

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-395-399>

УДК 69.059.3

Экспериментальные исследования технологии усиления железобетонных колонн углеродными волокнами

Канд. техн. наук, доц. А. С. Молодед¹⁾

¹⁾Киевский национальный университет строительства и архитектуры (Киев, Украина)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. Обычно, чтобы усилить колонну (пилон), увеличивают ее поперечное сечение за счет наращивания, инъектирования укрепляющих растворов и внешнего армирования. Наиболее прогрессивный метод усиления сегодня – внешнее армирование, суть которого состоит в наклеивании на поверхность конструкций высокопрочных полотен, пластин или полосок (ламель) с помощью специальных клеев. Особое внимание ученые уделяют теоретическим и экспериментальным исследованиям конструктивных решений внешнего армирования вертикальных несущих конструкций. К сожалению, результатов таких исследований, например о влиянии технологии выполнения работ на эффективность усиления, фактически нет. Поэтому задача автора состояла в экспериментальных исследованиях влияния технологических факторов на эффективность усиления железобетонных конструкций, воспринимающих усилия на сжатие. Опыты выполнены шестью сериями, в которых с помощью различных технологических факторов изменялась технология проведения работ. Среди основных факторов: наличие/отсутствие острых углов, подготовка основы (грунтование поверхности), способ приклеивания армирующих материалов к конструкции. Критерием оценки эффективности технологии была разрушающая прочность на осевое сжатие усиленных образцов. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что наибольшая несущая способность достигалась на образцах колонн с округленными углами при условии нанесения клея на основу образца и на углеродное волокно (40,6 т). Прочность на сжатие таких образцов на 82,2 % больше, чем контрольных. Прочность усиленных образцов, углы которых не закругляли, оказалась наименьшей – 34,0 т. Для образца, усиленного волокном, пропитанным клеем, показатель увеличился на 74,3 % по сравнению с контрольными образцами. Прочность на сжатие образцов, усиленных углеродным волокном, приклеенным к предварительно нанесенному на основание клею, составила 38,6 т, что на 73,4 % больше, чем прочность контрольных образцов.

Ключевые слова: колонна, усиление, внешнее армирование, несущая способность, углеродное волокно, технология, углы колонны, клей, подготовка основания, технологические факторы, экспериментальные исследования

Для цитирования: Молодед, А. С. Экспериментальные исследования технологии усиления железобетонных колонн углеродными волокнами / А. С. Молодед // *Наука и техника*. 2020. Т. 19, № 5. С. 395–399. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-395-399>

Experimental Research of Technology for Strengthening Reinforced Concrete Columns with Carbon Fibers

O. S. Molodid¹⁾

¹⁾Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

Abstract. Reinforcement of columns (piers) is usually accomplished by increasing cross-section through building-up, injecting reinforcing solutions and external reinforcement. The most and progressive method for strengthening is currently external reinforcement, its essence is to glue high-strength sheets, plates or strips (lamellas) onto structure surface with the help of special adhesives. Scientists pay special attention to theoretical and experimental studies of design solutions for external reinforcement of vertical load-bearing structures. Unfortunately, the results of such studies, for example, influence of technology for execution of works on strengthening efficiency are virtually absent. Therefore, the objective of this paper is to carry out experiments with the purpose to study influence of technological factors on efficiency in strengthening of reinforced concrete structures, which absorb compressive forces. The experimental studies have been made in six series that changed the technology of executed works while using various technological factors. Among the main factors are the following: presence/absence of acute angles; preparation of a base (surface coating); method for gluing reinforcing materials to a structure. A criterion for evaluation of technology efficiency has been breaking strength for axial compression of reinforced samples.

