

---

## Влияние различных факторов на прочность наклонных сечений балок, усиленных двухсторонними композитными хомутами

*П.П.Польской<sup>1</sup>, А.М. Блягоз<sup>2</sup>, Р.Г. Умаров<sup>1</sup>, К.А. Арустамян<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Донской государственный технический университет*

*<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина*

**Аннотация:** Представлены результаты исследования прочности наклонных сечений железобетонных балок, усиленных двухсторонними хомутами из углеткани. Дана оценка эффективности композитного усиления при изменении величины пролета среза, который был равен  $1,5h_0$ ;  $2h_0$  и  $2,5 h_0$ . Одновременно анализировалась степень влияния начальных наклонных трещин на несущую способность наклонного сечения.

**Ключевые слова:** железобетон, балка, арматура, композитные материалы, углепластик, наклонные сечения, хомуты, усиление.

В последние годы в России большое внимание уделяется вопросам использования композитных материалов в строительстве. Речь идет о внедрении стекло- и углепластиков для изготовления различных видов арматуры с целью ее использования для внутреннего и внешнего армирования конструкций. Однако внедрение всего нового и прогрессивного должно базироваться на широкой экспериментальной базе.

С учетом изложенного, на кафедре «ЖБК» ДГТУ продолжают комплексные исследования конструкций, начало которым было положено в 2012 г. Основной объем этих исследований уже опубликован в открытой печати не только в России, но и за рубежом.

В частности, в работах [1-3] приведены данные об использовании внутренней круглой стекло- и углепластиковой рабочей арматуры в качестве основной, либо в комплексно армированных конструкциях с различным сочетанием стальной и композитной арматуры. Работа [4] посвящена исследованию прочности нормальных сечений балок, усиленных арматурой из композита, при различных процентах композитного армирования. Большой объем исследования связан с усилением сжатых элементов внешней композитной арматурой при различных видах напряженно-деформированного состояния.

Это условно центрально сжатые элементы, а также элементы, работающие при малых и больших эксцентриситетах приложения нагрузки [5]

Не менее важными являются вопросы, связанные с внешним армированием приопорных участков балок при действии поперечных сил. Эти исследования частично отражены в работах [6].

Свод правил по усилению железобетонных конструкций композитными материалами в России появился не так давно. Этот нормативный документ открыл дорогу для использования этих материалов для усиления конструкций. Однако этот документ не дает ответы на многие вопросы, в том числе и спорные. Отметим, что это свойственно и зарубежным исследованиям [7-8] и нормам [9-10].

В число спорных входят в том числе вопросы усиления наклонных сечений при действии поперечных сил. В частности, это касается выбора схем композитного усиления наклонных сечений при различных значениях пролета среза, а также наличия начальных трещин.

По СП 164.1325800.2014, поперечная сила  $Q_{fw}$ , определяется по формуле:

$$Q_{fw} = \psi_f (A_{fw} R_{fw} \sin \alpha C_{fw}) / S_f, \quad (1)$$

где используется коэффициент  $\psi_f$ , который учитывает вид поперечной композитной арматуры: 0,95 – если используются замкнутые хомуты и имеет одинаковое значение, равное 0,85 для U-образных и двухсторонних хомутов.

Спорным является именно то, что для разных по степени анкеровки видов хомутов принимается одинаковая эффективность их работы. Однако всем известно, что степень участия любой арматуры – рабочей или поперечной, во многом зависит от длины и качества зоны анкеровки. При наличии наклонных трещин у растянутой зоны, длина зоны анкеровки двухсторонних хомутов возле опоры близка к нулю. К середине зоны среза анкеровка посте-

ленно увеличивается, однако вблизи точки приложения силы, она снова уменьшается при развитии наклонной трещины в сторону действия вертикальной нагрузки. Для U-образных хомутов проблема их анкеровки в растянутой зоне у опоры балок всегда обеспечена. А для двухсторонних хомутов анкеровка отсутствует. Поэтому ответ на вопрос о реальности одинакового значения коэффициента  $\psi_f$  может дать только эксперимент.

### Материалы и методы

Для оценки эффективности работы хомутов разного вида, выполненных из композитных материалов, были поставлены специальные эксперименты с использованием двухсторонних хомутов и выполнено сопоставление полученных результатов с результатами испытания балок, усиленных U-образными хомутами [6]. Для получения достоверных результатов были использованы образцы, конструкция которых была аналогична предыдущим. Аналогичными были и эталонные образцы без усиления.

Балки имели сечение 125x250(h) и длину 2,0 м. Расчетный пролет был принят равным 1,6 м. Рабочая арматура - 2Ø18 A500, монтажная - 2Ø6 B500. Хомуты - Ø3 B500 с шагом 150 мм у опор и 200 мм в зоне чистого изгиба. Конструкция каркасов для эталонных и усиленных образцов приведена на рисунке 1.

