

## Прочность и деформативность усиленных коротких стоек при малых эксцентриситетах

*П.П. Польской, Д.Р. Маилян, С.В. Георгиев*

*Ростовский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Приведены и проанализированы данные о результатах испытания коротких железобетонных стоек с гибкостью  $\lambda_n=10$ , усиленных внешней углепластиковой арматурой при внешнем приложении нагрузки с эксцентриситетом  $e_0=2$  см. Установлены границы влияния различных вариантов усиления на прочность и деформативность стоек при расположении нагрузки в пределах ядрового сечения.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, арматура, углепластик, нагрузка, прочность, деформативность.

Данная статья является продолжением освещения второго этапа исследований [1-5], который проводится на кафедре железобетонных и каменных конструкций РГСУ. Она посвящена несущей способности коротких железобетонных стоек (Серии Б), усиленных углепластиком. Образцы этой серии, результаты испытания которых размещены на страницах настоящего журнала, имели одинаковое сечение  $250 \times 125(h)$  и длину 1200 мм. Совпадают также продольное и поперечное армирование, гибкость  $\lambda_n=10$  и методика проведения экспериментов. Это дает возможность для сопоставления полученных результатов. Здесь отметим лишь особенности исследования образцов серии Б. Она предусматривает приложение нагрузки с эксцентриситетом  $e_0=2,0$  см. Это тот случай, когда действующая нагрузка приложена в пределах ядрового сечения, не выходя за его границы. Случай, когда сила имеет эксцентриситет  $e_0 \leq 0,3h_0$ , называется случаем малых эксцентриситетов. В сжатых элементах многоэтажных зданий, особенно в современных монолитно-каркасных, имеют место и малые, и большие эксцентриситеты. Это зависит от этажа, на которых разлагаются колонны и место их расположения на плане, т.к. меняется соотношение действующих моментов и продольных сил. Поэтому

---

исследование рассматриваемых стоек представляет определённый интерес [6].

Загружение выполнялось ступенчато возрастающей нагрузкой с использованием домкрата ДГ200П150 до разрушения. Интенсивность нагрузки на каждом этапе составляла 100кН до уровня  $0,8N_{ult}$  и 50кН – после него. Выдержка на каждом этапе нагружения составляла 10-15 минут. Это время необходимо для замера деформаций исследуемых образцов и перераспределения напряжений в сечениях усиленных образцов. Для этой цели использовались прогибомеры, индикаторы часового типа и тензодатчики сопротивления.

Конструкции серии Б предусматривают пять вариантов усиления, обязательным компонентом которых являлись поперечные хомуты разной ширины, вплоть до полного обертывания и шаг хомутов. Отдельные стойки имели и продольное усиление.

Все хомуты были выполнены из трех слоев углеткани холодного отверждения в виде непрерывной ленты со стыком в нахлестку на одном из узлов. Продольное усиление представляли полосы на основе углеродных волокон горячего отверждения. Физико-механические свойства стальной и композитной арматуры определялись согласно [7,8] и подробно изложены в работах [9,10].

Оценка влияния каждого из вариантов усиления осуществлялась методом прямого сопоставления результатов испытания эталонных и усиленных образцов.

Характеристика всех опытных образцов, которые соответствуют требованиям [6], и результаты их испытания по прочности приведены в табл.1.

Поведение всех опытных образцов под нагрузкой было следующим.

**Эталонная стойка БГ** – несмотря на наличие эксцентриситета, стойка равномерно деформировалась по всему сечению до нагрузки в 550кН. Вместе с тем, разделение на сжатую и растянутую зоны произошло уже при нагрузке  $N=50кН$ . Однако средние деформации сжатия на этапе предшествующем разрушению, по сравнению с деформациями растяжения были почти в три раза выше. Разрушение стойки было плавным с большей площадью дробления бетона сжатой зоны, шириной 20см, начиная от середины высоты стойки. Видимая высота дробления бетона с оголением арматуры составила около 5см. Одновременно со стороны растянутого бетона появилась критическая трещина с раскрытием до 1мм.

Таблица 1

Результаты испытания коротких стоек, усиленных углепластиком при осевом эксцентриситете  $e_0=2,0см$ .

Характеристики опытных образцов	Шифр стоек	Прочность бетона $\bar{R}$ , МПа	Характер усиления углепластиком	Предельные деформации		Опытные значения		Коэффициент усиления $N_y/N$
				Сжатие $\varepsilon_s \cdot 10^{-3}$	Растяжение $\varepsilon_{st} \cdot 10^{-3}$	Прочность $N_y, кН$	Прогибы $f_{mm}^{exp}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сечения – 250x125 (h) мм $I_0=1200мм$ , $\lambda_H=10$ ; $e_0=2$ . Продольное армирование	БК	38,9	Эталон	4,72	1,64	592,5	12,94	-
	БКУ-Х <sub>1</sub>	38,6	Хомут шириной 50мм, шаг 190мм.	5,88	2,24	778,9	15,73	1,315
						784,9		1,325
	БКУ-Х <sub>2</sub>	38,9	Хомут шириной 50мм, шаг 140мм	4,73	1,61	794,7	7,26	1,34
						794,7		
	БКУ-Х <sub>2</sub> L <sub>c</sub>	41,6	Хомут шириной 50мм, шаг 140мм +2 полосы в сжатой зоне	3,94	1,42	800	4,71	1,35
748,1						1,26		
БКУ-	40,8	Хомут шириной	4,49	2,15	700	6,51	1,18	

	X <sub>1</sub> L <sub>p</sub>		50мм, шаг 190мм +2 полосы в растянутой зоне.			667,4		1,13
	БКУ- X <sub>5</sub>	41,6	Обойма на всю длину колонны. b=700мм	6,81	2,63	844,0	7,96	1,42
						789,2		1,33

**Примечания:** 1) Деформации бетона на сжатие и растяжение, а также прогибы стоек указаны на этапе предшествующем разрушению. 2) Прочность бетона и арматуры определялась по результатам испытания образцов. 3) В знаменателе столбиков 7 и 9 табл. 1 показаны значения с учетом коэффициента перехода к прочности бетона эталонных образцов.

