

М.Н.Борлаков, студент магистратура

К. У.Алиев, доцент кафедры «строительство и управление

недвижимостью»

2 курс, факультет «Промышленное и гражданское строительство»

Северо-Кавказская государственная академия

Россия, г. Черкесск

УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМОЙ БАЛКИ С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА.

Аннотация. Статья посвящена расчету по усилению изгибаемых конструкций с применением углепластиковой арматуры .

Ключевые слова: углепластик .

M.N.Borlakov, Master's degree student
K.U.Aliyev, Associate Professor of the Department of "Construction and
Real Estate Management"
2nd year, Faculty of Industrial and Civil Engineering
North Caucasus State Academy
Russia, Cherkessk

REINFORCEMENT OF THE BENT BEAM WITH EXTERNAL CARBON FIBER REINFORCEMENT.

Annotation. The article is devoted to the calculation of the reinforcement of bendable structures using carbon fiber reinforcement.

Keywords: carbon fiber .

Расчетная оценка усиленных углепластиком образцов.

Были взяты на исследование бетонные перемычки с габаритами $L=1290\text{мм}$, $b=190\text{мм}$, $h=120\text{мм}$.

Для наружного усиления в растянутой зоне балки принял углепластик от компании Sika 230C.

Расчетные характеристики бетона и углепластика.

Бетон класса В30: $R_b = 17\text{МПа}$, $R_{bt} = 1,75\text{МПа}$, $E_b = 30000\text{МПа}$.

Углепластик Sika 230C:

$R_{carbon} = 4300\text{МПа}$, $E_s = 238000\text{МПа}$, $t = 0.131\text{мм}$.

Для исследования усиленных образцов я исключил применение арматуры в теле бетона да бы избежать ее влияние на полученный результат.

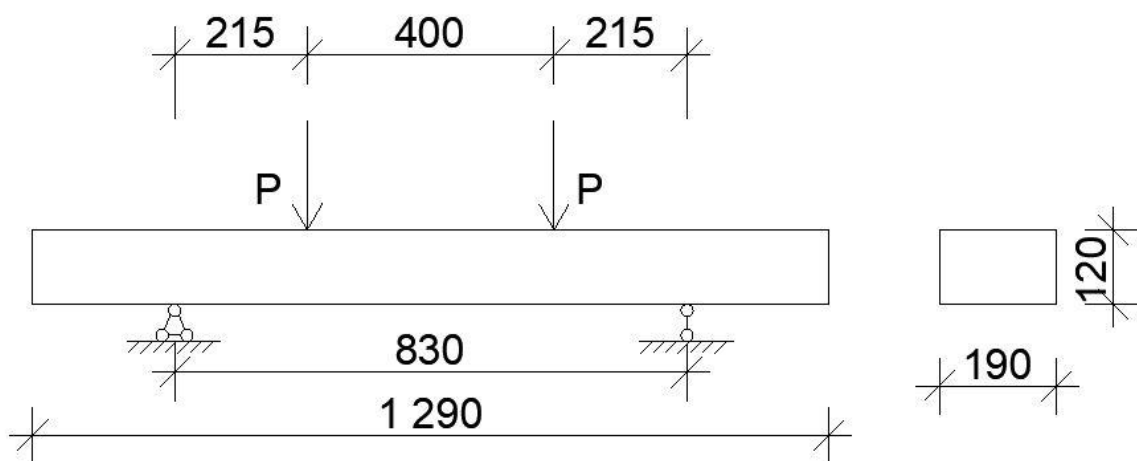


Рис. 1 Схема балки для ее последующих расчетов

Расчетная прочность материалов внешнего армирования (углепластика) на растяжение R_f с учётом коэффициентов надёжности условия работы γ_{f1} γ_{f2} γ_f определяется по выражению:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \gamma_{f2} R_n}{\gamma_f}$$

