

**ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТКАНЫХ СЕТОК
ИЗ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН**

**THE USE OF A WOVEN MESH OF CARBON FIBERS
AS EXTERNAL REINFORCEMENT OF CONCRETE ELEMENTS**

О.А. СИМАКОВ

O.A. SIMAKOV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: simakovoa@mgsu.ru

Система внешнего армирования на основе углеродных волокон и эпоксидной матрицы активно применяется для усиления нормальных сечений железобетонных элементов. Вместе с тем данная система не лишена ряда недостатков, которые возможно исключить посредством применения в качестве армирующих элементов углеродных тканых сеток, а матрицу использовать на основе цементного вяжущего. В настоящей статье на основании проведенных экспериментальных исследований представлен анализ возможности применения существующих методик расчета несущей способности усиленных нормальных сечений в случае использования внешнего армирования на основе углеродных сеток и специальных цементных составов.

The system of external reinforcement based on carbon fibers and epoxy matrix is actively used to strengthen the normal cross sections of reinforced concrete elements. Although, this system is not devoid of a number of disadvantages that can be eliminated through the use of carbon grid as reinforcing elements, and the cement matrix. The analysis based on experimental studies of the possibility of using existing methods of calculating the bearing capacity of reinforced normal sections in the case of external reinforcement based on carbon grids and special cement compositions is given in this article.

Ключевые слова: система внешнего армирования, углеродное волокно, углеродные арматурные сетки.

Keywords: external reinforcing system, carbon fiber, textile-reinforced concrete (TRC).

Применение систем внешнего армирования на основе углеродных волокон и эпоксидной матрицы при усилении железобетонных конструкций с учетом имеющихся нормативно методических материалов и накопленного опыта применения [1] стало достаточно заурядным делом. Развитию применения данного способа усиления способствовали проведенные многочисленные испы-

тания, принятые и утвержденные методические документы и альбомы конструктивных решений, а также активное продвижение со стороны производителей данных материалов. Вместе с тем по результатам анализа технологии проведения работ по усилению, а также мониторинга за выполненными объектами [2...4] определены недостатки данного метода и выделены направления даль-

нейшего возможного совершенствования, развития.

Одно из возможных направлений – это применение в качестве армирующих элементов углеродных тканых сеток (рис. 1 – тканая сетка на основе углеродных волокон), а в качестве матрицы – специального материала на основе цементного вяжущего [5...9].

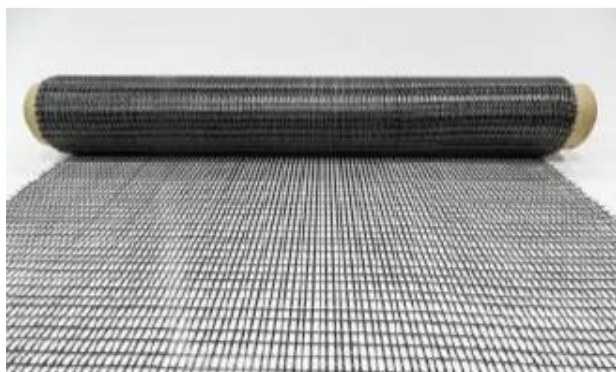


Рис. 1

Армирующим элементом системы внешнего армирования для железобетонных элементов в данном методе являются углеродные волокна. При этом при усилении кирпичной кладки возможно применение других волокон с меньшим модулем упругости, например, стекловолокна, базальтового или арамидного [10]. Это объясняется значением модуля упругости волокон, который для углеволокна (не менее 245 ГПа) примерно соответствует стали (200 ГПа), а для остальных волокон существенно ниже (50...120 ГПа).

Диаграмма деформирования материалов на основе углеродных волокон, однонаправленных лент и сеток представлена на рис. 2.

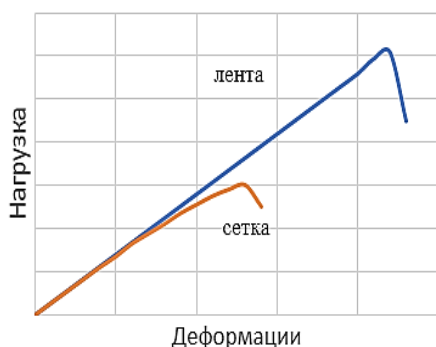


Рис. 2

Нелинейный характер деформирования сетки можно объяснить неосевым расположением волокон (рис. 3 – профиль расположения волокон в тканой сетке), что характерно для волокон по направлению основы и утка. Участок нелинейных деформаций соответствует упругопластической и пластической стадии работы материала (начиная с разрушения матрицы).

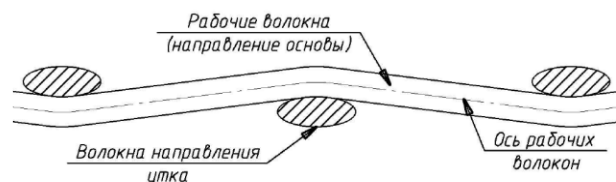


Рис. 3

С учетом нелинейного расположения волокон среднее падение величины прочности материала по отношению к прочности волокон в микропластике для сеток составляет примерно 50%, для лент – до 20%.