Адрес для переписки

Молодед Александр Станиславович
Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
просп. Воздухофлотский, 31,
03037, г. Киев, Украина
Тел.: +380 67 306-73-59
molodid2005@ukr.net

Address for correspondence

Molodid Oleksandr S.
Kyiv National University
of Construction and Architecture
31, Povitroflotsky Ave.,
03037, Kyiv, Ukraine
Tel.: +380 67 306-73-59
molodid2005@ukr.net

Analysis on the results of experimental studies has shown that the highest load-bearing capacity is achieved while using samples of columns with rounded edges, provided that an adhesive is applied to sample base and carbon fiber (40.6 tons). The compressive strength of such samples is by 82.2 % higher than the strength of control samples. The strength of reinforced specimens with non-rounded edges has appeared to be the lowest one, namely 34.0 tons. Strengthening of the samples with fiber impregnated with an adhesive has increased the indicator by 74.3 % compared to the control samples. The compressive strength of samples reinforced with carbon fiber adhered to the adhesive which is preliminary spread on the basis is equal to 38.6 tons, which is by 73.4 % higher than the strength of the control samples.

Keywords: column, strengthening, external reinforcement, load bearing capacity, carbon fiber, technology, column edges, adhesive, preparation of base, technological factors, experimental studies

For citation: Molodid O. S. (2020) Experimental Research of Technology for Strengthening Reinforced Concrete Columns with Carbon Fibers. *Science and Technique*. 19 (5), 395–399. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-395-399> (in Russian)

Введение

Во время реконструкции домов и сооружений возникает потребность усиления вертикальных несущих железобетонных конструкций (колонн) из-за потери их прочности с течением времени, влияния различных внешних факторов или необходимости увеличения нагрузки (рис. 1). Для новых зданий тоже не исключена подобная необходимость, что связано с использованием некачественных строительных материалов или конструкций, несоблюдением технологии выполнения работ.



Рис. 1. Колонна, которая потеряла прочность от перегрузки и влияния внешних факторов

Fig. 1. Column having lost its strength due to overload and influence of external factors

В практике реконструкции применяют следующие методы усиления железобетонных колонн (пилонов) [1, 2]:

- 1) увеличение поперечного сечения элементов;
- 2) инъектирование укрепляющих растворов;
- 3) внешнее армирование конструкций.

Классическое усиление колонн внешним армированием заключается в устройстве металлической обоймы с предварительно напряженными накладками или стойками. Сегодня этот метод усиления набирает большую популярность, но с использованием различного рода волокон и клеев.

По мнению автора, внешнее армирование – наиболее прогрессивный метод усиления конструкций, который заключается в наклеивании с помощью специальных клеев на поверхность конструкций высокопрочных полотен, пластин

или полосок (ламель). Такие конструктивно-технологические решения позволяют увеличить несущую способность конструкции, фактически не увеличивая ее вес и не меняя сечения. При этом данная технология имеет низкие трудозатраты, короткое время выполнения работ, не нуждается в машинах и механизмах (только ручные инструменты).

Следует отметить, что отечественные и зарубежные ученые особое внимание уделяют теоретическим и экспериментальным исследованиям конструктивных решений внешнего армирования [3, 4]. В частности, иностранными учеными установлены зависимости напряженно-деформированного состояния и прочности на сжатие усиленных колонн от вида их сечения (круглого, квадратного и прямоугольного) [5], от количества приклеенных горизонтальных полос элементов усиления и мест их расположения по высоте [6–8], от прочности бетона и количества наклеенных слоев элементов усиления [9].

Предполагается, что значительное влияние на эффективность усиления конструкций внешним армированием может оказывать технология выполнения работ. Только результаты таких исследований фактически отсутствуют.

Именно поэтому задача автора – экспериментально исследовать влияние технологических факторов на эффективность усиления железобетонных конструкций, которые воспринимают усилия на сжатие.

Основная часть

Основными конструктивно-технологическими и непосредственно технологическими факторами, которые могут влиять на эффективность усиления вертикальных несущих железобетонных конструкций, являются следующие:

- 1) наличие/отсутствие острых углов на поверхности конструкции;
- 2) подготовка основания (грунтование поверхности);
- 3) способ приклеивания армирующих материалов к конструкции.

Для установления зависимости влияния технологических факторов на прочность усиленных фрагментов колонн на сжатие проведен ряд экспериментальных исследований в лаборатории ГП «НИИСП» (г. Киев).

В исследованиях были использованы железобетонные переемычки типа 2 ПБ 10-1 со следующими характеристиками: размер (длина×ширина×высота) – 1030×120×140 мм; класс бетона – С12/15. Такие балки разрезали по длине на фрагменты по 230 мм каждый.