Для усиления балок использовались однослойные двухсторонние хомуты из углеткани MBrace Fib CF 230/4900/800. Толщина составляла 0,166 мм, ширина - 20 мм. Шаг хомутов - 140 мм. Прочность данных хомутов по результатам испытания на растяжение составляла 3200 МПа. Схема композитного усиления приопорных участков балок указана на рисунке 2.

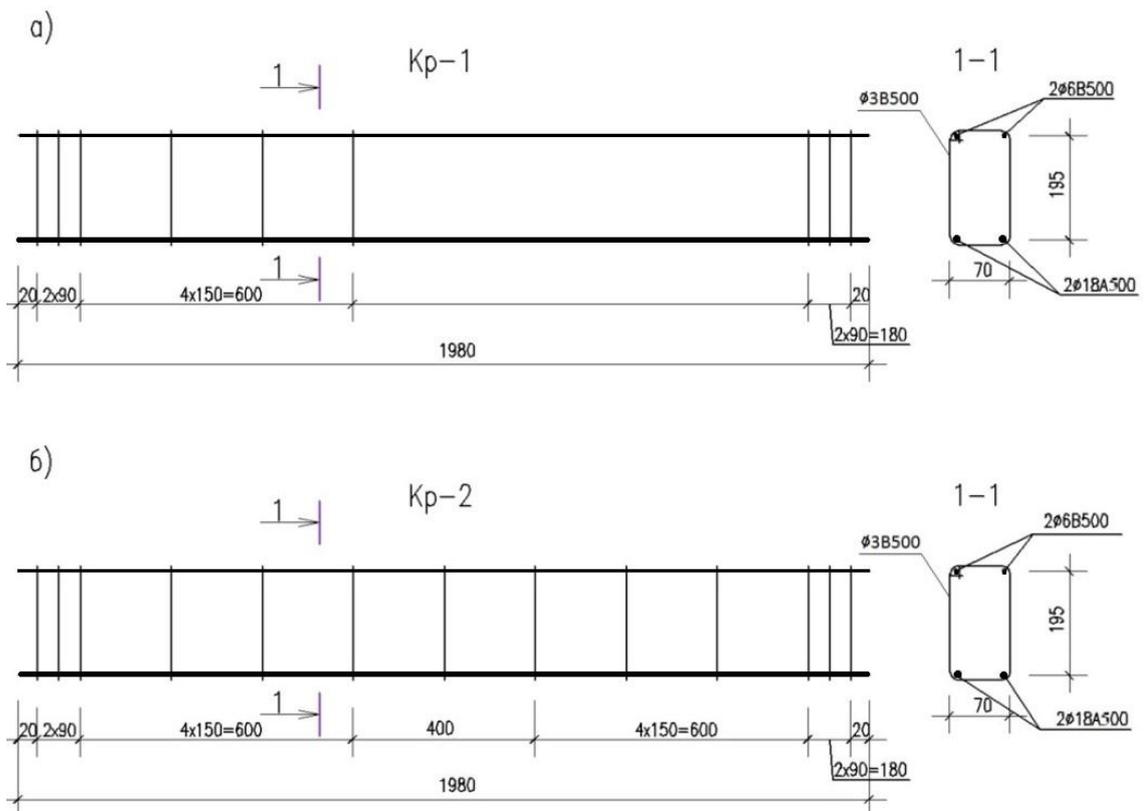


Рис.1 – каркасы эталонных образцов (а)  
 каркасы рядовых образцов (б)