Физико-механические характеристики композитных материалов и методика усиления конструкций приведена в работах [9,10]

**Усиленные стойки – БКУ-X<sub>1</sub>** – усиление хомутами шириной 50мм с шагом 190мм. Поперечные трещины в растянутой зоне до нагрузки N=700кН - не образовывались. Однако появилась трещина вдоль арматуры в сжатой зоне в верхней трети высоты стойки. Разрушение образца произошло от дробления бетона между хомутами в середине высоты стойки и было более плавным по сравнению с эталонным. Высота дробления бетона составила более 5см. Одновременно в растянутой зоне появилась критическая трещина с раскрытием до 3мм.

**БКУ-X<sub>2</sub>** – усиление отличается только шагом хомута, который равен 140мм. Характер поведения под нагрузкой был аналогичен предыдущей стойке при, практически, одинаковым коэффициенте усиления. Однако деформативность образца оказалась в 2 раза меньше. Заметно ниже были и средние деформации со стороны растянутой и сжатой зоны. Разрушение было еще более спокойным и произошло из-за дробления бетона между вторым и третьим хомутами ниже середины стойки. Высота дробления -

более 6,5см. Трещины появились не только в зоне дробления бетона но и выше середины стойки. Их раскрытие было менее 1мм.

**БКУ-Х<sub>2</sub>L<sub>c</sub>** – отличается наличием двух продольных полос усиления из углеламината, наклеенных на сжатую зону. При нагрузке N=500кН произошел резкий спад давления со своеобразным треском, причиной которого послужило хрупкое разрушение углеламинатов возле верхнего анкерующего хомута. Одновременно произошло выпучивание обеих полос в виде треугольника. При следующем этапе загрузки верхние части полос наложились на нижние. Однако разрушение образца произошло при более высокой нагрузке. Коэффициент усиления был близок к двум первым усиленным стойкам. Фактически, с учетом коэффициента перехода прочности бетона к эталонному образцу, указанный коэффициент, заметно снизился.

**БКУ-Х<sub>1</sub>L<sub>p</sub>** – к стандартному поперечному хомуту добавлено усиление двумя полосами со стороны растянутой зоны. В отличие от гибких стоек наличие растянутых полос в коротких стойках показало низкий коэффициент усиления. При этом, средняя деформация бетона обеих зон и прогибы стойки оказались больше, чем при наклеивании продольной арматуры на сжатую зону. Разрушение было плавным от дробления бетона между вторым и третьим хомутами вниз от середины. Видимая высота дробления бетона – 4см. Одновременно в центре стойки со стороны сжатого бетона откололись углы на участках между хомутами и образовались вертикальные трещины вдоль арматуры.

**БКУ-Х<sub>5</sub>** – полная обойма из трех слоев углеткани. В условиях сложного напряженного состояния, стойка работала как изгибаемый элемент. На этапе, предшествующем разрушению, все показатели по деформациям бетона и стойки в целом, оказались самыми большими, а коэффициент усиления был сопоставим с вариантом усиления хомутами по типу Х<sub>2</sub>. Разрушение очень

---



плавное, путем постепенного нарастания прогибов с идеальной линией изгиба. Уже в процессе разрушения в центре сжатой зоны в виде треугольника с катетом 7-10мм выпучились слои углеткани, без выпучивания крупного заполнителя.

Анализ результатов испытания стоек, загруженных с эксцентриситетом  $e_0=2\text{см}$ , показал следующее:

- Наиболее эффективным вариантом усиления оказалось использование равномерно распределённых по длине стоек хомутов шириной 50мм и шагом 140мм.

- Сопоставимым по прочности, но не по расходу материалов, оказалось усиление полной обоймой. Вместе с тем, именно наличие обоймы, обеспечило наиболее плавное и постепенное разрушение стоек, заметное на глаз.

- Усиление коротких стоек с дополнительным использованием продольной углепластиковой арматуры, особенно в растянутой зоне, ослабляет влияние поперечных хомутов на увеличение несущей способности.

### Литература

1. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)

2. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675)

3. Польской П.П., Маилян Д.Р., Мерват Хишмах, Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096)

---

4. Польской П.П., Маилян Д.Р., Мерват Хишмах, Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094)
5. Польской П.П., Георгиев С.В. Вопросы исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134)
6. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. Под руководством д.т.н., проф. В.А. Клевцова. М.: НИИЖБ, 2006-48с.
7. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings, 2004.
8. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute, 2008.
9. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Методики усиления углепластиком и испытания коротких и гибких стоек // Научное обозрение, 2014, №10, ч.2. С.415-418
10. Польской П.П., Георгиев С.В. Характеристики материалов, используемых при исследовании коротких и гибких стоек, усиленных углепластиком // Научное обозрение, 2014г, №10, ч.2. С.411-414.

#### References

1. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4/2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)
  2. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675)
-



3. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Mervat Hishmah, Kurgin K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096
4. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Mervat Hishmah, Kurgin K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094
5. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4
6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134
7. Rukovodstvo po usileniju zhelezobetonnyh konstrukcij kompozitnymi materialami [Guide to strengthening reinforced concrete structures by composite materials], pod rukovodstvom d.t.n., prof. V.A. Klevcova. M.: NIIZhB, 2006, p.48
8. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings, 2004.
9. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute, 2008.
10. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, №10/2, pp.415-418
11. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, №10/2, pp.411-414.