где γ_{f1} коэффициент условий работы, согласно СП 164.1325800.2014 для углеродной ткани при использовании его во внутренних помещениях и нормальной влажности равен 0,9; R_n - нормативная прочность на растяжение; γ_f - коэффициент надежности, при расчете по предельным состояниям первой группы - 1,1. γ_{f2} коэффициент условий работы композитного материала, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном, определяемый по формуле Тогда

$$R_{ft} = \frac{0,9 * 0,9 * 4300 \text{ МПа/см}^2}{1,2} = 2902,5 \text{ МПа/см}^2$$

При подборе площади сечения внешнего армирования из углепластика нельзя допускать что бы граничные проценты армирования были превышены чем установлено в СП бетонные железобетонные конструкции без предварительного напряжения.

Значение граничной относительной высоты сжатой зоны бетона ξ_{RF} определяют по следующей формуле

$$\xi_{RF} = \frac{X_{Rf}}{h} = \frac{\omega}{1 + \frac{R_{fu}}{\epsilon_{bu1} E_f} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}$$

где ϵ_{bu1} принимается равным ϵ_{bu0} для непродолжительного действия нагрузки и ϵ_{bu2} для продолжительного, в соответствии с СП 52 - 101-2003.

$$\epsilon_{bu0} = 0,002$$

$$R_{ft} = 3518,2$$

ω - характеристика сжатой зоны бетона определяется по следующей формуле: $\omega = 0,85 - 0,008 R_b$ тогда ω равна 0.714

Следовательно относительная граница сжатой зоны бетона равна усиленным углепластиком равна

$$\xi_{RF} = \frac{0,714}{1 + \frac{2902,5 \text{ МПа}}{0,002 * 238\,000} \left(1 - \frac{0,714}{1,1}\right)} = 0,227;$$

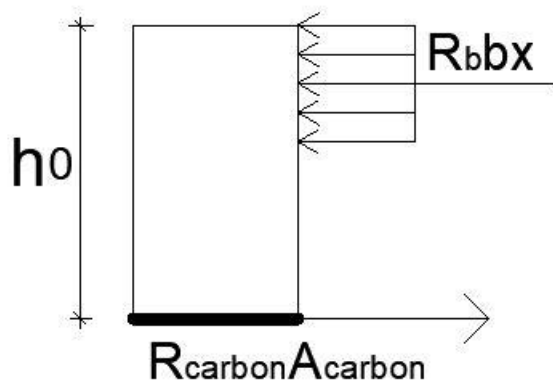


Рис.2 Усилия в рассматриваемом образце.

Расчет по прочности сечений усиленных изгибаемых элементов производится из общего условия:

$$M < M_{ult}$$

Высота сжатой зоны x при разрушении усиленного сечения по арматуре и углепластику определяется из выражения:

$$x = \frac{R_{fu} A_f}{R_b b}$$

Площадь углепластика вычисляется из формулы.

$$A_f = A_{carbon} = t_{carbon} b_{carbon} n_{carbon}$$

Где

t_{carbon} – толщина слоя углепластика в см

b_{carbon} – ширина слоя из углепластика в см

n_{carbon} – количество слоев из углепластика в шт.

$$A_f = A_{carbon} = 0,0131 \text{ см} * 19 \text{ см} * 1 \text{ слой} = 0,25 \text{ см}$$

$$A_f = A_{carbon} = 0,0131 \text{ см} * 19 \text{ см} * 2 \text{ слоя} = 0,5 \text{ см}$$

$$A_f = A_{carbon} = 0,0131 \text{ см} * 19 \text{ см} * 3 \text{ слоя} = 0,75 \text{ см}$$

$$A_f = A_{carbon} = 0,0131 \text{ см} * 19 \text{ см} * 4 \text{ слоя} = 1 \text{ см}$$

