

Исследование сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами по новой методике

С.В. Георгиев¹, З.А. Меретуков², А. И. Соловьева¹

¹ *Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону.*

² *Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп*

Аннотация: Результаты ранее проведенных исследований показали, что от производителя фирмы композитных материалов для усиления железобетонных конструкций, зависит и методика производства работ по усилению, свойства материалов и их конфигурация. Такое положение дел требует изучения свойств материалов, используемых в строительстве.

Этому вопросу и посвящена данная статья. А именно, разработана программа испытаний усиления конструкций неизученными, но наиболее распространёнными композитными материалами в России, в частности, в Ростовской области. Определены параметры усиленных конструкций, которые в процессе испытания будут изучены. Программа эксперимента разработана таким образом, чтобы охватить наиболее важные железобетонные конструкции, используемые в строительстве.

Ключевые слова: бетон, железобетон, композитный материал, углепластик, внешнее армирование, деформации, сжатые элементы.

Как показывает опыт, усиление железобетонных конструкций [1] или восстановление их несущей способности существенно проще и дешевле, чем строительство новых [2], особенно это касается зданий и сооружений, расположенных в условиях тесной застройки городов.

Существующие методы усиления [3,4] позволяют решать поставленные задачи ремонта железобетонных конструкций, однако имеется целый ряд недостатков, которые, в основном, отражаются на трудоёмкости и стоимости выполнения работ.

Изучение свойств композитных материалов [5-7], их совместной работы с бетоном усиливаемых конструкций [8], показало возможности и перспективы их использования в области усиления железобетонных изгибаемых [9,10] и сжатых [11,12] элементов. Проведённые в России [13-15]

и за рубежом [16-18] научные исследования только подтвердили данное убеждение. Поиск новых методов усиления железобетонных конструкций композитными материалами и проведение экспериментальных опытов является перспективной и актуальной работой.

На первом этапе исследования [1] было выполнено сравнение существующих методик усиления железобетонных конструкций композитными материалами. Сравнивались два метода: первый – основывался на ручной обработке поверхности усиливаемых конструкций, с последующим выравниванием поверхности высокопрочной шпаклёвкой. Второй – «мокрый способ», основан на механической зачистке поверхности и наклейке заранее пропитанного клеем холста на поверхность конструкции.

В соответствии с приведенными в работе выводами, была разработана программа по изучению эффективности композитных материалов по новой методике усиления. В качестве материалов усиления использовалась углеткань и клеевая система фирмы ООО «Гидрозо».

Стоит отметить, что кафедра «Железобетонных и каменных конструкций» (ЖиКК) ДГТУ уже последние 10 лет изучает свойства композитных материалов и их влияние на методы увеличения несущей способности железобетонных конструкций [19] и, в частности, композитными материалами [20,21]. Первые исследования кафедры базировались на результатах испытаний конструкций композитными материалами продукции фирмы «BASF» [22], вследствие чего, была определена высокая эффективность материалов усиления [23]. Обработка полученных данных позволила разработать ряд предложений к совершенствованию нормативных методик расчёта [24].

В настоящее время наиболее популярными композитными материалами в России являются продукция фирмы ООО «Гидрозо». При изучении их материалов и рекомендуемой методики усиления оказалось, что имеется ряд

существенных отличий от технологии усиления материалами фирмы ООО «BASF». Отличия касаются как преимуществ, так и недостатков [1], однако, главным вопросом остается надежность системы усиления.

Поиск экспериментальных исследований композитных материалов фирмы ООО «Гидрозо», в области усиления железобетонных конструкций, не дал результатов и было принято решение на кафедре ЖКК ДГТУ выполнить ряд исследований по определению эффективности и надежности клеевой системы и материалов усиления для наиболее распространенных в практике конструкций, а именно: усиление изгибаемых элементов по нормальному сечению и сжатых элементов, усиленных обоймой. Выполненные эксперименты пополнят экспериментальную базу исследований в России.

Программой эксперимента подразумевается изготовить 7 опытных образцов, 3 из которых относятся к области изгибаемых элементов, и 4 железобетонных стоек гибкостью $\lambda_h=10$.

Условно можно разделить эксперимент на два этапа. На первом этапе исследуется влияние углеткани на увеличение прочности изгибаемых элементов по нормальному сечению. Схемы усиления включали наиболее распространенные варианты, используемые в практике. Было принято решение определить эффективность композитного усиления для увеличения прочности и деформативности балки усиленной углетканью, шириной 100мм, в два слоя, а также испытать аналогичную балку с анкерными устройствами, расположенными в области опирания конструкции.

Для определения эффективности композитных материалов в области усиления сжатых элементов, было принято решение испытать 2-е усиленные стойки при эксцентриситете приложения нагрузки 2 см, и при центральной сжатии. Описание схем усиления приведено ниже под заголовком шифр опытных образцов. Для определения эффективности композитных

материалов и прямого сопоставления результатов экспериментов, для каждой серии образцов испытывалась эталонная конструкция без усиления.

