

Сравнение методик усиления внешним армированием композитных материалов.

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: Использование композитных материалов для усиления железобетонных конструкций очень популярно за рубежом, а в последние годы постепенно завоевывает российский рынок строительных материалов. Недостаточно полный объём научно-исследовательской деятельности не позволяет в полной мере использовать композитные материалы в области усиления железобетонных конструкций. К тому же, отсутствует единый сортамент, в котором композитные материалы разных производителей обладают одинаковыми свойствами.

Учитывая непростую политическую обстановку в России, ряд фирм-производителей композитов перестал поставлять свои материалы в страну. В связи с этим, существует необходимость в исследовании новых производителей и их материалов усиления. Учитывая большую ответственность, предъявляемую к проектам усиления несущих конструкций, характер поведения и свойства материалов усиления должны быть изучены.

В данной работе приведено сравнение материалов и методик технологии выполнения работ по усилению 2-х разных фирм, надёжность и эффективность одной из них «BASF» была проверена в результате научно-исследовательских работ, но данная фирма перестала работать в России, другая фирма «Гидрозо» - является наиболее распространённой, но мало изученной. Также в работе приведены все положительные и отрицательные свойства технологий выполнения работ, произведен анализ относительно перспектив использования материалов усиления.

Ключевые слова: бетон, железобетон, усиление, углепластик, композитный материал, арматура, углеткань.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений в их несущих конструкциях могут возникнуть дефекты, такие, как трещины, прогибы, коррозия арматуры, сколы и др., появляющиеся в результате неправильной эксплуатации, перегрузок и воздействия агрессивной среды [1]. Усиление конструкций может быть следствием ошибок строительства или проектирования [2,3]. В качестве материалов усиления используются в основном бетон и металл [4], однако в некоторых случаях использование этих традиционных методов усиления является дорогостоящим, трудоёмким или невозможным для осуществления [5]. Наряду с традиционными методами, в последние десятилетия всё больше развиваются и изучаются

композитные материалы и соответствующие методы усиления. Особенностью композитного усиления является упрощенная методика выполнения работ и минимальный набор инструментов, что делает этот метод более выгодным по сравнению с традиционными [6-8]. Композитное усиление с использованием углеродных холстов является эффективным для железобетонных изгибаемых [9-11], сжатых [12-14] и каменных [15] конструкций. Они обладают малым весом и высокой прочностью [16], а также позволяют производить усиление конструкций почти любой формы. Последние 10 лет, на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» ДГТУ активно ведётся работа по изучению эффективности композитных материалов при усилении железобетонных элементов [17].

В качестве композитных материалов использовалась немецкая продукция фирмы «БАСФ». В процессе ряда экспериментов [18-19] было доказана эффективность этих материалов и всей клеевой системы, результаты научных исследований которых нашли отражение в более 50 научных трудов, над которыми работали такие ученые, как Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В., Шилов А. В., Михуб Ахмад, основные результаты работ отражены в трудах [20-21]. На кафедре были защищены три кандидатские диссертации по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. В практическом применении, на основе полученных исследований, было осуществлено усиление здания автоцентра в городе Аксай [22].

Однако фирма «БАСФ» прекратила свою работу на территории России, в связи с этим стало невозможно использовать их сырьё в практическом применении. Поиски новых фирм, реализующих композитные материалы в Российской Федерации, привели к фирме «Гидрозо». Интерес к изучению материалов фирмы «Гидрозо» возник после изучения характеристик композитных материалов, сопоставив которые, пришли к выводу, что они не

уступают характеристикам материалов фирмы БАСФ [23]. Однако свойства материалов и методика усиления существенно отличаются от ранее изученной.

Согласно [6], основными показателями для углеткани, выступающей в качестве основного материала по усилению, являются модуль упругости и прочность материалов на разрыв, а для клеевой системы - это высокая адгезия материалов усиления и бетона конструкции, которая обеспечивает надежную совместную работу.

