

О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры

П.П. Польской, Д.Р. Маилян, Мерват Хишмах, К.В. Кургин

В практике проектирования изгибаемых железобетонных элементов стальная рабочая арматура располагается как в один, так и в два ряда [1, 2]. В этой связи интересно проследить, как изменяются деформативные свойства балок при двухрядном расположении композитной и комбинированной арматуры [3, 4]. Данные о деформативности опытных образцов, имеющих углепластиковую и комбинированную арматуру, расположенную в один ряд, уже получены в соответствии с программой [5] и опубликованы в открытой печати [6]. В данной статье приведены деформативные свойства балок при двухрядном расположении рабочей композитной арматуры.

Прогибы балок, имеющих стальную, углепластиковую и комбинированную арматуру, определялась на тех же опытных образцах, что и при изучении нормальных сечений. При этом железобетонные балки с двухрядной стальной арматурой приняты эталонными. Конструкция опытных образцов и их продольное и поперечное армирование приведены в работе [7]. Она размещена на страницах настоящего сборника.

В целях получения данных сопоставимых с результатами ранее выполненных экспериментов испытания проводились на одинаковых по размеру образцах, и по единой методике, которая кратко приведена ниже [8 - 10].

Нагрузка прикладывалась двумя сосредоточенными силами, расположенными, как и ранее, в третях расчетного пролета. Испытания проводились до разрушения ступенчато-возрастающей нагрузкой интенсивностью 4; 8; 16 кН. Первый уровень нагрузки прикладывался трижды, затем следовал этап с нагрузкой 8 и далее 16 кН. При достижении уровня нагрузки, равной 80% от разрушающей, на последующих этапах загрузки она снижалась до 8 кН. Интенсивность приложения нагрузки контролировалась по индикатору часо-

вого типа с ценой деления 0, 0,1 мм, установленному на образцовом динамометре. Замеры деформаций осуществлялись с использованием таких же индикаторов, которые были закреплены по осям опор в точках приложения нагрузок и в середине пролетов. Отсчеты с приборов на каждом этапе снимались дважды по окончании нагружения и после выдержки под нагрузкой. Характер поведения балок и отсчеты с приборов заносились в журнал испытаний.

Первые нормальные трещины в зоне чистого изгиба появлялись во всех опытных образцах при нагрузке, равной 7,8-8,5 кН, т.е. на втором этапе загрузки. Новые трещины появлялись и на третьем этапе при нагрузке 9,5-11 кН. Эти трещины далее развивались по высоте и ширине до появления наклонных. Момент образования всех видов трещин фиксировался визуально с использованием ацетоновой пробы и далее уточнялся по показаниям приборов, установленных на бетоне и арматуре [7].

Деформативность балок сразу резко увеличивалась после появления первых или последующих нормальных и наклонных трещин. Этому способствовали достижение в стальной арматуре напряжений, близких к условному пределу текучести, а в композитной арматуре – величины $\sigma = 500$ и более МПа. Эти данные во многом совпадают с результатами экспериментов, полученными ранее [7]. Приращение деформаций в балках с комбинированным армированием находилось в некоторой зависимости от места расположения углепластиковой арматуры в первом или во втором ряду.

Предварительная обработка данных по прогибам была выполнена по журналам испытания опытных образцов. На их основе были построены графики изменения деформаций балок в зависимости от уровня нагрузки, начиная от нуля до разрушения.

Для получения конкретных данных о влиянии двухрядного расположения углепластиковой арматуры, либо ее расположения только в первом или во втором ряду (для комбинированных сечений), дополнительно были определены прогибы балок при трех уровнях нагрузки, составляющих 0,3;0,6;0,8

от разрушающей. В табл. 1 приведены средние значения прогибов балок при указанных уровнях нагрузки по каждой серии и выполнено их прямое сопоставление с эталонными балками.

Из указанной таблицы видно, что образцы, в которых в обоих рядах расположена только композитная арматура (серия IV), имеют во всем диапазоне нагрузок значительное превышение деформаций, по сравнению с эталонными балками.

