

## Сравнительный анализ классического и современного методов усиления коротких стоек при больших эксцентриситетах

*П.П. Польской, В.А. Мурадян, А.Г. Никитин*

*Донской государственный технический университет*

*г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Проведено сравнение эффективности традиционного и инновационного методов усиления коротких сжатых стоек работающих при больших эксцентриситетах. Наибольшая несущая способность, согласно экспериментов, получена при усилении стоек внешней продольной композитной арматурой в виде двух полос – ламелей в растянутой зоне в сочетании с поперечными трехслойными хомутами из углеткани, расположенной с шагом 190мм. Характеристики элементов усиления стоек для классического метода получены расчетным путем с использованием наращивания сечения коротких стоек со стороны растянутой зоны. При сравнении стоимости материалов и трудозатрат установлено, что в инновационный метод оказался заметно дороже классического, однако позволяет значительно снизить срок введения в эксплуатацию колонн.

**Ключевые слова:** колонна, стойка, элемент, бетон, железобетон, композитный материал, углепластик.

Повышение эффективности и долговечности строительных конструкций на современном этапе развития строительной индустрии невозможно без использования новых или современных видов материалов и конструкций на их основе. В настоящий момент можно уже четко говорить о том, что к таким видам строительных материалов относятся высокопрочные бетоны и композитные материалы. В первую очередь для строительства это касается композитных материалов на основе углеродных волокон.

Это связано с особенностью таких материалов, как высокая прочность, а для композитных материалов - легкость, повышенная коррозионная стойкость, простота изготовления новых и усиления существующих конструкций, которая заключается в наклеивании композитных материалов на подготовленную железобетонную поверхность.

Не секрет, что все новое, включая строительные материалы и конструкции, должно проходить тщательную экспериментальную проверку и апробацию.

С учетом вышеизложенного, кафедра железобетонных и каменных конструкций ДГТУ, начиная с 2005 года проводит исследования высокопрочных бетонов [1-5], а после 2012 года - проводит обширные эксперименты по комплексному исследованию железобетонных конструкций с использованием стекло и углепластиков в качестве внутренней и внешней рабочей арматуры. Ценность проводимых исследований состоит еще и в том, что испытания проводятся на опытных образцах, близких по своим размерам к натурным.

Результаты таких исследований нашли широкое освещение в отечественной и зарубежной печати. В их числе исследования [6], которые связаны с использованием круглой стекло и углепластиковой арматуры в качестве рабочей. Вопросы использования внешней композитной арматуры в качестве элементов усиления для изгибаемых элементов отражены в работах [7], опубликованных в России и [8-9] - за рубежом.

Наряду с исследованиями технических параметров усиленных конструкций, важно оценить и эффективность использования существующих методов усиления. Настоящая статья посвящена оценке эффективности коротких сжатых элементов с гибкостью  $\lambda_n=10$ , усиленных с использованием бетона и арматуры – классический метод и внешним композитным армированием – инновационный. За основу взяты экспериментальные данные выполненные на кафедре железобетонных и каменных конструкций ДГТУ. Результаты этих опытов приведены в табл. № 1 с целью проведения анализа.

---

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 $\varepsilon_e \cdot 10^{-3}$	Растяжение $\varepsilon_{вт} \cdot 10^{-3}$	Прочность кН $N_y$	Прогобы $f_{мм}^{exp}$	
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 4Ø12 A500 ( $\mu_s=1.45$ ) хомуты – Ø6 B500, $s=180$	ВК	40,6	Эталон	5,53	4,47	422,2	9,15	-
	ВКУ-Х <sub>1</sub>	40,6	Хомут шириной 50мм, шаг 190мм.	6,5	5,68	$\frac{482,5}{482,5}$	9,32	1,4
	ВКУ-Х <sub>1</sub> L <sub>p</sub>	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-Х <sub>4</sub> L <sub>p</sub>	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	$\frac{1,44}{1,16}$

Исследовались образцы гибкостью  $\lambda_{н1} = 10$ , сечением 250x125 (h) мм и длиной 1200 мм. Продольная арматура состояла из 4Ø12 A500, а поперечные вязаные хомуты были изготовлены из Ø6 B500 и установлены с шагом  $s_{wv} = 180$  мм.