Согласно характеристикам завода-изготовителя материалов усиления фирмы «Гидрозо», данные показатели сопоставимы с изученными материалами фирмы «BASF». Однако имеются отличия в плетении композитной углеткани, а также в методике выполнения работ по усилению. Так как для эффективной работы композитных материалов и бетона конструкций важна их совместная работа вплоть до разрушения элемента, данные вопросы весьма актуальны. Как показал анализ опубликованной научной исследовательской деятельности, испытаний данных материалов в России не проводилось.

Цель настоящего исследования - выявить все преимущества и недостатки технологии выполнения работ фирмы «Гидрозо» по сравнению с проверенной технологией фирмы «БАСФ», для выявления всех перспектив и дальнейшего изучения их материалов усиления.

Для понимания темы исследования, ниже представлена технология выполнения работ фирмы «БАСФ», по которой производились ранее оговоренные эксперименты на кафедре ЖиКК ДГТУ.

На первом этапе, с поверхности конструкции убирается цементное молоко с оглавлением щебня, для увеличения площади склеивания бетона и материала усиления. Цементное молоко удаляется механическим методом «вручную», при этом создается неровная поверхность. Далее идет процесс

обеспыливания и обработка специальной грунтовкой, с выдержкой до полного высыхания в течении 3-х дней. На следующем этапе производится выравнивание поверхности с использованием высокопрочной шпаклевки, для обеспечения плотного прилегания материала усиления и бетона конструкции, и процесс снова прерывается на высыхание в течение трёх дней. Заключительным этапом является наклеивание композитного материала, с покрытием слоем клея сверху. Данная технология, клеевая система и материалы усиления подробно описаны в работах [24].

Согласно результатам эксперимента, адгезия обеспечивается на всех этапах испытания, вплоть до разрушения образцов, при этом происходит одновременный отрыв композитного материала вместе с защитным слоем бетона от арматуры, что говорит о надежной работе клеевой системы и методики усиления.

Однако, данная методика, на наш взгляд, имеет целый ряд недостатков, один из которых - высокая трудоемкость выполнения работ, связанная с большим количеством этапов. К тому же после процессов огрунтовывания и зашпаклёвывания требуется прерывать работу на высыхание, при этом увеличиваются сроки выполнения работ. Это может играть ключевую роль при выборе метода усиления, например, для помещений, где недопустимо останавливать производственные процессы.

Следующим недостатком является трудоёмкий и пыльный процесс удаления верхнего цементного слоя бетона до оголения щебня. В лабораторных условиях [24] этот процесс выполняется зубилом и молотком, в промышленных масштабах используется пескоструйная обработка. Выбор данной обработки поверхности бетона вручную очень трудоёмкий и требует особого контроля для избегания повреждения целостности бетона конструкций и, при использовании пескоструйной системы, процесс обработки очень пыльный, что требует освобождения помещения, где

ведутся работы по усилению и последующей уборке помещения. К следующему недостатку можно отнести нерентабельность метода усиления при малых объемах работ. Каждый из этапов требует использования своего состава грунтовки, шпаклёвки, клея, каждый из которых необходимо вскрывать и из-за этого сокращается срок годности материалов, к тому же придётся использовать на объекте большое количество составов с клеевой системой, что повышает трудозатраты.

Методика выполнения работ, предоставленная фирмой «Гидрозо», имеет следующие этапы: на первом этапе предлагается поверхность зашлифовать специальной машинкой с пылесосом, что обеспечит беспыльное, менее трудоёмкое и достаточно технологичное производство. Далее наносится грунтовочный слой, который является также клеем для пропитки материалов усиления. В течение часа обеспечивается его высыхание, а при наличии повреждений и сколов используется шпаклёвка, для выравнивания поверхности, которая изготавливается из той же грунтовки, путём добавления сухой добавки. Это можно отнести к преимуществам универсальности клеевой системы. Использование одного клея для огрунтовывания, наклейки холстов, выравнивания поверхности даёт ряд преимуществ - а именно: отсутствие большого количества разных составов с клеевой системой, а также его маленький перерасход при небольших объёмах. Данные преимущества позволят фирмам, выполняющим усиление, не завышать цены при малых объёмах работ, при этом увеличивается мобильность выполнения работ, а также задействуется меньшее количество специалистов.

