

## О несущей способности усиленных коротких стоек при больших эксцентриситетах

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

*Ростовский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Приведены данные о несущей способности коротких стоек с гибкостью  $\lambda_h=10$ , усиленных углепластиковой арматурой, при действии нагрузки с осевым эксцентриситетом  $e_0=4\text{см}$ . Установлена эффективность различных вариантов усиления при приложении нагрузки за пределами ядрового сечения.

**Ключевые слова:** Бетон, железобетон, сталь, арматура, композит, углепластик, прочность, несущая способность.

В соответствии с перспективной программой исследования [1-4], на кафедре железобетонных и каменных конструкций РГСУ начался второй этап исследования железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами на основе углепластика. Он посвящен сжатым железобетонным элементам с гибкостью  $\lambda_h=10$  и 20. Согласно разработанной для второго этапа исследования программы [5], испытание опытных образцов на сжатие проводится при различных значениях эксцентриситета приложения нагрузки. Настоящая статья посвящена результатам эксперимента усиленных коротких стоек при  $\lambda_h=10$  для случая больших эксцентриситетов, т.е. когда сила приложена за пределами ядрового сечения, а величина самого эксцентриситета превышает  $e_0 \geq 0,3h$ . В нашем случае он составляет  $e_0=4\text{см}$  (Серия В). Коротко остановимся на характеристике опытных образцов и вариантах их усиления.

Все короткие стойки, с проектным классом бетона В35, независимо от эксцентриситета приложения нагрузки и их гибкости, имели одинаковое поперечное сечение  $250 \times 125(h)$ . Длина коротких стоек составляла 1200мм. Продольная арматура представлена  $4\text{Ø}12\text{A}500$ . Поперечные хомуты были выполнены диаметром 6мм класса В500 и установлены с шагом 180мм. Дополнительно, для увеличения прочности торцевых участков [6],

приопорные участки были усилены сетками с размером ячеек 50x40мм из арматуры Ø3B500, установленными с шагом 50мм.

Усиление опытных образцов с учетом рекомендаций [6], было выполнено в виде замкнутых хомутов различной ширины и шага, наклеенных на обработанную бетонную поверхность. Отдельные образцы были усилены продольной углепластиковой арматурой в виде полос шириной 50 и толщиной 1,4мм. Все поперечные хомуты были выполнены из трех слоев углеткани.

Конструкция, характеристика этих образцов, варианты их усиления и результаты испытания приведены в табл. 1.

Загружение всех стоек серии В осуществлялось двумя разнонаправленными силами через специально сконструированный металлический оголовок. Он имеет прорези для фиксации точки приложения нагрузки. Усилие создавалось гидравлическим домкратом марки ДГ200П150, который устанавливался под нижним концом опытного образца на специальном стенде.

Нагружение выполнялось ступенчато-возрастающей нагрузкой до разрушения в выдержкой на каждом этапе по 10-15минут согласно [7]. Это время использовалось для снятия показаний с приборов с целью определения деформаций бетона и композитного материала в наиболее характерных сечениях. В наших опытах использовались прогибомеры, индикаторы часового типа и тензорезисторы сопротивления. Выдержка под нагрузкой способствовала, одновременно, и перераспределению напряжений между бетоном и внутренней-стальной и внешней композитной арматурой.

Интенсивность нагрузки до уровня, равного примерно 0,8 от разрушающей составляла 50кН, а выше указанного уровня – 25кН. Влияние различных вариантов усиления оценивалось по методу прямого

сопоставления результатов испытания обычных-эталонных железобетонных образцов и однотипных по конструкции, но усиленных углепластиком.

Для оценки каждого варианта усиления стоек, рассмотрим более подробно характер их поведения под нагрузкой и разрушения.

Таблица 1

Результаты испытания коротких стоек, усиленных углепластиком при осевом эксцентриситете  $e_0=4\text{см}$ .

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 кН $N_y$	Прогобы $f_{mm}^{exp}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сечения-250x125 (h) мм $l_0=1200\text{мм}$ , $\lambda_{н1}=10$ ; $e_0=4$ . Продольное армирование 4Ø12A500 ( $\mu_s=1.45$ ) хомуты – Ø6B500, $s=180$	ВК	40,6	Эталон	5,53	4,47	422,2	9,15	-
	ВКУ- $X_1$	40,6	Хомут шириной 50мм, шаг 190мм.	6,5	5,68	$\frac{482,5}{482,5}$	9,32	1,4
	ВКУ- $X_{1Lp}$	40,6	Хомут шириной 50мм, шаг 190мм+2 полосы углеламината $b=50$ ; $t=1,4\text{мм}$	6,16	3,14	$\frac{530,0}{530,0}$	7,17	1,25
	ВКУ- $X_4 L_p$	50,6	Хомут в центре 240мм, на остальной длине 50мм с шагом 190мм +2 полосы углеламината $b=50$ ; $t=1,4\text{мм}$	4,65	2,95	$\frac{608,0}{487,8}$	8,875	$\frac{1,44}{1,16}$