Исходя из табл. №1 оптимальным вариантом для сравнения с классическим методом усиления была выбрана стойка ВКУ-Х<sub>1</sub>L<sub>p</sub>, усиленная внешними хомутами шириной 50 мм с шагом 190 мм и двумя углеламинатами толщиной 1,4 мм и шириной 50 мм. Разрушающая нагрузка составила 530 кН, что в 1.26 раза прочнее эталонного образца, который показал прочность 422,2 кН.

Для сравнения экономической эффективности инновационного метода усиления и классического для эталонного образца, согласно [10], была запроектирована набетонка со стороны растянутой грани. В качестве величины внешней нагрузки было принято опытное значение прочности усиленного углепластиком образца – 530 кН.

По результатам расчета получены следующие данные:

Значение коэффициентов А и В для универсального метода расчета:

$$A = \frac{[N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_{sred} - R_{bred} \cdot b(h_0 + a_0)]}{0,5R_{sadd}}$$
$$= \frac{[530 \cdot 10^3 + 435(100) \cdot 2,26 - 400(100) \cdot 2,26 - 18,6(100) \cdot 25 \cdot (10 + 5)]}{0,5 \cdot 435(100)} = -7,34$$
$$B = \frac{0,5[R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_{sred}]^2 + [R_{sc} \cdot A'_{sred} \cdot a' - R_s \cdot A_s \cdot h_0 + N(g - h_0)] \cdot R_{bred} \cdot b}{0,5[R_{sadd}]^2} +$$
$$+ \frac{N[R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_{sred}] + 0,5N}{0,5[R_{sadd}]^2} = \frac{0,5[435(100) \cdot 2,26 - 400(100) \cdot 2,26]^2}{0,5 \cdot [435(100)]^2} +$$
$$+ \frac{[400(100) \cdot 2,26 \cdot 2,5 - 435(100) \cdot 2,26 \cdot 10 + 530 \cdot 10^3 \cdot (11,61 - 10)] \cdot 18,6(100) \cdot 25}{0,5 \cdot [435(100)]^2}$$
$$+ \frac{530 \cdot 10^3 \cdot [435(100) \cdot 2,26 - 400(100) \cdot 2,26] + 0,5 \cdot 530 \cdot 10^3}{0,5 \cdot [435(100)]^2} = 9,19 \text{ см}^2$$

Площадь дополнительной рабочей арматуры:

$$A_{sadd} = -\frac{A}{2} - \sqrt{\frac{A^2}{4} - B} = -\left(-\frac{7,34}{2}\right) - \sqrt{\frac{7,34^2}{4} - 9,19} = 1,60 \text{ см}^2$$

Площадь утраченного сечения арматуры:

$$\Delta A_{sadd} = 0,25 \cdot A_s = 0,25 \cdot 2,26 = 0,565 \text{ см}^2$$

Полная площадь дополнительной арматуры:

$$A_{sadd}^{total} = A_{sadd} + \Delta A_{sadd} = 1,60 + 0,565 = 2,165 \text{ см}^2$$

Принимает 2∅16A500C,  $A_{sadd} = 4,02 \text{ см}^2$ .

Расчетная площадь дополнительной арматуры:

$$A_{sad}^{fact} = A_{sad}^{teor} - \Delta A_{sad} = 4,02 - 0,565 = 3,455 \text{ см}^2$$

Высота сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{[N + R_s \cdot A_{sred} - R_{sc} \cdot A'_{sred}]}{R_{bred} \cdot b} = \frac{[530 \cdot 10^3 + 435(100) \cdot 5,715 - 400(100) \cdot 2,26]}{18,6(100) \cdot 25}$$

$$= 14,8 \text{ см}$$

Несущая способность сечения:

$$\begin{aligned} M_{adult} &= R_{bred} \cdot b \cdot x (h_{ord} - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_{sred} (h_{ord} - a') = \\ &= 18,6(100) \cdot 25 \cdot 14,8(20,78 - 0,5 \cdot 12,69) + 400(100) \cdot 2,26(20,78 - 2,5) = \\ &= 110,3 \cdot 10^5 \text{ Н} > N_{ad} \cdot e_{ad} = 530 \cdot 10^3 \cdot 11,61 = 61,533 \cdot 10^5 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Оценка эффективности рассматриваемых методов осуществлялась на основе сравнения стоимости материалов и трудозатрат.

