

О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда

Д.Р. Маилян, П.П. Польской, МерватХишмах, К.В. Кургин

В Ростовском государственном строительном университете продолжены исследования, связанные с применением композитных материалов, используемых в качестве рабочей арматуры при изготовлении железобетонных конструкций. Работа выполняется согласно ранее разработанной программы [1].

В настоящей статье приводятся результаты испытания по прочности опытных образцов, в которых рабочая арматура расположена в два ряда [2]. При этом, стальная арматура полностью или частично заменена на **углепластиковую** [3]. В комбинированно-армированных балках стальная и углепластиковая арматура менялись местами расположения, находясь в первом или во втором ряду. Образцы, имеющие только стальную арматуру, приняты эталонными. Они были запроектированы из бетона класса В35 [4]. Характеристика применяемых материалов, методика изготовления образцов и условия их хранения были такими же, как и в работах [5, 6], что дает возможность сравнения результатов экспериментов выполнять методом прямого сопоставления.

Как и ранее, все опытные образцы (по три в каждой из четырех серий) имели постоянную длину – 200 см и прямоугольную форму сечения с размерами 125x250 мм. Монтажная арматура всех опытных балок была одинаковой и состояла из 2 \varnothing 6,5 В500. Поперечная арматура была представлена вязаными двухсрезными хомутами из проволоки того же диаметра и класса и располагалась с шагом 100 мм по всей расчетной длине балок.

Рабочая стальная арматура для эталонных балок (серия III) выполнена из четырех стержней 12 мм класса А600 с расположением в два ряда. Балки серии IV приняты с арматурой аналогичного диаметра, но из стержней углепластиковой арматуры прочностью 2400 МПа. По аналогии с классом стальной арматуры она обозначена так же, как принято по западной терминологии CFRP. Балки с комбинированным армированием (серия V) состояли из 2 \varnothing CFRP-2400, расположенных в первом ряду, и 2 \varnothing А600 – во втором. В балках серии VI стальная и углепластиковая арматура была аналогичной, но поменялась местами расположения.

Опытные образцы испытывались по расчетной схеме однопролетной балки [7]. Они загружались двумя сосредоточенными силами,

расположенными в третях расчетного пролета, равного 160 см. Все балки испытывались в возрасте 9-10 месяцев ступенчато-возрастающей нагрузкой до разрушения с выдержкой на каждом этапе загрузки по 10-15 минут. Интенсивность нагрузки на трех первых этапах до появления трещин и сразу после них составляла 4 кН, а последующих – 8 и 16 кН.

Контроль за величиной нагрузки, как и в балках других серий, осуществлялся по индикатору часового типа, установленному на образцовом динамометре с усилием 500 кН. Деформация сжатой грани бетона в зоне чистого изгиба и рабочей арматуры замерялись с помощью тензорезисторов сопротивления с базой 50 и 10 мм соответственно. Последние наклеивались на продольные ребра стальной арматуры или на очищенную от кварцевого песка поверхность углепластиковых стержней. Изменение деформаций фиксировалось при помощи автоматического измерителя деформаций АИД-4М. Результаты проведенных испытаний, их первичная обработка, а также отдельные характеристики материалов указаны в табл. 1.

Проведенные испытания показали, что 6 образцов из 12 разрушились по нормальным сечениям из-за дробления бетона сжатой зоны [8]. Это балки III и IV серий, состоящие только из стальной или углепластиковой арматуры. Причиной разрушения нормальных сечений балок в третьей серии явились предельные деформации арматуры. Балки четвертой серии разрушились вследствие значительных прогибов.

Комбинированно армированные балки имели несколько другое разрушение. По одной балке из трех в V и VI сериях разрушились по наклонному сечению. Причиной явилось дробление бетона сжатой зоны над концом наклонной трещины и затем срез бетона. Другие балки этих серий разрушились вследствие действия моментов и поперечных сил одновременно в двух сечениях – нормальном и наклонном. Расположение композитной арматуры в первом или во втором ряду практически не сказалось на причинах разрушения опытных образцов.

