

УДК 614.012.454

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ «КОЛОННА-УГЛЕПЛАСТИКОВАЯ ЛАМЕЛЬ» ПРИ УСИЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Маяцкая Ирина Александровна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Соппротивление материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, пл. Ю.Гагарина 1); e-mail: irina.mayatskaya@mail.ru;

Демченко Денис Борисович

канд. техн. наук, доцент, руководитель проекта Управления авторского надзора и контроля качества документации ФГУП "Спорт-Ин" (г. Москва); e-mail: denis2711@yandex.ru;

Федченко Анастасия Евгеньевна

ООО «Монолит Констракшн» (г.Симферополь, Крым); e-mail: aefedchenko@mail.ru;

Языев Батыр Меретович

докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Соппротивление материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, пл. Ю.Гагарина 1); e-mail: ps62@yandex.ru;

Аннотация: Железобетонные элементы конструкций в виде колонн, балок, перекрытий повсеместно применяются в конструкциях зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства. В подавляющем большинстве случаев колонны служат опорами для других элементов зданий. Одним из циклов работы железобетонных конструкций является состояние их ремонта и реконструкции, включающие этапы усиления элементов. Возникает проблема усиления железобетонных колонн. В статье рассматривается вопрос об усилении колонн и других элементов конструкций, имеющих цилиндрическую поверхность, полимерными композиционными материалами в виде углепластиковых ламелей. Применение композиционных материалов позволяет увеличить срок эксплуатации и прочность железобетонных конструкций, применяемых в строительстве.

Ключевые слова: конструкция, колонна, сооружение, полимерный композиционный материал, ламель, углепластик, оптимальность.

OPTIMIZING OF SYSTEM "COLUMN-CFRP LAMELLAS" WITH THE STRENGTHENING OF CIVIL STRUCTURES

Irina Mayatskaya

Ph.D. in Engineering, associate professor of Strength of materials of Don State Technical University (DSTU); e-mail: irina.mayatskaya@mail.ru;

Denis Demchenko

Ph.D. in Engineering, associate, project leader of field supervision management and quality control documentation FSUE "Sport-In"(Moscow); e-mail: denis2711@yandex.ru;

Anastasia Fedchenko

"Monolith Construction" (Simferopol, Crimea); e-mail: aefedchenko@mail.ru;

Batyr Yazyev

Doctor of Engineering, Professor, professor of Strength of materials of Don State Technical University (DSTU); e-mail: ps62@yandex.ru;

Abstract. Reinforced concrete elements of structures in the form of columns, beams, ceilings are widely used in the construction of buildings and structures of industrial and civil construction. In most cases, the columns serve as supports for other building elements, for example, crossbars, slabs, girders, beams. One of the cycles of the work of reinforced concrete structures is the state of their repair and reconstruction, including the stages of strengthening the elements. There is a problem of strengthening of reinforced concrete columns. The article deals with the issue of reinforcing columns and other structural elements having a cylindrical surface, with polymeric composite materials in the form of carbon fiber lamellae. The use of composite materials allows to increase the service life and strength of reinforced concrete structures used in construction.

Keywords: structure, column, structure, polymeric composite material, lamellas, carbon plastic, optimality.

Качество строительства зданий и сооружений постоянно повышается. Но на практике много сооружений, которые требуют ремонта и продления срока их эксплуатации [1 – 5]. Опыт показывает, что, к сожалению, в практике строительства есть еще объекты, на которых допущены дефекты, снижающие эксплуатационные свойства сооружений еще в процессе возведения здания и тоже требуют усиления конструкций (рис. 1). Если вовремя не устранить такие дефекты, то они могут вызвать серьезные повреждения несущих конструкций. Очень часто ремонту подвергаются колонны зданий.



Рис. 1. Усиление колонн недостроенного здания, г. Ростов-на-Дону, улица Леваневского, 35

Чаще всего причиной разрушения железобетонных конструкций являются пустоты, трещины, коррозия металлической арматуры, нарушения

устойчивости и прочности оснований и фундаментов, а также нарушения технологии строительства, и реже всего ошибки проектирования.

