины // Строительство и реконструкция. 2017. №3 (71). С. 13–22.
11. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
12. Awadh E.A. Torsion plus bending and shear on reinforced concrete beams. Journal of Engineering and Sustainable Development. 2016. No.4. P. 277– 288.
13. Khaldoun Rahal. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants. ACI Structural Journal. 2007. Vol. 104. No. 4. Pp. 402–411
14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
15. David A.E., Thomas L.H., Simon A.N., Jonathan E.C. Veering and nonlinear interactions of a clamped beam in bending and torsion. Journal of Sound and Vibration. 2018. Vol. 416. Pp. 1-16.

REFERENCES

1. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy konstruktсий kvadratnogo i korobchatogo secheniy iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom [Results of experimental studies of square and box-section structures made of high-strength concrete under torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. No. 6. Pp. 32-43.

2. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.L., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Osnovnyye rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy zhelezobetonnykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona B100 kruglogo i kol'tseвого secheniy pri kruchenii s izgibom [Main results of experimental studies of reinforced concrete structures made of high-strength concrete in the form of round and ring sections during torsion with bending]. Construction mechanics of engineering structures and structures. 2019. No. 15(1). Pp. 51-61.
3. Demyanov A.I. Osobennosti treschinoobrazovaniya v konstruksiyah iz visokoprochnogo zhelezobetona pri slozhnom soprotivlenii – kruchenii s izgibom [Crack formation in high-strength reinforced concrete structures at complex resistance – torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 5. Pp. 3-10.
4. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.L., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Bulkin S.A., Moskovtseva V.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy slozhnynapryazhennykh balok kruglogo poporechnogo secheniya iz visokoprochnogo fibrozhelezobetona [Results of experimental studies of high-strength fiber reinforced concrete beams with round cross-sections under combined bending and torsion]. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2020. No. 16 (4). Pp. 290-297.
5. Kolchunov V.L., Salnikov A.S. Eksperimental'nyye issledovaniya treshchinoobrazovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy pri kruchenii s izgibom [Experimental studies of crack formation of reinforced concrete structures under torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2016. No. 3 (65). Pp. 24-32.
6. Morozov V.I., Bakhotsky I.V. K raschetu fibrozhelezobetonnykh konstruksiy, podverzhennykh sovmestnomu vozdeystviyu krucheniyu s izgibom [To the calculation of fiber-reinforced concrete structures exposed to the joint effect of torsion with bending.] Sovremennyye problem nauki i obrazovaniya. 2013. No. 5.
7. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. The computational model of a power resistance of reinforced concrete [Computational models of the force resistance of reinforced concrete: monograph]. Moscow, ASV Publ., 2004. 472 p.
8. Salnikov A.S., Kolchunov V.L., Klyueva N.V. Metod opredeleniya minimal'noy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny v zhelezobetonnykh konstrukciyakh pri kruchenii s izgibom [Method for determining the minimum load and coordinates of spatial crack formation in reinforced concrete structures during torsion with bending]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. No.1. Pp. 52–57.
9. Salnikov A.S., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I. Metodika rascheta predel'noy nagruzki i koordinat obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny pervogo vida v zhelezobetonnykh konstrukciyakh pri kruchenii s izgibom [Method for calculating the maximum load and coordinates of the formation of a spatial crack of the first type in reinforced concrete structures during torsion with bending]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2015. No. 6(62). Pp. 49– 56.
10. Demyanov A.I., Kolchunov V.I., Salnikov A.S., Mihajlov M. M. Raschetnye modeli statikodinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnoj konstruktsii pri kruchenii s izgibom v moment obrazovaniya prostranstvennoy treshchiny [Computational models of static-dynamic deformation of a reinforced concrete structure during torsion with a bend at the moment of formation of a spatial crack]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. No.3 (71). Pp. 13–22.
11. Salnikov A., Kolchunov V., Yakovenko I. the computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. Applied Mechanics and Materials. Vols. 725-726 (2015). Pp. 784-789.
12. Awadh E.A. Torsion plus bending and shear on reinforced concrete beams. Journal of Engineering and Sustainable Development. 2016. No.4. P. 277– 288.
13. Khaldoun Rahal. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants. ACI Structural Journal. 2007. Vol. 104. No. 4. Pp. 402–411.
14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
15. David A.E., Thomas L.H., Simon A.N., Jonathan E.C. Veering and nonlinear interactions of a clamped beam in bending and torsion. Journal of Sound and Vibration. 2018. Vol. 416. Pp. 1-16.

Информация об авторе:

Булкин Сергей Александрович
ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,
главный специалист-конструктор.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com

Information about author:

Bulkin Sergey A.
ZAO GORPROJECT, Moscow, Russia,
chief design specialist.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com