К отрицательным особенностям можно отнести процесс наклейки холстов из углеткани «мокрым» способом, при этом материал, заранее обрезанный в соответствии с требуемыми размерами, раскладывается на чистой, ровной поверхности на пленке. При помощи кистей и валиков вся

площадь холста пропитывается эпоксидным клеем, затем процесс повторяется на второй стороне холста до насыщения. После пропитки, холст укладывается на поверхность бетона послойно и разглаживается пластиковым шпателем или руками. На огрунтованную бетонную поверхность наносится первый слой клея, затем укладывается последующий слой пропитанного холста, по принципу: «свежий по свежему». Нанесение клея сверху последнего слоя холста технологией не предусматривается.

Приведенный выше метод наклейки холстов «мокрым способом», с точки зрения удобства выполнения работ, существенно уступает методу, фирмы «БАСФ», где усиление осуществляется сухим способом [24]. Это, в первую очередь, связано с неудобством усиления длинными холстами большепролетных конструкций, к тому же дополнительная пропитка холстов на пленке - это дополнительный этап, который усложняет процесс усиления.

Рассмотрев все плюсы и минусы, приходим к заключению, что методика усиления, разработанная фирмой «Гидрозо», более простая, мобильная и дешёвая в отношении трудозатрат и расхода материалов. К такому выводу пришли, учитывая следующие преимущества: работа беспыльная, отсутствует необходимость прерывания работ между этапами, связанное с высыханием и минимальным количеством используемых составов клевой системы. К недостаткам все же можно отнести ручной способ наклейки холстов «мокрым» способом, что требует технологической доработки данного процесса.

Использование данной методики и материалов усиления фирмы «Гидрозо» однозначно имеет большие перспективы. Однако, проведённый поиск научных исследований, показал, что на территории Российской Федерации экспериментальных исследований не велось и под вопросом остаётся надёжность сцепления и обеспечения совместной работы материала

усиления и бетона конструкции, что и является нашей дальнейшей перспективой.

Литература

1. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: Усиление, восстановление, ремонт // М.: А.С.В, 2012. 312с.
2. Залесов, А.С. Развитие методов расчета железобетонных конструкций в России // 80-летие НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Сборник научных статей. М.: 2007. 5-10с.
3. Гвоздев А.А. Восстановление основных конструкций капитальных зданий и сооружений // Под общей ред. и при участии д.т.н., проф. А.А. Гвоздева. – М: Стройиздат, 1947. 204с.
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. 316с.
5. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях // М: Стройиздат. 1965. 127с.
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.М. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами // М.: ОАО «Издательство Стройиздат». 2007. 184с.
7. Чернявский, В.А., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 15-16.
8. Литвинов, А.Г. Восстановление и усиление железобетонных конструкций с помощью полимеров // Новочеркасск: Изд-во «Наука, Образование, Культура», 2010. 103с.
9. El-Refaire 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

10. 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, No.2, 1997, pp. 63-70.

11. Клевцов В.А., Фаткуллин Н.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов, усиленных внешней арматурой из композитных материалов // Научно-техническая конференция молодых ученых и аспирантов ЦНИИС, 2006.

12. 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.

13. Lilistone D., Jolly C.K. An innovative form of reinforcement for concrete columns using advanced composites, *The Structural Engineer*, Vol. 78, No. 23/24, 5 December 2000.