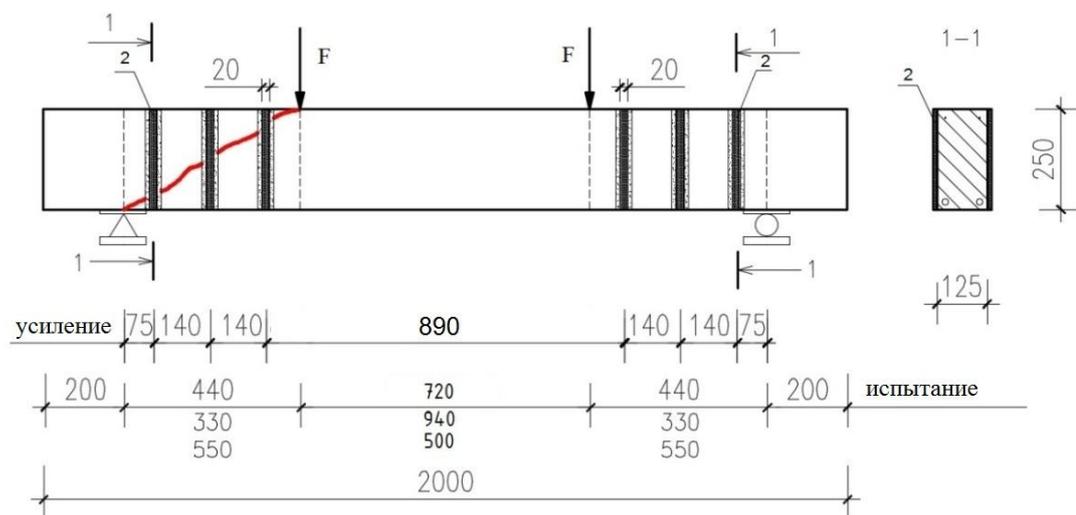


Рис.2 – Схема расположения хомутов

Испытания проводились на 12 балках, 6 – эталонных, 2 с начальными трещинами, при пролете среза  $2h_0$ . Второй приопорный участок был усилен

обоймой из стальных уголков. Схема испытания балок изображена на рисунке 3.

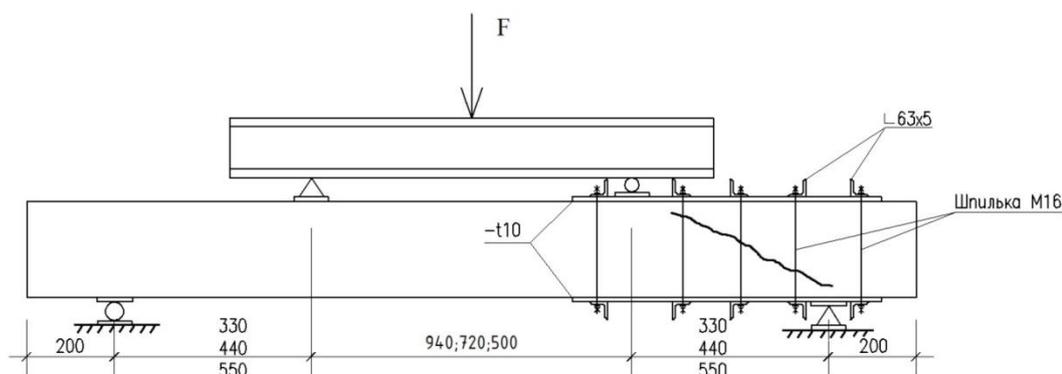


Рис.3 – Схема испытания балок.

Испытания проводились при трех пролетах среза:  $1,5; 2$  и  $2,5 h_0$ .

Каждая балка была испытана два раза, нагрузкой, которая возрастала ступенчато. До начала испытания один приопорный участок усиливался, как представлено на рис. 3. Далее, после разрушения, усиливался и второй, и балка испытывалась повторно. Данная методика помогла увеличить опытные данные вдвое, достоверно имея такие же характеристики материалов образцов.

### Результаты исследования

Испытания показывают, что эффективность поперечного композитного усиления зависит от всех варьируемых факторов: начальных наклонных трещин, пролета среза, вида композитных поперечных хомутов.

Коэффициенты композитного усиления U-образными и двухсторонними хомутами, при изменении пролетов среза приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Пролет среза при испытании	Коэффициент композитного усиления						Среднее зна- чение коэф- фициента $k_f$
	$k_f = Q_{ult}^{red} / Q_{ult}^{ст}$						
	Балки:						
	1	2	3	4	5	6	
<b>Элементы, усиленные U-образными хомутами</b>							
1,5h <sub>0</sub>	$\frac{1,194}{1,084}$	$\frac{1,16}{1,021}$	$\frac{1,079}{0,941}$	$\frac{1,281}{1,078}$	$\frac{1,339}{1,007}$	$\frac{1,39}{1,154}$	$\frac{1,24}{1,048}$
2,0h <sub>0</sub>	$\frac{1,238}{1,035}$	$\frac{1,359}{1,308}$	$\frac{1,234}{1,234}$	$\frac{1,223}{1,159}$	$\frac{1,234}{1,029}$	$\frac{1,309}{1,049}$	$\frac{1,266}{1,136}$
2,5h <sub>0</sub>	$\frac{1,418}{1,308}$	$\frac{1,304}{1,258}$	$\frac{1,456}{1,357}$	$\frac{1,424}{1,117}$	$\frac{1,307}{1,053}$	$\frac{1,309}{1,307}$	$\frac{1,374}{1,024}$
<b>Элементы, усиленные двухсторонними хомутами</b>							
1,5h <sub>0</sub>	$\frac{1,216}{-}$	$\frac{1,114}{-}$	-	-	-	-	$\frac{1,165}{-}$
2,0h <sub>0</sub>	-	-	$\frac{1,129}{1,066}$	$\frac{1,262}{1,004}$	-	-	$\frac{1,195}{1,036}$
2,5h <sub>0</sub>	-	-	-	-	$\frac{1,21}{-}$	$\frac{1,243}{-}$	$\frac{1,226}{-}$

Данные таблицы 1 показывают, что эффективность усиления зависит от величины ширины раскрытия начальных наклонных трещин и вида усиления.