Если нам известны след данные можем найти M_{ult} через следующую формулу:

$$M_{ult} = A_f \delta_f (h - 0.5x)$$

$$x = \frac{2902,5 * 0,25}{17 * 19} = 2,25 \text{ см- для одного слоя}$$

$$x = 4,49 \text{ см для двух слоев}$$

$$x = 6,74 \text{ см для трех слоев}$$

$$x = 8,99 \text{ см для четырех слоев}$$

$$\delta_f = \frac{E_{bu1} E_s}{1 - \frac{\omega}{1.1}} \left(\frac{\omega}{\xi} - 1 \right)$$

$$\delta_f = \frac{0.002 * 238000}{1 - \frac{0.714}{1.1}} \left(\frac{0.714}{0.1875} - 1 \right) = 3809,1 \text{ МПа}$$

$$M_{ult} = 0.25 * 3809,1 * (12 - 0.5 * 2.25) = 10356 = 1,036 \text{ т} - 1 \text{ слой}$$

$$M_{ult} = 0.5 * 1233,19 * (12 - 0.5 * 4,49) = 6014.88 = 0.6015 \text{ т} - 2 \text{ слоя}$$

$$M_{ult} = 0.75 * 366,89 * (12 - 0.5 * 6,74) = 2374,7 = 0,2375 \text{ т} - 3 \text{ слоя}$$

$$M_{ult} = 1 * -65,11 * (12 - 0.5 * 8,99) = -488,65 = -0,0489 \text{ т} - 4 \text{ слоя}$$

Результаты расчета прочности нормальных сечений усиленных образцов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 Расчет прочности усиленных образцов.

Количество слоев углепластиковой внешней арматуры, n_{carbon} шт.	Площадь сечения углепластиковой внешней арматуры A_f , см ²	Напряжение в углепластиковой внешней арматуре, δ_f , МПа	Предельный изгибающий момент, M_{ult} , тм
1	0.25	3809,1	1,036
2	0.5	1233,19	0,6015
3	0.75	366,89	0,2375
4	1	-65,11	0,00

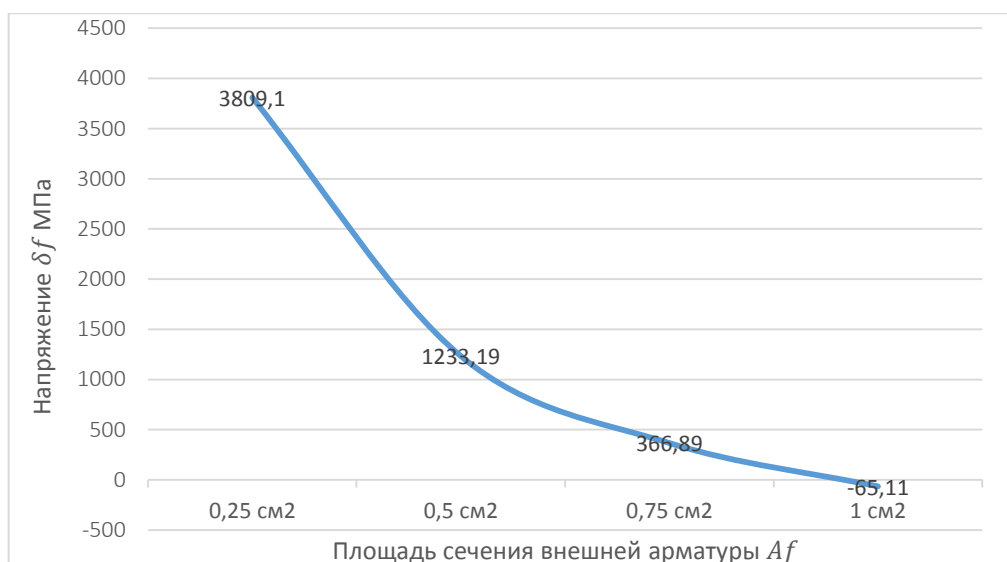


Рисунок 3 - График зависимости напряжения от площади сечения внешней углепластиковой арматуры по результатам расчета.