Перечень и последовательность работ, предусмотренный для **классического** метода усиления следующий:

- при необходимости разгрузить колонну до уровня 65% от предельной нагрузки;
- удаление защитного слоя бетона в местах приварки коротышей;
- нанесение насечки для улучшения сцепления старого бетона с новым;
- изготовление деталей для арматурного каркаса с целью обеспечения совместной работы дополнительной арматуры посредством приваривания ее к существующей арматуре через коротыши;
- приварка коротышей и арматуры усиления к существующей арматуре;
- обеспыливание поверхности колонны сжатым воздухом;
- промывка водой под давлением;
- установка опалубки;

- укладка и уплотнение суперпластичной бетонной смеси под давлением с использованием бетононасосов снизу-вверх через штуцеры;
- снятие опалубки;
- уход за бетоном в течении 28 суток с соблюдением тепловлажностного режима.

Перечень и последовательность работ, предусмотренный для **композитного** метода усиления следующий:

- при необходимости разгрузка колонны до уровня 65% от предельной нагрузки;
- очистка поверхности от цементно-песчаного молока до оголения крупного заполнителя с использованием шлифовальных кругов;
- закругление четырех углов радиусом 2 см;
- обеспыливание поверхности сжатым воздухом;
- покрытие всей поверхности грунтовкой;
- при необходимости – нанесение шпаклевки;
- нанесение первого и последующих слоев клеевого состава;
- последовательное наклеивание трех слоев ткани;
- нанесение финишного слоя клея;
- нанесение крупнозернового песка на финишный слой клея (обсыпка);
- оштукатуривание колонны цементно-песчаным раствором марки 100 по сетке толщиной 20 мм.

Продолжительность работ по усилению стойки с использованием углеламината и трехслойного углехолста составляет с учетом технологии нанесения грунтовки, шпаклевки и клеевого состава – 2,5-3 смены.

Полное отвердевание композитных клеев наступает через 7-8 суток от начала выполнения работ.

Стоимостное выражение вышеперечисленных работ приведено в табл. №2.

Таблица № 2

Сравнение стоимости и трудозатрат работ по усилению опытных колонны железобетоном и композитными материалами.

Способ усиления	Стоимость материалов, тыс.руб.	Стоимость работ, тыс.руб.	ИТОГО, тыс.руб.	Остановка производства для	
				выполнения работ по усилению, дней	набора прочности элемента, дней
Классический	1,058	1,270	2,328	2-4	28
Композитный	10,270	0,885	11,155	2	7-8

Примечание:

1) Рыночная стоимость 1 м<sup>2</sup> углеткани толщиной 0,166 мм по состоянию на сентябрь 2018 г. составляет 6.116 тыс. рублей;

2) Рыночная стоимость 1 м.п. углеламината толщиной 1.4 мм по состоянию на сентябрь 2018 г. составляет 3.071 тыс. рублей;

3) В стоимость 1 м<sup>2</sup> композитной ткани и ламината входит стоимость всех расходных материалов – грунтовки, шпаклевки и клеевого состава;

4) Стоимость работ на устройство набетонки получена согласно сметному расчету в соответствии с расценками по состоянию на сентябрь 2018 г.

Сравнение традиционного и инновационного методов усиления показало, следующее:

- Стоимость усиления композитным методом заметно выше по сравнению с традиционным, так как стоимость углепластика в настоящий момент во много раз превышает стоимость железобетона. Однако стоимость работ при традиционном методе выше.

- Инновационный метод позволяет снизить срок введения колонн в эксплуатацию до 7-8 суток, вместо 28 суток при классическом.

- При усилении без остановки производства важным фактором является отсутствие сварных работ и необходимость использования лесов и специального оборудования.

По совокупности изложенного, самоокупаемость затрат при композитном усилении наступит раньше, что указывает на большую рациональность нового метода.

