
Технико-экономическое сравнение вариантов усиления железобетонных балок перекрытия

Ю.А. Земляков, А.Ю. Кубасов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье рассмотрены варианты усиления несущих строительных конструкций и произведены поверочные расчёты на несущую способность с учётом дополнительных нагрузок. Произведено технико-экономическое сравнение вариантов усиления по следующим показателям: масса элементов усиления; стоимость основных материалов, необходимых для усиления; трудоёмкость и стоимость изготовления; трудоёмкость и стоимость выполнения работ по усилению. Анализ вариантов усиления несущих строительных конструкций может помочь в выборе способа усиления несущей способности железобетонных изгибаемых элементов.

Ключевые слова: бетон, несущая способность, железобетон, конструкции, арматура, постоянная нагрузка, прочность, эксплуатационная надёжность, деформации, усиление.

При строительстве и эксплуатации зданий и сооружений часто наблюдаются повреждения строительных конструкций, снижающие прочность, устойчивость, долговечность и эксплуатационную надёжность как всего сооружения в целом, так и отдельных его частей. Повреждения являются следствием различных дефектов и нарушений, допущенных при инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства, проектировании сооружения, изготовлении строительных материалов и деталей, строительномонтажных работах, эксплуатации, а также в экстремальных ситуациях (при пожаре, взрыве, наводнении).

Для обеспечения достаточной прочности, устойчивости зданий и сооружений, возможности их дальнейшей нормальной эксплуатации, а также при реконструкции, когда это связано с необходимостью увеличения нагрузок на существующие конструкции, необходимо усилить повреждённые конструкции (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).

Своевременное и правильное усиление строительных конструкций

позволяет резко уменьшить затраты, продлить срок службы зданий и сооруже-

ний или предотвратить аварии и обрушения [1,4].

Конструкции усиления проектируют с использованием различных материалов: металла, железобетона, композитов, реже из каменной кладки, древесины и полимеррастворов [5,6,8].

Для правильного выбора способа усиления и восстановления конструкций зданий и сооружений необходимо установить причины, вызвавшие повреждения. Для этого необходимо произвести натурное визуальное или инструментальное обследование, тщательно уточнить действующие нагрузки и определить фактическую прочность материалов конструкций (кладки, бетона, арматуры и т. п.). С учётом полученных при обследовании данных выполняется поверочный расчёт фактической несущей способности конструкций, в котором учитывается влияние имеющихся повреждений (СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений).

По результатам расчёта определяются степень повреждения конструкций и необходимость временного крепления или постоянного их усиления.

Существующие традиционные способы усиления железобетонных конструкций являются трудоёмкими. В отдельных случаях для выполнения усиления необходимо применять достаточно громоздкое оборудование и оснастку (установка лесов, кранового оборудования), а в некоторых случаях даже остановить эксплуатацию сооружения. С другой стороны, они могут быть достаточно простыми в выполнении, что не потребует высококвалифицированных рабочих, в отдельных случаях есть возможность значительно повысить первоначальную несущую способность усиливаемых конструкций [2,3,7,10].

Отдельно можно выделить способ усиления железобетонных конструкций с применением композитных материалов [12].

Он обладает рядом преимуществ, таких как значительное усиление конструкции, малый вес материала и возможность быстрого монтажа. В свою очередь главным недостатком данного способа является высокая стоимость материала [9,11].

Способы усиления и восстановления поврежденных конструкций зданий и сооружений в значительной степени могут отличаться по технико-экономическим показателям и удобству выполнения, вследствие чего их правильный выбор в каждом конкретном случае является чрезвычайно важным.

Вариант 1. Усиление ригеля междуэтажного перекрытия с помощью предварительно-напряженных затяжек

Расчет произведен по результатам обследования технического состояния строительных конструкций здания.

В качестве предварительно-напряженных затяжек принимаем стержневую арматуру $2\phi 18A500$.