Таблица 1

Опытные прогибы балок с двухрядным расположением стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры при различных уровнях нагрузки

Серия опытных образцов	Шифр балок	Класс бетона, МПа	Уровни нагрузки N_i/N_{ult}					
			Опытные значения прогибов балок по сериям f^{exp} , мм			Отношение средних значений прогибов балок с композитной арматурой к прогибам эталонных образцов		
			0,3	0,6	0,8	0,3	0,6	0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
III	Bs-7;8;9	33,3	2,24	5,46	7,77	1	1	1
IV	Bc-10;11;12	31,9	3,46	8,12	11,38	1,54	1,49	1,46
V	Bh-13;14;15	31,95	2,28	5,85	8,45	1,02	1,07	1,09
VI	Bh-16;17;18	31,0	2,33	5,97	8,92	1,04	1,09	1,15

Примечание: Символами N_i обозначена нагрузка, передаваемая непосредственно на траверсы через образцовый динамометр на разных этапах загрузки; N_{ult} – аналогичная нагрузка в момент разрушения балок.

Для балок V и VI серий, у которых стальная арматура на 50% заменена углепластиковой, опытные прогибы оказались значительно меньше по сравнению с балками, имеющими 100% композитной арматуры. При эксплуатационных уровнях нагрузки они не превышают 7-9%, увеличиваясь до 9-15% перед разрушением балок.

Аналогичная картина имеет место и при сравнении опытных прогибов с их предельно допустимой величиной f^{exp} , равной 1/200 от величины пролета. Для композитно армированных балок несущая способность уменьшилась, по сравнению с эталонными балками, на 21,4%, вместо 13%, если сравнивать

только разрушающие нагрузки. Для комплексно армированных балок падение несущей способности составляет 6,2%.

На основе прямого сопоставления деформаций опытных образцов при двухрядном расположении арматуры можно сделать следующие **выводы**:

1. Деформации опытных образцов с углепластиковой рабочей арматурой, изготовленных из тяжелого бетона с прочностью, соответствующей классам В30-В35, превышают прогибы эталонных балок на 46-54% во всем диапазоне нагрузок.

2. Опытные прогибы балок с комбинированным двухрядным армированием при одинаковом соотношении площади стальной и композитной арматуры, равной 50% от ее полной величины, оказались значительно меньше и увеличились, по сравнению с эталонными балками, всего на 9% при расположении арматуры в первом ряду, и 15% – во втором ряду.

3. Независимо от рядности расположения композитной арматуры опытные прогибы балок в комплексно армированных сечениях практически совпадают до уровня нагрузки равного 0,6 от разрушающей. При ее большем уровне балки с углепластиковой арматурой, расположенной во втором ряду, показывают несколько большие деформации, которые, однако, не превышают статистического разброса.

4. Независимо от характера расположения рабочей арматуры в один или два ряда доминирующим фактором при определении несущей способности нормальных сечений балок из тяжелого бетона, изготовленных с использованием композитной арматуры, является предельно допустимое значение относительного прогиба балок. И это несмотря на **четырёхкратное** превышение прочности углепластиковой арматуры, по сравнению со стальной, при практически одинаковом модуле упругости.

Литература:

1. СП63.13330.2012: Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. [Текст] // ФАУ«ФЦС», 2012, 155с.

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] // Межгосударственный 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., 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.
6. Польской П.П., Хишмах Мерват, Михуб Ахмад. Сопоставление деформативности балок, армированных стальной, углепластиковой и комбинированной арматурой [Текст] // «Научное обозрение», 2012, №6. С.208-211.
7. Маилян Д.Р., Польской П.П., Хишмах Мерват, Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда (в настоящем сборнике).
8. Польской П.П., Мерват Хишмах, Михуб Ахмад. К вопросу о деформативности балок из тяжелого бетона, армированных стеклопластиковой и комбинированной арматурой [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4, – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n_4p2y2012/1308 (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. ACI 440.2R-02: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures [Текст] // American Concrete Institute, 2008, 76 p.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings [Текст] // Singapore standard, 2004, 225 p.