Получаем следующие выводы:

- Способ может быть использован для анализа прочности нормальных профилей, армированных углеродным волокном, когда они находятся в пределах изменения формы и без учета фазы деформации;
- Для анализа нормальных поперечных сечений, которые находятся в фазе, близкой к исчерпанию несущей способности, а также для чрезмерно усиленных конструкций использование этого метода неверно;
- При расчете напряжения (для четырех слоев углеродного волокна) было получено отрицательное значение напряжения;
- Результаты расчетов указывают на нецелесообразное увеличение поперечного сечения углеродное волокно имеет более двух слоев (величина изгибающего момента уменьшается, когда поперечное сечение углеродного волокна увеличивается более чем на два слоя).

Определение относительной высоты сжатой зоны усиленных образцов.

Связь между бетоном основной конструкции и углепластиковым внешним армированием принимается жесткой.

Для перехода от нормативных характеристик углеволокна к расчетным характеристикам углепластика приняты следующие коэффициенты:

γ_n - коэффициент безопасности по материалу, равный 0,9;

γ_f - коэффициент, учитывающий условия работы и приклейки композиционного материала, равный 0,8. Тогда расчетная (приведенная) прочность углепластика:

Тогда расчетная (приведенная) прочность углепластика:

$$R_{carbon,r} = \gamma_n \gamma_f R_{carbon,n}$$

Нормативная прочность углеволокна $R_{carbon,n}$ 43000 кг/см².

$$R_{carbon,r} = 0.9 * 0.8 * 4300 \text{ МПа} = 3096 \text{ МПа/см}^2$$

Из условия равновесия по формуле (6.15) [3] вычисляем высоту сжатой зоны усиленного образца.

$$x = \frac{R_{carbon} A_{carbon}}{R_b b};$$

Вычисляем значения относительной и граничной относительной высот сжатой зоны:

$$\frac{x}{h_0} = \xi \leq \xi_R = \frac{0.8}{\frac{\epsilon_{carbon,el}}{\epsilon_{b,ult}}};$$

где $\epsilon_{carbon,el}$ - относительная деформация растянутой арматуры (углепластика):

$$\epsilon_{carbon,el} = \frac{R_{carbon}}{E_{carbon}};$$

$$\epsilon_{carbon,el} = \frac{3096}{238000} = 0.013;$$

Следовательно

$$\xi_R = \frac{0.8}{\frac{0.013}{0.0035}} = 0.17$$

При усилении одним слоем углеволокна относительная высота сжатой зоны будет равна 0,2, то есть больше граничной.

Следовательно, даже при усилении одним слоем углепластика можно судить о качественном изменении схемы работы усиленной конструкции.

Список использованных источников

1. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» - М., 2004 . [Электронный ресурс] // «АО НПП “Техкранэнерго” Нижегородский филиал».URL: <https://tk-servis.ru/lib/588/> (дата обращения: 11.05.2022)..

2. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2, 3) таблица 6,14; 6.2.8. [Электронный ресурс] // Минстрй росии» URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1887/> (дата обращения: 11.05.2022).

3. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. - М., 2004. [Электронный ресурс] // ООО Дистрибьюторский центр «Кодекс» URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037361> (дата обращения: 21.05.2022).

4.СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования» . [Электронный ресурс] // ООО Дистрибьюторский центр «Кодекс» URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113273> (дата обращения: 11.05.2022).

6. Кодыш, Э.Н. Совершенствование метода расчета каркасов реконструируемых зданий / Э.Н.Кодыш, Н.Н.Трекин, Н.Г.Келасьев // Промышленное и гражданское строительство. - 2006. - №2. - С. 16-18. [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека «eLIBRARY.ru» URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9189829> (дата обращения: 13.05.2022).

7. Бедов, А. И. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / А.И. Бедов, В.Ф. Сапрыкин. - М.: АСВ, 1995.-192 с [Электронный ресурс] // «общедоступные БИБЛИОТЕКИ Санкт-Петербурга». URL: <https://spbibl.ru/en/catalog/-/books/4184812-obsledovanie-i-rekonstrukcia->

zelezobetonnyh-i-kamennyh-konstrukcij-ekspluatiruemyh-zdanij-i-sooruzenij.
(дата обращения: 17.05.2022)