Усиление образцов выполняли обертыванием углеродным однонаправленным волокном всех боковых поверхностей. Экспериментальные исследования производили шестью сериями.

Серия исследований № 1: образцы контрольные, поэтому с ними не выполняли никаких действий (армирование не производилось) (рис. 2).

Серия № 2: углы образцов закругляли, поверхность грунтовали, наносили слой клея, далее приклеивали углеродное волокно и наносили на него один слой клея сверху (рис. 3).

Серия № 3: углы не закругляли, поверхность грунтовали, наносили слой клея, приклеивали углеродное волокно и добавляли еще слой клея.

Серия № 4: углы образцов закругляли, наносили слой клея, приклеивали углеродное волокно и сверху на него наносили новый слой клея.

Серия № 5: углы образцов закругляли, наносили слой клея и поверх – углеродное волокно.

Серия № 6: углы закругляли и приклеивали к поверхности пропитанное клеем углеродное волокно.



Рис. 2. Общий вид неусиленного образца
Fig. 2. General view of non-reinforced specimen



Рис. 3. Общий вид усиленного образца
Fig. 3. General view of reinforced specimen

До начала работ по наклеиванию углеродного волокна выполняли подготовку основания, а именно – очистку щеткой металлических конструкций боковых поверхностей. Это делалось для снятия верхнего слоя бетона, который контактировал с опалубкой, обработанной антиадгезионным средством. Следующим этапом было нанесение на очищенную поверхность грунтовки «Консолид 1» (производства ООО «КОМПОЗИТ», г. Киев) при условии, что это предусмот-

рено технологией усиления [10, 11]. Наносили грунтовку одним слоем щеткой с мягким ворсом с затратами вещества 450 г/м².

С образцами, поверхность которых грунтовали, последующие действия выполняли через 18–24 ч. В иных случаях волокно приклеивали сразу после закругления углов, очищения боковых поверхностей и удаления с них пыли.

На подготовленную поверхность наносили клей «ЭДМОК» (производства ООО «КОМПОЗИТ») и с помощью шпателя «утапливали» в него углеродное волокно. Через 5–10 мин поверхность волокна покрывали еще одним слоем клея «ЭДМОК» так, чтобы он полностью покрывал поверхность. Его нанесение выполняли щеткой с мягким ворсом с затратами вещества 750 г/м² на основание и 500 г/м² – на поверхность волокна.

В серии испытаний № 6 углеродное волокно полностью пропитывали клеем в специальной емкости, после чего наклеивали на поверхность образца. При таком методе приклеивания затраты клея составляли 2270 г/м², что почти в два раза больше по сравнению с предыдущим способом. Также под пропитанным клеем волокном образуются трудноудаляемые воздушные пустоты. Присутствуют неудобства в работе, связанные с оплыванием с волокна излишков клея и его сползанием с конструкции.

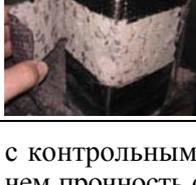
Эксперименты проводились при температуре (15–22) °С на испытательной машине П-125 по схеме осевого сжатия через 96 ч после приклеивания внешнего армирования. Нагрузка к образцу (2,0 т) прикладывалась последовательно. Испытания проводили до полного разрушения образцов.

Результаты исследований и характер разрушения образцов, усиленных разными способами, представлены в табл. 1.

По результатам экспериментальных исследований выявлено, что наибольшая несущая способность достигнута на образцах колонн с округленными углами при условии нанесения клея на основание образца и на углеродное волокно (40,6 т) (серия № 4). Прочность на сжатие таких образцов была на 82,2 % больше, чем прочность контрольных образцов (серия № 1). Почти такой же рост прочности, а именно на 81,7 % в сравнении с контрольными образцами, достигнут на образцах (серия № 2) с дополнительным предварительным грунтованием основания.

Анализируя результаты исследований, можно констатировать, что технологический фактор – грунтование поверхности образцов перед их усилением – не повышает прочность, потому нет целесообразности в выполнении данной операции при усилении колонн.