Нагрузки на железобетонные конструкции в зданиях возрастают в связи со строительством 16 – 24 этажей и более. Нагрузки на колонны тоже возрастают, поэтому дефекты в этих сооружениях встречаются гораздо чаще.

При усилении железобетонных колонн могут использоваться следующие методы усиления: наклеивание на поверхность, вклеивание в штрабу, обертывание. Колонны еще заключаются в металлические обоймы и затем бетонируются.

Целью исследования является нахождение наилучшего решения усиления конструкции колонны с углепластиковыми ламелями, расположенными вдоль оси. При оптимизации системы «колонна – ламель» необходимо рассмотреть наилучшие способы их соединения и технологию производства. Одним из наилучших решений является сочетание углепластиковых ламелей и углеродных тканей с мокрой пропиткой при усилении железобетонных колонн [5 – 11]. Такой вариант подтверждается экспериментальными исследованиями.

При нахождении оптимального решения системы «колонна – ламель» можно идти двумя путями [10]:

первый – взаимное расположение полос и колонны: вдоль оси, поперек оси, под углом; на практике доказано, что рациональным является продольное расположение ламелей;

второй – изменение формы и шероховатости самой ламели; данное направление не изучено, так как выпускаются ламели с шероховатой поверхностью с одной стороны и гладкой с другой с сечением прямоугольной формы толщиной 1,2 мм и шириной 50 мм и 100 мм.

Необходимо изучение этого направления как с точки зрения прочностного поведения системы «колонна – ламель», так и рассмотрения технологических возможностей оборудования для производства ламелей. Для

получения отверстий в виде веретена, расположенных в шахматном порядке на поверхности полосы, можно использовать подвижную формирующую головку экструзионного оборудования. Если нужно получить отверстия более сложной формы, например, гексагонального многоугольника (типа сот), круглой или прямоугольной, то можно применять лазерную резку. Хотя это ведет к удорожанию продукции.

Проведенные эксперименты показали, что имеются различия при усилении растянутой или сжатой зоны усиливаемого элемента. Если исследованию усиленных растянутых элементов, посвящено достаточно внимания, то исследованию усиленных сжатых элементов уделено мало работ. Хотя при внецентренном сжатии колонн и при изгибе балок с усилением с помощью полос в сжатой зоне происходит отслаивание ламелей от бетонного основания.

Усиление колонн углепластиковыми ламелями проводилось в продольном направлении полосами шириной 50мм и толщиной 1,2 мм только в растянутой зоне образцов, испытываемых с эксцентриситетом (рис. 2). Продольное и поперечное армирование такое же как для испытаний без усиления. Стойки имеют сечение 250x125(h) мм, высотой 1200 мм и 2400 мм с гибкостью $\lambda_h=10$ и $\lambda_h=20$, бетон класса В30 и В35, армирование – 4Ø12 А500С, $A_s=4,52 \text{ см}^2$, $\mu_f=1,45\%$.



Рис. 2. Углепластиковая ламель

При испытании длинных и коротких колонн на внецентренное сжатие усиленных углепластиковыми ламелями в растянутой зоне происходит искривление прямолинейной формы равновесия без отрыва ламелей (рис. 3, 4).



Рис. 3. Искривление длинной колонны, усиленной с одной стороны двумя ламелями при внецентренном сжатии



Рис. 4. Искривление короткой колонны, усиленной с двух сторон двумя ламелями при внецентренном сжатии

Для испытаний колонн применялись два вида углепластика: однонаправленная углеткань и полосы на основе углеродных волокон (ламели). Ламели располагались в продольном направлении с одной стороны, а углеткань наматывалась в радиальном направлении в три или пять слоев. Использовались ламели MBrace® LAMCF210/2800.50×1,2.100me. Для хомутов из углеткани применялся материал MBrace® CF240/4900,450g/5.50.100m.