14. Benzaid R., Mesbah H.A., Amel B. Experimental investigation of concrete externally confined by CFRP composites // 5th International Conference on Integrity-Reliability-Failure (IRF). *Inegiinst engenharia mecanica e gestao industrial*, 2016. pp. 595-602.

15. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных углеродным и стекловолокном. Автореферат. дисс. канд. техн. Наук. Москва. 2010. 26с.

16. Устинов Б.В., Устинов В.П. Исследование физико-механических характеристик композитных материалов (КПМ) // Известия вузов. Строительство. 2009. № 11-12. С.118-125.

17. Польской П.П. Георгиев С.В. О программе исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами на основе углепластика // Научное обозрение. 2014. № 10-3. С. 662-666.

18. 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.

19. 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

20. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. The strength of compressed structures with cfrp materials reinforcement when exceeding the cross-section size. В сборнике: E3S Web of Conferences 2018. С. 02060

21. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement. В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 02026.

22. Шилов А.А. К вопросу усиления каркасно-монолитного здания автоцентра в г. Аксае с использованием композитных материалов // Строительство и архитектура 2015: сб. докл. Междунар. науч-практ. конф. Ростов-на-Дону. 1015. С. 75-78.

23. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона 2013. № 2. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673

24. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Методики усиления углепластиком и испытания коротких и гибких стоек // Научное обозрение. 2014. № 10-2. С. 415-418.

References

1. Ivanov, Ju.V. Rekonstrukcija zdanij i sooruzhenij: Usilenie, vosstanovlenie, remont [Reconstruction of buildings and structures: Strengthening, restoration, repair] М.: А.С.В, 2012. 312p.

2. Zalesov A.S. 80-letie NIIZhB im. A.A. Gvozdeva. Sbornik nauchnyh statej. М.: 2007. 5, 10p.



3. Gvozdev A.A. Vosstanovlenie osnovnyh konstrukcij kapital'nyh zdaniy i sooruzhenij M: Strojizdat. 1947. 204p.
4. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S., Polishhuk A.I. Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nyh konstrukcij avarijnyh i rekonstruiruemyyh zdaniy 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. Mikul'skij V.G., Igonin L.A. M: Strojizdat. 1965. 127p.
6. Shilin A.A., Pshenichnyj V.A., Kartuzov D.M. M.: OAO «Izdatel'stvo Strojizdat». 2007. 184p.
7. Chernjavskij, V.A., Aksel'rod E.Z. 2003. № 3. pp. 15-16.
8. 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.
9. El-Refaire 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.
10. 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, No.2, 1997, pp. 63-70.
11. Klevcov V.A., Fatkullin N.V. Nauchno- tehničeskaja konferencija molodyh uchenyh i aspirantov CNINS, 2006.
12. Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V. and Shehata L.C.D. Materials and Structures, Vol. 35, January-Februarv 2002, pp. 50 - 58.
13. Lilistone D., Jolly C.K. The Structural Engineer, Vol. 78, No. 23/24, 5 December 2000.



14. Benzaid R., Mesbah H.A., Amel B. 5th International Conference on Integrity-Reliability-Failure (IRF). Inegiinst engenharia mecanica e gestao industrial, 2016. pp. 595-602.
 15. 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. 26p.
 16. Ustinov B.V., Ustinov V.P. Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 11-12. pp.118-125.
 17. Pol'skoj P.P. Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 10-3. pp. 662-666.
 18. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 12-2. pp. 496-499.
 19. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374
 20. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. V sbornike: E3S Web of Conferences 2018. pp. 02060
 21. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov AMATEC Web of Conferences 2018. pp. 02026.
 22. Shilov A.A. Stroitel'stvo i arhitektura 2015: sb. dokl. Mezhdunar. nauch-prakt. konf. Rostov-na-Donu. 1015. pp. 75-78.
 23. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P., Georgiev S.V Inzhenernyj vestnik Dona 2013. № 2. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673
 24. Mailjan D.R, Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 10-2. pp. 415-418.
-