**Примечания:** 1) Средние деформации бетона на сжатие и растяжение на базе 300мм, а также прогибы стоек зафиксированные на этапе предшествующем разрушению. 2) Прочность бетона и арматуры определялась по результатам испытания образцов согласно [6,7]. Перевод кубиковой прочности бетона на цилиндрическую выполнен с учетом

требований [6,7,8]. 3) В знаменателе столбцов 7 и 9 табл. 1 показаны значения с учетом коэффициента перехода к прочности бетона эталонных образцов.

На этапе, предшествующем разрушению, новые трещины не появились, а их ширина для всех стала почти одинаковой. В сжатой зоне появились лещадки. Разрушилась стойка плавно от дробления бетона сжатой зоны на очередном этапе загрузки.

#### **Усиленные стойки:**

Физико-механические характеристики композитных материалов [8] и методика усиления конструкций приведена в работах [9,10]

**ВКУ – X<sub>1</sub>** – усиление выполнено только внешними хомутами шириной 50мм с шагом 190мм. Первая и единственная трещина в растянутой зоне появилась и хорошо раскрылась только при нагрузке 300кН, что указывает на стеснённые условия работы бетона под хомутом, которые распространяются и на прилежащие к хомутам участки бетона. Первые лещадки в сжатой зоне появились при N=425кН. На этапе предшествующем разрушению, прогибы стойки, а также средние деформации бетона со стороны сжатой и растянутой зоны были на 10-18% выше по сравнению с эталонными образцами. Разрушение произошло от дробления бетона между хомутами на глубину до 4см. В процессе разрушения на противоположенной стороне от зоны дробления бетона, появилась магистральная трещина высотой до 8-8,6см с раскрытием до 3-3,7мм.

**ВКУ-X<sub>1</sub>L<sub>p</sub>** – поперечное усиление, одинаковое с предыдущей стойкой, дополнено продольной композитной арматурой из двух полос, наклеенных в растянутой зоне. Первая трещина в этой зоне появилась при N=400кН. Следует отметить и то, что верхний оголовок при N=400кН получил своеобразный наклон, чего не было раньше. Выше была и нагрузка при появлении первых лещадок N=425кН. Это весьма показательно, т.к. все три

---

стойки являлись близнецами при изготовлении. Поэтому налицо влияние продольного усиления. Деформации сжатия были несколько ниже, по сравнению с предыдущей стойкой, а вот деформации растяжения в силу наличия продольной углепластиковой арматуры уменьшилась почти в два раза. Стойка разрушилась еще более плавно, чем предыдущая. Разрушение произошло внизу между опорным хомутом шириной 100мм и рядовым  $X_1$  от дробления бетона сжатой зоны. Видимая высота дробления бетона составила 5,5-5,8см, а раскрытие магистральной трещины – всего 0,2мм при высоте 5,7см.

**ВКУ- $X_3L_p$**  – отличительной чертой данной стойки является наличие широкого хомута в центре в сочетании с продольными полосами на растянутой грани. Поведение стойки под нагрузкой было аналогично предыдущей. Но в еще большей степени изогнулся верхний оголовок. Наличие жёсткой обоймы в середине при одновременном усилении растянутой зоны между оголовками, создало условия для изменения расчётной схемы. Разрушение произошло по самому слабому месту – под оголовком, над торцевым хомутом. Бетон сжатой зоны раздробился, а трещина раскрылась до 5-7мм. Деформации бетона и сжатой, и растянутой зоны оказались меньше всего по сравнению со всеми образцами, отметим при этом, что в процессе разрушения почти по всей длине откололись углы стоек, расположенные в сжатой зоне.

Результаты испытания коротких усиленных стоек, работающих с большим эксцентриситетами, позволяют отметить следующее:

- Образцы по серии **В** показали наименьшую несущую способность, по сравнению с образцами, испытанными при экспериментах  $e_0=0$  и  $e_0=2,0$ см.

- Случай больших эксцентриситетов при  $e_0=4$  см, снижает величину коэффициентов усиления для отдельных вариантов, которые были более эффективны при центральном и внецентренном нагружении при  $e_0=2$  см.

---



- Резкое увеличение жесткости поперечных хомутов в сочетании с продольным усилением приводит к изменению статической схемы работы коротких стоек и снижает эффективность композитного усиления.

Разрушение стоек вне зоны их усиления свидетельствует о необходимости разработки новых конструктивных мер по усилению приопорных участков стоек.

### 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. Inzhenernyj 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. Inzhenernyj 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. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096)
  4. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Mervat Hishmah, Kurgin K.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094)
  5. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4
  6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134](http://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.