Для оценки характера работы данной системы, а также возможности применения существующих методик расчета [11...13] в ООО "НЦК" были проведены испытания натурных образцов: железобетонных балок сечением 250×220 (h) мм, без усиления и с усилением углеродными однонаправленными лентами на эпоксидном составе CarbonWrap Resin 530+, и углеродными сетками на специальном полимер-цементном составе CarbonWrap Repair FS. Принципиальная схема испытания показана на рис. 4 (схема испытания опытных образцов железобетонных балок).

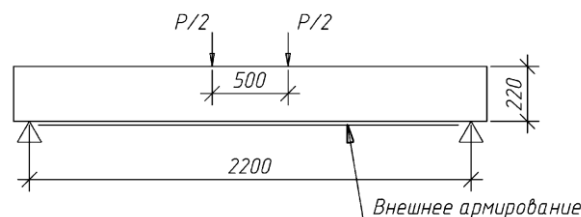


Рис. 4

Результаты испытаний на статическое нагружение приведены в табл. 1. Разрушение всех образцов произошло в результате достижения предельной несущей способности нормального сечения. График нагрузка –

деформация приведен на рис. 5 (диаграмма деформирования экспериментальных образцов).

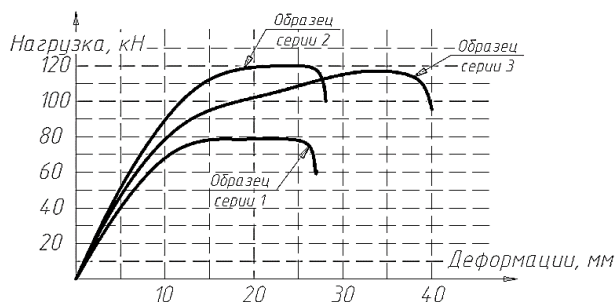


Рис. 5

Общее повышение несущей способности по отношению к эталонному образцу составило 50%. При этом, несмотря на большую

площадь сечения, образец 3 серии (усиление углеродными сетками) показал сопоставимое повышение несущей способности по отношению к образцу 2 серии (усиление углеродными однонаправленными лентами). При этом особое внимание следует уделить характеру деформирования образцов. В работе железобетонных образцов как с усилением, так и без него, можно выделить 3 этапа:

- этап упругой работы (данному этапу соответствует аналитическое значение несущей способности образцов серии 1 и 2);
- этап упругопластических деформаций (в этом этапе расположено значение несущей способности образцов серии 3);
- этап пластических необратимых деформаций.

Т а б л и ц а 1

№ серии	Характеристика образца	Площадь сечения внешнего армирования A_f , мм ²	Предел прочности, кН	Деформация, соответствующая прочности образца, мм
1	Контрольный образец, железобетонная балка сечением 250×220 (h)	-	78,6	13-26
2	Усиление углеродной лентой CarbonWrap Tape 530/150 на связующем CarbonWrap Resin 530+	37,35	117,2	27,5
3	Усиление углеродной сеткой CarbonWrap 600 на составе CarbonWrap Repair FS	47,3	118,6	37,4

На начальном этапе жесткость образцов серии 2 и 3 практически равна. Это полностью соответствует диаграмме на рис. 2. Далее начинает сказываться изменение модуля упругости углеродных сеток и начинается заметно расхождение в графиках деформирования.

Рекомендованная [11...13] методика предполагает линейный характер жесткости усиленных внешним армированием образцов. Момент инерции усиленного сечения определяется по формуле:

$$I_{red} = I + I_s \alpha + I'_s \alpha + I_f \alpha_f, \quad (1)$$

где I , $I_s \alpha$, $I'_s \alpha$ – параметры жесткости бетонного сечения и стальной арматуры; $I_f \alpha_f$ – момент инерции и коэффициент приведения внешнего армирования,

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b}. \quad (2)$$

Теоретическое значение увеличения жесткости составляет для образцов 2 серии примерно 20%, и 12% для образцов 3 серии. Данные значения примерно соответствуют начальному упругому этапу деформирования. Именно для данного этапа (этапа упругих деформаций) предложена методика [11...13]. Применение данной методики для железобетонных элементов, усиленных внешним армированием в виде сеток на цементной матрице, с учетом нелинейных деформаций не обосновано. Этим объясняется значительное расхождение в несущей способности теоретических и фактических значений несущей способности.

В Ы В О Д Ы

1. Усиление внешним армированием на основе тканых углеродных сеток и цементной матрицы является перспективным ме-

тодом усиления железобетонных конструкций, лишенным ряда недостатков, присущих традиционному внешнему армированию на основе однонаправленных волокон и эпоксидной матрицы.

2. Усиленные данным методом нормальные сечения железобетонных элементов имеют выраженную площадку пластических деформаций, что повышает безопасность работы усиленных сечений.