Применение хомутов не давало выпучиваться ламелей, приклеенных к длинной колонне. А при испытаний коротких колонн этот эффект не наблюдался. На сжатой стороне колонны происходил отрыв ламелей от бетонной поверхности.

В результате совместного сопротивления нагрузкам колонны и ламели можно рассмотреть цилиндрический изгиб балки-полосы из углепластика на упругом бетонном основании, равномерно нагруженной по всей поверхности [11]. Цилиндрическая жесткость при изгибе балки-полосы определяется по формуле:

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала ламели; t – толщина ламели; μ – коэффициент Пуассона материала, равный $\mu = 0,4$.

Параметр β определяется следующим образом:

$$\beta = \frac{a}{2} \sqrt[4]{\frac{k}{4D}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент постели бетонного основания $k = 8000-1500 \text{ МН/м}^3$; a – длина ламели.

При значениях β до значения 1,575 изгибающий момент принимает экстремальное (максимальное) значение только в центре балки-полосы при $x=0$. При значениях $1,575 \leq \beta \leq 3,927$ изгибающие моменты достигают экстремальных значений в трех сечениях: в центре – минимум, а в двух, симметрично расположенных относительно центра, – максимум [11]. Эпюры изгибающего момента M_x для некоторых значений β показаны на рис. 5.

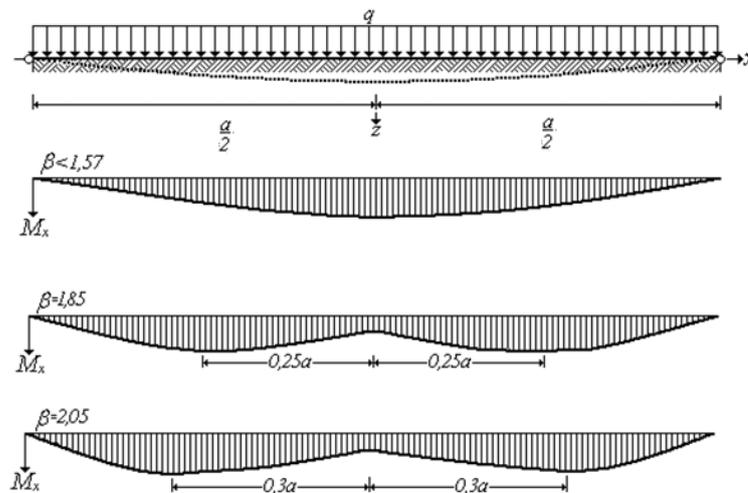


Рис. 5. Эпюры изгибающего момента M_x ламели на упругом бетонном основании

Надо отметить, что экстремальные значения моментов и соответственно максимальные значения напряжений зависят от коэффициента β (табл. 1).

При $\beta < 1,575$ ламели на колонне лучше усиливать в центре полосы хомутами не менее 10 см. При больших значениях β нужно проводить усиление на расстоянии $x_0 = a\xi$ от центра ламели, где изгибающий момент равен

максимальному значению. Значения ξ можно найти в [11] или надо решить уравнение:

$$\frac{\operatorname{tg}\beta \cdot \operatorname{th}\beta - 1}{\operatorname{tg}\beta \cdot \operatorname{th}\beta + 1} \cdot \frac{\operatorname{th}\frac{2\beta}{a}\xi}{\operatorname{tg}\frac{2\beta}{a}\xi} = 1. \quad (3)$$

При сжатии колонн и при изгибе балок с усилением с помощью полос происходит отслаивание ламелей от бетонного основания. Для устранения данного дефекта ламели закрепляют на бетонном основании не только с помощью клея но и холстами на основе однонаправленных углеродных волокон от 3 до 5 слоев. Расположение хомутов зависит от параметра β , который определяется длиной ламели, коэффициентом постели бетонного основания и цилиндрической жесткости прямоугольной пластины ламели.