Шифр опытных образцов:

1. (Шифр балки – БЭ-1). Эталонная балка, габаритами 2200x125(h)x250 (мм), армированная продольной арматурой, расположенной в растянутой зоне (2Ø10A500), в сжатой (2Ø6B500). Поперечная арматура Ø6B500 с шагом $s_1=100$ мм и $s_2=150$ мм. Проектный класс бетона - В35.

2. (Шифр балки – БС-1). Усиленная балка. Габариты, внутреннее армирование и характеристики используемых материалов совпадают с балкой БЭ-1. Дополнительно балка усилена в растянутой зоне холстом шириной 100мм, длиной 1600мм в два слоя углеткани (Армошел KB500).

3. (Шифр балки – БС-2). Усиленная балка. По всем характеристикам совпадает с балкой БС-1, но дополнительно усиливается U-образными анкерными устройствами в два слоя углепластика (Армошел KB500).

4. (Шифр стойки – КЭ-1). Эталонная стойка, габаритами 1200x125(h)x250 (мм), армированная продольной арматурой (4Ø12A500). Поперечная арматура Ø6B500 с шагом $s_1=180$ мм в середине длины стойки и 150мм на концах. Проектный класс бетона - В35. Стойка испытывается на центральное сжатие.

5. (Шифр стойки – КЭ-2). Проектные габариты, внутреннее армирование и характеристики используемых материалов принимались такими же, как и у стойки КЭ-1. Отличие в том, что стойка испытывается при эксцентриситете приложения нагрузки $e_0=2$ см.

6. (Шифр стойки – КС-1) Усиленная стойка. Проектные габариты, внутреннее армирование и характеристики используемых материалов такие же, как и у эталонной стойки КЭ-1. Однако дополнительно стойка усилена

обоймой в два слоя углеткани Армошел KB500. Стойка испытывается на центральное сжатие.

7. (Шифр стойки – КС-2). Усиленная стойка. Проектные габариты, внутреннее армирование и характеристики используемых материалов аналогичны эталонной стойке КЭ-2. Дополнительно, стойка усилена углетканью Армошел KB900 в виде обоймы в два слоя. Стойка испытывается на внецентренное сжатие, при осевом эксцентриситете приложения нагрузки $e_0=2\text{см}$.

Результаты проведённого экспериментального исследования позволят определить надёжность и эффективность новой методики усиления и композитных материалов, отличающихся от аналогов своей структурой плетения.

Эффективность композитного усиления определяется не только показателями увеличения прочности, но увеличением жесткости и трещиностойкости изгибаемых элементов.

Литература

1. Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьёва А.И. Сравнение методик усиления внешним армированием композитных материалов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221
2. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: Усиление, восстановление, ремонт // М.: А.С.В, 2012. 312 с.
3. Литвинов И.М. Инструкция по усилению и восстановлению железобетонных конструкций методом И. М. Литвинова // Харьков: Харьк. обл. полигр. ф-ка, 1948, 39 с.
4. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий // Томск, Атлас схем и чертежей. 1990. 316 с.

5. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.М. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами // М.: ОАО «Издательство Стройиздат». 2007. 184 с.
 6. Устинов Б.В., Устинов В.П. Исследование физико-механических характеристик композитных материалов (КПМ) // Известия вузов. Строительство. 2009. № 11-12. С.118-125.
 7. Дьяченко А.Г., Ширин А.А. Изучение и сравнение свойств волокон, используемых в композитных материалах // Научные исследования: от теории к практике. 2017. № 1-2 (11). С. 17-20.
 8. Меркулов С.И., Есипов С.М. Экспериментальные исследования сцепления внешней композитной неметаллической арматуры с бетоном // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 93-97.
 9. Гаврилова Е.О. Усиление изгибаемых элементов композиционными материалами // Академическая публицистика. 2021. № 8-2. С. 111-119.
 10. Меркулов С.И., Есипов С.М. Увеличение несущей способности железобетонных изгибаемых конструкций усилением внешним армированием композитным материалом // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 2 (1002). С. 56-57.
 11. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле и стекловолокном Автореферат. дисс. канд. техн. Наук. Москва. 2010. 26с.
 12. Поднебесов П.Г. Результаты исследований прочности и деформативности железобетонных колонн, усиленных обоями // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья, 2015. С. 42-47.
 13. Чернявский, В.А., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 15-16.
-