Результаты экспериментальных исследований по определению разрушающего усилия образцов
Results of experimental studies on determining breaking force of specimens

№ серии	Описание технологии	Среднее разрушающее усилие		Характер разрушения образца	
		т	%	Фото	Описание
1	Армирование не производилось	22,3	100,0		
2	Углы закругленные, поверхность грунтованная, слой клея на основании и на углеродном волокне	40,5	181,7		Полоса волокна (62 мм) разорвалась в верхней части образца. Большая часть разрыва на боковой поверхности. Волокно полностью приклеено к образцу
3	Углы острые, поверхность грунтованная, слой клея на основании и на углеродном волокне	34,0	152,5		Полоса волокна (48 мм) разорвалась в верхней части образца. Весь разрыв произошел в углу. Волокно полностью приклеено к образцу
4	Углы закругленные, слой клея на основании и на углеродном волокне	40,6	182,2		Полоса волокна разорвалась в нижней (52 мм) и средней (23 мм) частях образца. Разрывы произошли на боковых поверхностях. Волокно полностью приклеено к образцу
5	Углы закругленные, слой клея только на основании	38,6	173,4		Полоса волокна (64 мм) оторвалась от напуска в нижней части образца. Разрыв произошел на боковой поверхности. Волокно полностью приклеено к образцу
6	Углы закругленные, углеродное волокно пропитано клеем	38,8	174,3		Полоса волокна (82 мм) оторвалась от напуска в верхней части образца. Разрыв произошел на боковой поверхности. Волокно полностью приклеено к образцу

Прочность на сжатие усиленных образцов, углы которых не закругляли (серия № 3), оказалась наиболее низкой (34,0 т), что на 52,5 % больше при сравнении с контрольными образцами и на 29,7 % меньше, чем прочность образцов серии № 4. Следует отметить, что на таких образцах углеродное волокно разрывалось на углах. Это может свидетельствовать о разрезании волокна острыми углами образцов или об образовании больших напряжений на углах, которые и привели к разрыву волокон.

Результаты экспериментальных исследований образцов серии № 6 показали, что их прочность на сжатие на 74,3 % больше в сравнении

с контрольными образцами и на 7,9 % меньше, чем прочность образцов серии № 4. Нужно отметить, что в реальных условиях строительства такая технология сложная в выполнении, поскольку имеет ряд недостатков, описанных ранее.

Прочность на сжатие образцов серии № 5 составляет 38,6 т, что на 73,4 % больше прочности контрольных образцов и на 8,8 % меньше прочности образцов серии № 4. Такая технология может использоваться в дальнейших исследованиях, а также при выполнении аналогичных работ в строительстве, поскольку отсутствие верхнего слоя клея снижает себестоимость, трудовые затраты и, следовательно, сокращает сроки производства работ.

ВЫВОД

По итогам экспериментальных исследований установлено, что технология выполнения работ по усилению колонн (пилонов) внешним армированием существенно влияет на их прочность. В результате можно констатировать, что острые углы колонн следует округлять, чтобы не вызывать разрыва волокон внешнего армирования;

Грунтовать поверхность необязательно – это не увеличивает прочность усиленных колонн.