Таблица 1

Значения параметра β

Марка ламели	Толщина ламели, t , мм	Прочность при растяжении, $\sigma_{вр}$, МПа	Модуль упругости E , ГПа	Цилиндрическая жесткость, D , Н·м	β
Длина полосы $a=1$ м, коэффициент Пуассона 0,4					
Sika Carbodur S	1,2	3050	165	28,29	>1,45
	1,4			44,92	>1,29
FibARM Lamel	1,2	1300-2800	165-300	28,29-51,43	>(1,45-1,25)
	1,4			44,92-81,67	>(1,29-1,112)
MBrace Laminate CF	1,2	1300-3000	165-300	28,29-51,43	>(1,45-1,25)
	1,4			44,92-81,67	>(1,29-1,112)
Длина полосы $a=2$ м, коэффициент Пуассона 0,4					
Sika Carbodur S	1,2	3050	165	28,29	>2,9
	1,4			44,92	>2,58
FibARM Lamel	1,2	1300-2800	165-300	28,29-51,43	>(2,9-2,49)
	1,4			44,92-81,67	>(2,58-2,225)
MBrace Laminate CF	1,2	1300-3000	165-300	28,29-51,43	>(2,9-2,49)
	1,4			44,92-81,67	>(2,58-2,225)

Для коротких ламелей достаточно закрепление ближе к концу ламели на расстоянии $x_0 = \xi \cdot a$ от центра ламели, где изгибающий момент равен

максимальному значению. Для длинных ламелей еще необходимо поставить хомут по середине полосы. При малых значениях параметра β , при $\beta < 1,575$, ламели на колонне лучше усиливать в центре полосы хомутами не менее 10 см.

Наиболее возможными элементами усиления колонн являются углеродные ламели. Так как эта лента обладает высокой прочностью на растяжение и жесткостью. Применение углеродных ламелей позволяет восстанавливать и увеличивать несущую способность колонн и большепролетных конструкций.

Одним из дальнейших направлений исследований является использование ламелей при усилении строительных конструкций методом торкретирования. В этом случае бетон на поверхность наносится послойно. В местах усиления предлагается использовать в промежуточных слоях ламели сложной формы, например, полосы с шероховатой или рифленной поверхностью с двух сторон и отверстиями в виде сот или веретена в шахматном порядке.

Поиск оптимальных вариантов усиления строительных конструкций полимерными композиционными материалами актуален, особенно в наше время.

Литература

1. Аксёнов В.Н., Маилян Д.Р. Поиск оптимального решения колонн из высокопрочных бетонов // Вопросы повышения эффективности строительства: межвузовский сборник.– Нальчик: Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия, 2006.– Вып. 3. – С. 47-54.
2. Аксёнов В.Н. Проектирование сжатых железобетонных элементов в условиях современного строительства // Известия Ростовского гос. строит. университета.– 2007.– №11. – С. 318.
3. Маяцкая И.А., Федченко А.Е Усиление конструкций архитектурных памятников с помощью полимерных композиционных материалов // Международный научно-исследовательский журнал.– Екатеринбург, 2017.– № 05(59), Часть 1, – С. 58–61.
4. Маяцкая И.А., Еремин В.Д., Федченко А.Е Сборные железобетонные конструкции и их усиление полимерными композиционными материалами// Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. «Инновационные технологии при решении технических задач», 5сентября, г.Волгоград.– Уфа: Аэтерна, 2017. – С. 37–39.
5. Mailyan D., Deduh D. A.,Polskoi P, Georgiev S. V. About designing of reinforced concrete beams with changing cross sections of composite reinforcement as strengthening //GJPAM-RIP-Global Journal of Pure and Applied Mathematics (ISSN09731768-India-Scopus), 01, 210015, 2016.
6. Mayatskaya I. A., Fedchenko A. E., Demchenko D. B. Strengthening of building structures with polymer composite materials // Solid State Phenomena, 2017, 265 SSP, pp. 91-96