Таблица 1

Опытная прочность балок, армированных стальной, углепластиковой и комбинированной арматурой при расположении в два ряда

Серия опытных образцов	Шифр балок	Класс бетона В, МПа	Класс арматуры		Площадь арматуры, см ²		Разрушающее усилие, кН·м		Отношение средних значений моментов $M_{s,c}/M_s$
			стальная	Углепластиковая	сталь A_s	Композит $A_{s,c}$	опытное значение M^{exp}	среднее значение $M_s, M_{s,c}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

III	BS-7	33,3	A600	–	4,52	–	44,46	44,24	1,0
	BS-8						44,64		
	BS-9						43,44		
IV	Bc-10	31,9	–	CFRP 2400	–	4,52	50,15	49,91	1,128
	Bc-11						49,73		
	Bc-12						49,33		
V	Bh-13	31,95	A600	CFRP 2400	2,26	–	45,56	45,18	1,021
	Bh-14						44,82		
	Bh-15						45,16		
VI	Bh-16	31,0	A600	CFRP 2400	–	2,26	45,7	45,89	1,037
	Bh-17						45,81		
	Bh-18						46,16		

Примечание: в столбцах 6 и 7 в числителе приведены сведения для второго ряда арматуры, а в знаменателе – первого.

Прямое сопоставление опытных данных (столбцы 9 и 10) показывает, что расположение углепластиковой несущей арматуры в два ряда незначительно повлияло на несущую способность нормальных сечений. Предельная прочность балок по серии IV в среднем всего на 13% выше по сравнению с эталонными балками. При этом ранее испытанные балки при меньшем по величине проценте композитного армирования увеличили прочность на 22% [5, 6]. Добавим к этому, что расположение композитной арматуры в первом или во втором ряду, можно сказать, не повлияло на увеличение прочности.

Проведенный на основе прямого сопоставления анализ данных по прочности нормальных сечений не в полной мере отвечает критериям несущей способности изгибаемых элементов [9, 10]. Необходим учет

деформативности опытных образцов, включая величину предельно допустимых прогибов балок. Из-за ограничения объема статьи указанное сопоставление выполнено в отдельной статье, помещенной на страницах настоящего сборника.

По результатам эксперимента можно сделать следующие **выводы**:

1. Балки из тяжелого бетона с прочностью, соответствующей классам В30-В35, при двухрядном расположении 4-х стержней из круглой углепластиковой арматуры диаметром 12 мм, показали незначительное (в среднем по серии 13%) повышение прочности нормальных сечений по сравнению с эталонными образцами, армированными аналогично. И это при том, что углепластиковая арматура в 4 раза прочнее стальной.
2. Замена 50% стальной арматуры на углепластиковую незначительно сказалось на изменении прочности нормальных сечений и составило по сравнению с обычными железобетонными балками всего 2,1 и 3,7 % соответственно при расположении композитной арматуры в первом и втором ряду.
3. Комплексно армированные балки показали практически одинаковую прочность независимо от расположения углепластиковой арматуры в первом или во втором ряду. Расхождение составляет всего 1,5%.
4. Для окончательного суждения об эффективности использования углепластиковых стержней в качестве рабочей арматуры и рядности ее расположения необходимо сопоставить опытные прогибы эталонных балок с аналогичными образцами, имеющими композитную и комплексную арматуру.

Литература:

1. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений [Электронный ресурс]//«Инженерный вестник Дона», 2012, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307>(доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
2. ГОСТ 12004-81: Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. -Введ.01.07.1983[Текст] // Изд-во стандартов,1981, 11с.
3. ГОСТ 25.601-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах [Текст] // Межгос-ый стандарт, 1981, 9с.

4. ГОСТ 10180-90: Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.-Введ.1991-01-01[Текст] // Изд-во стандартов,1990, 36с.
5. Польской П.П.,МерватХишмах, Михуб Ахмад.О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжелого бетона [Электронный ресурс] //«Инженерный вестник Дона», 2012, №4, – Режим доступа:<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
6. Польской П.П., ХишмахМерват, Михуб Ахмад. О возможности использования круглых углепластиковых стержней в качестве рабочей арматуры для изгибаемых элементов [Текст]// «Научное обозрение», 2012, №6, С. 211-213.
7. ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний загрузением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. – Взамен ГОСТ 8829-85;введ. 01.01.1998. [Текст] // ГосстройРоссииГУПЦПП, 1997, 33с.
8. СП63.13330.2012: Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.[Текст] // ФАУ«ФЦС»,2012,155с.
9. ACI 440.2R-02:Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures[Текст]// American Concrete Institute, 2002, 45p.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings[Текст] // Singapore standard,2004, 225p.