3. Для данного метода усиления требуется специальная методика расчета несущей способности, учитывающая нелинейный характер деформирования материала. Кроме этого необходим комплексный подход в части разработки методик испытания материалов, а также конструктивных решений в части применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tamrazyan A.G., Fedorova N.V.* Reliability assessment of reinforced concrete structures, strengthening by external reinforcement with carbon fiber // *Izv. vuzov. Textile Industry Technology*. – 2016, №6. P.226...231.

2. *Hirai T.* Use of continuous fibers for reinforcing, *ACI Compilation 28 (ACI, Detroit, 1994)*.

3. *Al-Emrani.M., Engstrom.B., Johansson. M.J.* Barande konstruktioner Del1. – Gothenburg, 2011.

4. *Kabantsev O.V., Tamrazian A.G.* Allowing for changes in the calculated scheme during the analysis of structural behaviour // *Magazine of Civil Engineering*. – 49 (5), 2014. P. 15...26.

5. *Triantafillou T.C. and Papanicolaou C.G.* Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets // *Materials and Structures*. – Vol. 39, №8, 2006. P.93...103.

6. *Brückner A., Ortlepp R. and Curbach M.* Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear // *Materials and Structures*. – Vol. 39, № 8, 2006. P. 741...748.

7. *Larrinaga P., García D., Garmendia L. and Díez J.* Experimental study of the flexural behaviour of low performance RC beams strengthened with textile reinforced mortar, in International Conference on Material Science and 64th RILEM Annual Week in Aachen - MATSCI 1 (2010), 1–10.

8. *Mosbasher B.* Mechanics of Fiber and textile reinforced cement composites, CRC, Boca Raton, 2012.

9. *Bournas D. and Lontou P.* Textile-reinforced mortar versus fiber-reinforced polymer confinement in reinforced concrete columns // *ACI Structural Journal*. – №. 104–S70, 2007. P. 740...748.

10. *Грановский А.В., Джамуев Б.К., Симаков О.А.* Применение композитных материалов в качестве систем внешнего армирования для усиления камен-

ных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2017, №9. С. 48...53.

11. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.

12. *Мухамедиев Т.А.* Проектирование усиления железобетонных конструкций внешним армированием композиционными материалами. Бетон и железобетон – взгляд в будущее // *Научн. тр. III Всерос. конф. по бетону и железобетону*. – 2014.

13. *Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В.* Расчет по прочности нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами // *Бетон и железобетон*. – 2013, №6. С.20...24.

REFERENCES

1. *Tamrazyan A.G., Fedorova N.V.* Reliability assessment of reinforced concrete structures, strengthening by external reinforcement with carbon fiber // *Izv. vuzov. Textile Industry Technology*. – 2016, №6. P.226...231.

2. *Hirai T.* Use of continuous fibers for reinforcing, *ACI Compilation 28 (ACI, Detroit, 1994)*.

3. *Al-Emrani.M., Engstrom.B., Johansson. M.J.* Barande konstruktioner Del1. – Gothenburg, 2011.

4. *Kabantsev O.V., Tamrazian A.G.* Allowing for changes in the calculated scheme during the analysis of structural behaviour // *Magazine of Civil Engineering*. – 49 (5), 2014. P. 15...26.

5. *Triantafillou T.C. and Papanicolaou C.G.* Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets // *Materials and Structures*. – Vol. 39, №8, 2006. P.93...103.

6. *Brückner A., Ortlepp R. and Curbach M.* Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear // *Materials and Structures*. – Vol. 39, № 8, 2006. P. 741...748.

7. *Larrinaga P., García D., Garmendia L. and Díez J.* Experimental study of the flexural behaviour of low performance RC beams strengthened with textile reinforced mortar, in International Conference on Material Science and 64th RILEM Annual Week in Aachen - MATSCI 1 (2010), 1–10.

8. *Mosbasher B.* Mechanics of Fiber and textile reinforced cement composites, CRC, Boca Raton, 2012.

9. *Bournas D. and Lontou P.* Textile-reinforced mortar versus fiber-reinforced polymer confinement in reinforced concrete columns // *ACI Structural Journal*. – №. 104–S70, 2007. P. 740...748.

10. *Granovskiy A.V., Dzhamuev B.K., Simakov O.A.* Primenenie kompozitnykh materialov v kachestve sistem vneshnego armirovaniya dlya usileniya kamennykh konstruktsiy // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. – 2017, №9. С. 48...53.

11. СП 164.1325800.2014. Usilenie zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniya.

12. Mukhamediev T.A. Proektirovanie usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy vneshnim armirovaniem kompozitsionnymi materialami. Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushchee // Nauchn. tr. III Vse-ros. konf. po betonu i zhelezobetonu. – 2014.

13. Mukhamediev T.A., Kuzevanov D.V. Raschet po prochnosti normal'nykh secheniy zhelezobetonnykh kon-

struksiy, usilennykh kompozitsionnymi materialami // Beton i zhelezobeton. – 2013, №6. S.20...24.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 17.06.19.