7. Mayatskaya I. A., Fedchenko A. E., Sagutin D. S. Strengthening of the mini silo construction made of reinforced concrete blocks with carbon fiber lamellae // *Solid State Phenomena*, 2017, 265 SSP, pp. 86-90
8. Васильев В. В., Протасов В.Д., Болотин В.В. Композиционные материалов: Справочник / В. В. Васильев, Ю.М. Тарнопольский. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
9. Аксёнов В.Н., Маилян Д.Р. Работа железобетонных колонн из высокопрочного бетона // *Бетон и железобетон.*– 2008.– № 6. – С. 5–8.
10. Маяцкая И.А., Федченко А.Е, Демченко Д.Б. Вопросы оптимальности при усилении строительных конструкций полимерными композиционными материалами// *Материалы науч.-практ. конф. «Строительство и архитектура – 2017. Факультет промышленного и гражданского строительства», 28–30 ноября, Донской гос. техн. ун-т.– Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. – С. 195–205.*
11. Демченко Д.Б., Маяцкая И.А., Полисмаков А.И. Численная реализация задачи об изгибе балки-полосы на упругом основании методом конечных разностей // *Молодой исследователь Дона.– Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017.– № 2(5), 2017, – С. 81–94.*

References

1. Aksenov V.N., Mayilyan D.R. Search for the optimal solution of columns made of high-strength concrete // *Issues of increasing the efficiency of construction: interuniversity collection .– Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy, 2006.– Vol. 3. - pp. 47-54.*
2. Aksenov V.N. Design of compressed reinforced concrete elements in the conditions of modern construction // *Izvestiya Rostov state. builds. University .– 2007.– №11. - p. 318.*
3. Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E. Strengthening the structures of architectural monuments using polymer composite materials // *International research journal.– Yekaterinburg, 2017.– No. 05 (59), Part 1, - pp. 58–61.*
4. Mayatskaya IA, Eremin VD, Fedchenko AE Precast reinforced concrete structures and their reinforcement with polymer composite materials. scientific and technical conf. "Innovative technologies in solving technical problems", September 5, Volgograd - Ufa: Aeterna, 2017. - pp. 37–39.
5. Mailyan D., Deduh D. A.,Polskoi P, Georgiev S. V. About designing of reinforced concrete beams with changing cross sections of composite reinforcement as strengthening //GJPAM-RIP-Global Journal of Pure and Applied Mathematics (ISSN09731768-India-Scopus), 01, 210015, 2016.
6. Mayatskaya I. A., Fedchenko A. E., Demchenko D. B. Strengthening of building structures with polymer composite materials // *Solid State Phenomena*, 2017, 265 SSP, pp. 91-96
7. Mayatskaya I. A., Fedchenko A. E., Sagutin D. S. Strengthening of the mini silo construction made of reinforced concrete blocks with carbon fiber lamellae // *Solid State Phenomena*, 2017, 265 SSP, pp. 86-90
8. Vasiliev V.V., Protasov V.D., Bolotin V.V. Composite materials: Handbook / V.V. Vasiliev, Yu.M. Tarnopolsky. - М .: Mashinostroenie, 1990 .-- 512 p.
9. Aksenov V.N., Mayilyan D.R. The work of reinforced concrete columns made of high-strength concrete // *Concrete and reinforced concrete .– 2008.– No. 6. - pp. 5–8.*
10. Mayatskaya I.A., Fedchenko A.E, Demchenko D.B. Optimality issues in strengthening building structures with polymer composite materials // *Materials of scientific-practical. conf. "Construction and architecture - 2017. Faculty of industrial and civil construction", November 28-30, Donskoy state. tech. un-t - Rostov-on-Don: DSTU, 2017. - pp. 195–205.*

11. Demchenko D.B., Mayatskaya I.A., Polismakov A.I. Numerical implementation of the problem of bending a beam-strip on an elastic foundation by the finite difference method // Young researcher Don.– Rostov-on-Don: DSTU, 2017.– № 2 (5), 2017, - pp. 81–94.