### Литература

1. Щуцкий В.Л., Чубаров В.Е., Коробкин А.П., Гриценко М.Ю. Исследование трещиностойкости и деформативности цилиндрических опор ЛЭП // Научное обозрение. -2017. -№12  
URL: [sced.ru/ru/index.php?Itemid=156&catid=39&id=618:nauchnoe-obozenie-12-2017&option=com\\_content&view=article](http://sced.ru/ru/index.php?Itemid=156&catid=39&id=618:nauchnoe-obozenie-12-2017&option=com_content&view=article)
2. Щуцкий В.Л., Коробкин А.П., Шевченко А.С., Стельмах С.А. Исследование работы конических опор электропередач в качестве стоек для антенных башенных надстроек // Науковедение, 2017, Том 9, №4
3. Mailyan D.R., Aksenov V.N., Aksenov N.B. Energy-efficient reinforced concrete columns made of concrete, grade B90...B140 // Advances in Intelligent and Soft Computing. 2018. V.692. pp. 536-542.
4. Сухарева А.В., Аксенов В.Н. Сравнительный анализ эффективности использования кесонных перекрытий Skydome в современных многоэтажных зданиях при стандартном шаге колонн // Инженерный вестник Дона. 2016. №4.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3885](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3885)
5. Радченко А.В., Аксенов В.Н. Методы расчета каркасных зданий из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-



этажного жилого дома // Инженерный вестник Дона. 2016. №4.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879)

6. Польской П.П., Хишмах М., Михуб А. О возможности использования круглых углепластиковых стержней в качестве рабочей арматуры для изгибаемых элементов // Научное обозрение. 2012. №6. С. 211-213.

7. Рябинович Л.Р. Мизернюк Б.Н. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций здания и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения // Харьковский ПростройНИИ проект, НИИЖБ – М.: Стройиздат, 1992.-191с.

8. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Behavior of preloaded RC beams strengthened with CFRP laminates // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2006. Vol. 7. №3. pp. 436-444. URL: [link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436](http://link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436).

9. Mander J. B.; Priestley M. J. N., Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete // Journal of structural Engineering. Vol. 114. №8. 1988. URL: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))

10. Польской П.П. Проектирование и расчет железобетонных конструкций, усиленных наращиванием сечений // Учебное пособие. – Ростов – на – Дону: РГСУ, 2011. –163с

### References

1. Shhuckij V.L., Chubarov V.E., Korobkin A.P., Gricenko M. Ju. Nauchnoe obozrenie.-2017.-№12

URL: [sced.ru/ru/index.php?Itemid=156&catid=39&id=618:nauchnoe-obozrenie-12-2017&option=com\\_content&view=article](http://sced.ru/ru/index.php?Itemid=156&catid=39&id=618:nauchnoe-obozrenie-12-2017&option=com_content&view=article)

2. Shhuckij V.L., Korobkin A.P., Shevchenko A.S., Stel'mah S.A. Naukovedenie V 9, №4 2017 URL: [naukovedenie.ru/PDF/43TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN417.pdf)

3. Mailyan D.R., Aksenov V.N., Aksenov N.B. Advances in Intelligent and Soft Computing. 2018. V.692. pp. 536-542.



4. Suhareva A.V., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №4.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3885](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3885)
5. Radchenko A.V., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №4.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879)
6. Pol'skoj P.P., Hishmah M., Mihub A. Nauchnoe obozrenie. 2012. №6. pp. 211-213.
7. Rjabinovich L.R. Mizernjuk B.N. Har'kovskij ProstrojNII proekt, NIIZhB – M.: Strojizdat,1992.pp.-191
8. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Journal of Zhejiang University SCIENCE A. 2006. Vol. 7. №3. pp. 436-444  
URL: [link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436](http://link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436).
9. Mander J. B.; Priestley M. J. N., Park R. Journal of structural Engineering. Vol. 114. №8. 1988. UL: [doi.org/10.1061/ \(ASCE\) 0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)).
10. Pol'skoj P.P. Uchebnoe posobie. Rostov na Donu: RGSU, 2011.pp.163