14. Литвинов А.Г. Восстановление и усиление железобетонных конструкций с помощью полимеров // Новочеркасск: Изд-во «Наука, Образование, Культура», 2010. 103с.
 15. Чернявский В. Л. и др. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами // ООО «ИнтерАква. 2006. 48с.
 16. El-Refaie S.A. Repair and strengthening of continuous reinforced concrete beams // Ph.D. thesis, department of civil and environmental engineering, University of Bradford; UK, 2001. 207P
 17. Arduini, M. and Nanni, A. Behavior of Precracked RC Beams Strengthened With Carbon FRP Sheets. Journal of Composites for Construction. U.S.A. Vol.1, №2, 1997, pp. 63-70.
 18. Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V. and Shehata L.C.D. Strength of Short Concrete Columns Confined with CFRP Sheets. Materials and Structures, Vol. 35, January-February 2002, pp. 50 - 58.
 19. Мурадян В.А. Расчет оптимальной величины защитного слоя бетона колонн квадратного сечения // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1846
 20. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение. 2014. № 12-2. С. 496-499.
 21. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления // Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374.
 22. Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е. Применение углепластиковых ламелей при усилении строительных конструкций // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 12 (64). С. 33-38.
-

23. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение, 2014, № 12-2. С. 496-499.
24. Георгиев С.В. К расчету по прогибам железобетонных колонн, усиленных композитными материалами // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5177.

References

1. Georgiev S.V., Meretukov Z.A., Solov'jova A.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221
2. Ivanov, Ju.V. Rekonstrukcija zdanij i sooruzhenij: Usilenie, vosstanovlenie, remont [Reconstruction of buildings and structures: Strengthening, restoration, repair]. M.: A.S.V, 2012. 312p.
3. Litvinov I.M. Instrukcija po usileniju i vosstanovleniju zhelezobetonnyh konstrukcij metodom I. M. Litvinova [Instructions for the strengthening and restoration of reinforced concrete structures by the method of I. M. Litvinov]. Har'kov: Har'k. obl. poligr. f-ka, 1948, 39 p.
4. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S., Polishhuk A.I. Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nyh konstrukcij avarijnyh i rekonstruiruemyh zdanij. Tomsk, Atlas shem i chertezhej. [Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings. Tomsk, Atlas of diagrams and drawings]. 1990. 316p.
5. Shilin A.A., Pshenichnyj V.A., Kartuzov D.M. M.: OAO «Izdatel'stvo Strojizdat». 2007. 184p.
6. Ustinov B.V., Ustinov V.P. Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 11-12. PP.118-125.
7. D'jachenko A.G., Shirin A.A. Nauchnye issledovanija: ot teorii k praktike. 2017. № 1-2 (11). PP. 17-20.
8. Merkulov S.I., Esipov S.M. Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija. 2017. № 1. PP. 93-97.



9. Gavrilova E.O. Akademicheskaja publicistika. 2021. № 8-2. PP. 111-119.
 10. Merkulov S.I., Esipov S.M. BST: Bjulleten' stroitel'noj tehniki. 2018. № 2 (1002). pp. 56-57.
 11. Kostenko A.N. Prochnost' i deformativnost' central'no i vnecentrenno szhatyh kirpichnyh i zhelezobetonnyh kolonn, usilennyh ugle i steklovoloknom [Strength and deformability of centrally and eccentrically compressed brick and reinforced concrete columns reinforced with carbon and fiberglass] Avtoreferat. diss. kand. tehn. Nauk, Moskva, 2010. 26 p.
 12. Podnebesov P.G. Gradostroitel'stvo, rekonstrukcija i inzhenernoe obespechenie ustojchivogo razvitija gorodov Povolzh'ja, 2015. pp. 42-47.
 13. Chernjavskij, V.A., Aksel'rod E.Z. 2003. № 3. pp. 15-16.
 14. Litvinov, A.G. Vosstanovlenie i usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij s pomoshh'ju polimerov [Restoration and strengthening of reinforced concrete structures using polymers]. Novocherkassk: Izd-vo «Nauka, Obrazovanie, Kul'tura», 2010. 103p.
 15. Chernjavskij V. L. i dr. Rukovodstvo po usileniju zhelezobetonnyh konstrukcij kompozitnymi materialami [Composite Reinforcement Guide for Reinforced Concrete Structures]. ООО «InterAkva. 2006. 48 p.
 16. El-Refaire S.A. Ph.D. thesis, department of civil and environmental engineering, University of Bradford; UK,2001. 207 p.
 17. Arduini, M. and Nanni, A. Journal of Composites for Construction. U.S.A. Vol.1, № 2, 1997, pp. 63-70.
 18. Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V. and Shehata L.C.D. Materials and Structures, Vol. 35, January-February 2002, pp. 50 - 58.
 19. Muradjan V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1846.
 20. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 12-2. pp. 496-499.
-



21. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374.
22. Majackaja I.A., Pol'skoj P.P., Georgiev S.V., Fedchenko A.E. Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2018. № 12 (64). pp. 33-38.
23. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, № 12-2. PP. 496-499.
24. Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5177.