Пропитка волокна клеем с его дальнейшим приклеиванием не целесообразна. Такое решение имеет ряд недостатков, а рост прочности усиленной конструкции меньший по сравнению с более простыми решениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремонт и усиления несущих и ограждающих строительных конструкций и основ зданий и сооружений: ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Введен 01.04.2017. Киев: ГП «УкрНДНЦ», 2017. 72 с.
2. Савйовський, В. В. Реконструкція зданий и сооружений / В. В. Савйовський. Киев: Лира-К, 2018. 320 с.
3. Omar Ahmed Farghal Ahmed. Behavior of Axially Loaded Circular RC Column Confined with CFRP Wrapping Sheet / Ahmed Farghal Ahmed Omar, Abd El-Rahman Megahid // Journal of Engineering Sciences, Assiut University. 2006. Vol. 34, No 4. P. 1027–1047.
4. Campione, G. Strength and Strain Enhancements of Concrete Columns Confined with FRP Sheets / G. Campione, N. Miraglia, M. Papia // Structural Engineering and Mechanics. 2004. Vol. 18, No 6. P. 769–790. <https://doi.org/10.12989/sem.2004.18.6.769>.
5. Rocca, S. Review of Design Guidelines for FRP Confinement of Reinforced Concrete Columns of Noncircular Cross Sections / S. Rocca, N. Galati, A. Nanni // Journal of Composites for Construction. 2008. Vol. 1, No 12. P. 80–92. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2008\)12:1\(80\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2008)12:1(80)).
6. Holmes, N. Active Confinement of Weakened Concrete Columns / N. Holmes, D. Niall, C. O'shea // Materials and Structures. 2014. Vol. 48, No 9. 2759–2777. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0352-1>.
7. Ghanem, S. Y. Circular RC Columns Partially Confined with FRP: Theses and Dissertations / S. Y. Ghanem. Kentucky, 2016. 201 p.
8. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Ч. 1: Отечественные эксперименты при статическом нагружении [Электронный ресурс] / И. И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8, № 3. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf>.
9. Hayder Lateef Al-Khafaji. Experimental Investigation of CFRP Wrapped Square Non-Ductile Reinforced Concrete Columns / Hayder Lateef Al-Khafaji. Portland State University Pdxscholar, 2016. 212 p.
10. Савйовський, В. В. Усилення железобетонних балочних конструкцій зовнішнім армуванням / В. В. Савйовський, А. С. Молодед, Н. А. Малец // Управление развитием сложных систем. 2017. № 29. С. 198–204.

11. Технологическая карта на выполнение работ по восстановлению кирпичных, железобетонных конструкций и их защите. Киев: ООО «КОМПОЗИТ», 2009. 7 с.

Поступила 28.02.2018

Подписана в печать 15.03.2019

Опубликована онлайн 30.09.2020

REFERENCES

1. State Standard of Ukraine B.3.1-2:2016. *Repair and Strengthening of Load-Bearing and Protective Building Structures and Foundations of Buildings and Structures*. Kiyev, Ukrainian Research and Training Center of Standardization, Certification and Quality, 2017. 72 (in Russian).
2. Savyovskiy V. V. (2018) *Reconstruction of Buildings and Structures*. Kiyev, Lira-K Publ. 320 (in Russian).
3. Omar Ahmed Farghal Ahmed, Abd El-Rahman Megahid (2006) Behavior of Axially Loaded Circular RC Column Confined with CFRP Wrapping Sheet. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*. 34 (4), 1027–1047.
4. Campione G., Miraglia N., Papia M. (2004) Strength and Strain Enhancements of Concrete Columns Confined with FRP Sheets. *Structural Engineering and Mechanics*, 18 (6), 769–790. <https://doi.org/10.12989/sem.2004.18.6.769>.
5. Rocca S., Galati N., Nanni A. (2008) Review of Design Guidelines for FRP Confinement of Reinforced Concrete Columns of Noncircular Cross Sections. *Journal of Composites for Construction*, 1 (12), 80–92. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2008\)12:1\(80\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2008)12:1(80)).
6. Holmes N., Niall D., O'shea C. (2014) Active Confinement of Weakened Concrete Columns. *Materials and Structures*, 48 (9), 2759–2777. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0352-1>.
7. Ghanem S. Y. (2016) *Circular RC Columns Partially Confined with FRP: Theses and Dissertations*. Kentucky. 201.
8. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. (2016) Analysis of Experimental Studies on the Reinforcement of Reinforced Concrete Structures with Polymer Composite Materials. Part 1. Domestic Experiments under Static Loading. *Internet Journal "Naukovedenie"*, 8 (3). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf>.
9. Hayder Lateef Al-Khafaji (2016) *Experimental Investigation of CFRP Wrapped Square Non-Ductile Reinforced Concrete Columns. Dissertations and Theses*. Portland State University Pdxscholar. 212.
10. Savyovskii V. V., Moloded A. S., Malets N. A. (2017) Reinforcement of Reinforced Concrete Beam Structures with External Reinforcement. *Upravlenie Razvitiem Slozhnykh System [Management of the Development of Complex Systems]*, (29), 198–204 (in Russian).
11. *Technological Map for the Implementation of Work on the Restoration of Brick, Reinforced Concrete Structures and their Protection*. Kiev, LLC "COMPOSITE", 2009. 7 (in Russian).

Received: 28.02.2018

Accepted: 15.03.2019

Published online: 30.09.2020