Поперечная сила, воспринимаемая усилением, уменьшается при увеличении раскрытия начальных трещин, а также уровня нагрузки, при котором они появились.

Также эффективность усиления снижается не только с увеличением ширины трещин, но и с уменьшением расстояния до опоры, до точки приложения силы. Это все говорит о том, что учет начальных трещин необходим при расчете такого усиления.

Элементы, усиленные U-образными хомутами без наклонных трещин, испытанные с пролетами среза  $2h_0$  и  $2,5h_0$ , имели почти одинаковые значения  $Qf_1$ . На наш взгляд, это связано с конструктивной длиной анкеровки хомутов. При небольшой  $h$ , она практически отсутствует, хотя должна быть не менее 150 мм с одной и с другой стороны от трещины, особенно если их две. Таким образом минимальная высота усиливаемых балок двусторонними хомутами получается около 450 мм, при меньшей высоте такое усиление нецелесообразно при наличии трещин более 0,4 мм.

С учетом всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) Несущая способность по наклонным сечениям находится в прямой зависимости от выбранного варианта усиления. Для двусторонних хомутов она примерно на 55,5% меньше, что требует корректировки  $\psi_f$ .

2) Большее влияние на снижение несущую способность оказала ширина наклонных трещин более 0,6 мм.

3) Двухсторонние хомуты становятся нецелесообразными в балках с небольшой высотой сечения при наличии начальных трещин.

4) Необходимо учитывать влияние начальных наклонных трещин с помощью коэффициента  $\psi_{f=}$   $\psi_{f*}$ , где:

$$\psi_{f*} = 0,85 - 0,63 \cdot a_{crc}^2 - 0,07 a_{crc}$$

5) При высоте опытных балок 250 мм, двухсторонние и U-образные хомуты показывают не одинаковую эффективность. В связи с этим предлагается принимать коэффициент  $\psi_f=0,9$  для U-образных и  $\psi_f=0,6$  для двухсторонних.

## Литература

1. Ата Эль Карим Шоеаб Солиман. Рациональное использование стеклопластика для усиления элементов бетонных и железобетонных конструкций. Дисс. канд. техн. наук. Белгород, 2005. 144с.
2. Литвинов А.Г. Восстановление и усиление железобетонных конструкций с помощью полимеров // Наука, Образование, Культура. 2010. №2. С.98-103.
3. Бабалич В.С., Казаченко Н.Н. Композитная арматура и области ее целесообразного применения // Успехи современной науки. 2017. №5. С.63-66.
4. 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.
5. Умаров А.Г., Меретуков З.А., Умаров Р.Г. К вопросу внедрения современных материалов и технологий в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833.
6. Shilov A.A., Polskoy P.P., Mailyan D.R., Shilov P.A. Initial crack effect on the strength of oblique cross sections of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber. E3S Web of Conferences.-2019.-Vol.110.-Article 01053.
7. 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.
8. Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers. CSA S806-12. Mississauga, Ontario, Canada: Canadian Standards Association (CSA); 2012.

9. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute 2008, p. 76.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1 // General rules and rules for buildings, 2004, p. 229.

### References

1. Ata El' Karim Shoyeab Soliman. Ratsional'noye ispol'zovaniye stekloplastika dlya usileniya elementov betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy [Rational use of fiberglass to strengthen the elements of concrete and reinforced concrete structures]. Diss. kand. tekhn. nauk. Belgorod, 2005. 144 p.
2. Litvinov A.G. Nauka, Obrazovaniye, Kul'tura. 2010. №2. pp. 98-103.
3. Babalich V.S., Kazachenko N.N. Uspekhi sovremennoy nauki. 2017. №5. pp. 63-66.
4. Pol'skoy P.P., Mailyan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675).
5. Umarov A.G., Meretukov Z.A., Umarov R.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833).
6. Shilov A.A., Pol'skoy P.P., Mailyan D.R., Shilov P.A. Initial crack effect on the strength of oblique cross sections of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber. E3S Web of Conferences.-2019.-Vol.110.-Article 01053.
7. 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).
8. Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers. CSA S806-12. Mississauga, Ontario, Canada: Canadian Standards Association (CSA); 2012.



9. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute 2008, p. 76.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1. General Rules and rules for buildings, 2004, p. 229.