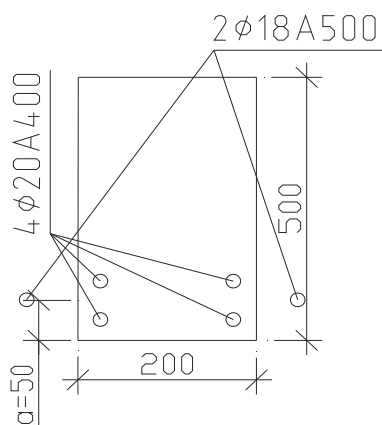


Рис. 1. – Сечение элемента до и после усиления

Приводим фактическую площадь сечения к площади рабочей арматуры балки класса А400.

$$A_{zn} = \frac{R_s \cdot A_z}{R_s^{(A400)}} = \frac{51,0 \cdot 5,09}{35,5} = 7,11 \text{ см}^2,$$

(1)

где: R_s – расчетное сопротивление арматуры класса А500;

$R_s^{(A400)}$ – расчетное сопротивление арматуры класса А400;

A_z – площадь арматуры, применяемой в качестве затяжек.

2. Вычисление приведенной высоты сечения

$$h_{on} = \frac{A_s \cdot h_0 + A_{zn} \cdot h_{oz}}{A_s + A_{zn}} = \frac{8,04 \cdot 55,15 + 7,11 \cdot 55}{8,04 + 7,11} = 55,079 \text{ см}, \quad (2)$$

где A_s – площадь продольной арматуры ригеля;

A_{zn} – приведенная площадь продольной арматуры с учетом затяжек;

h_0 – рабочая высота сечения;

h_{oz} – приведенная высота сечения с учетом введения в конструкцию ригеля затяжек;

γ_{b2} – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

b – ширина расчетного сечения.

3. Определение высоты сжатой зоны бетона, усиленная затяжками

$$x = \frac{R_S \cdot (A_S + A_{zn})}{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b} = \frac{35,5 \cdot (8,04 + 7,11)}{1,15 \cdot 0,9 \cdot 25} = 21,37 \text{ см},$$

(3)

где R_S – расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению;

A_S – площадь продольной арматуры в ригеле;

A_{zn} – приведенная площадь продольной арматуры с учетом затяжек;

R_b – расчетное сопротивление бетона на сжатие;

γ_{b2} – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

b – ширина расчетного сечения.

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{21,37}{55,079} = 0,388 < \xi_R = 0,626.$$

(4)

4. Проверка ограничения, которое накладывается на высоту сжатой зоны изгибающих элементов

$$\omega = 0,085 - 0,008 \cdot \gamma_{b2} \cdot R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 0,9 \cdot 11,5 = 0,7672;$$

(5)

ω – характеристика сжатой зоны бетона;

5. Определение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{SC,U}}} = 0,626,$$

(6)

где σ_{SR} – напряжение в арматуре (МПа), принимаемое для данного класса, в нашем случае $\sigma_{SR} = R_S$;

$\sigma_{SC,U}$ – предельное напряжение в арматуре сжатой зоны.

т.к., $\xi = 0,388 < \xi_R = 0,626$, условие выполняется.

6. Определение момента способного выдержать сечением

$$M = \alpha_m \cdot \gamma_{u2} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2 = 0.305 \cdot 0.9 \cdot 1.15 \cdot 25 \cdot 55.079^2 = 239,41 \text{ кНм},$$

(7)

значит, действующая нагрузка будет воспринята конструкцией и положение затяжек оставляем без изменений

7. Определение усилия необходимого для предварительного натяжения затяжек

Данное усилие определяется исходя из следующего отношения:

$$\frac{q_2}{q_y} = \frac{q_2}{0.5 \cdot q_1} = \frac{27}{0.5 \cdot 20} = 2,7.$$

(8)

Определяем необходимую величину предварительного напряжения затяжек: $\sigma_n / R_{sn} = 0,492$.

Усилие необходимое для натяжения затяжек будет равно:

$$\sigma_n = 0,492 \cdot R_{sn} = 0,492 \cdot 590 = 290,28 \text{ МПа},$$

где $R_{sn} = 590$ МПа – нормативное сопротивление арматуры растяжению.

Вариант 2. Запроектировано усиление из углепластика компании SIKA AG (Switzerland) со следующими характеристиками:

— модуль упругости $E_f = 170000$ МПа;

— прочность $R_f = 3100$ МПа;

- ширина $b = 350$ мм;
- толщина $t_f = 1,2$ мм;
- количество слоев, $n = 2$;
- растянутая арматура А400, площадь сечения $A_s = 452$ мм² (4Ø12);
- сжатая арматура А240, площадь сечения $A'_s = 236$ мм² (3Ø10).

Для балки при расчете были установлены объем материалов, стоимость углепластика и арматуры:

- А400(Ø 12) вес арматуры равен 33,4 кг. Стоимость 816 рублей.
- А240(Ø 10) вес арматуры равен 1,5 кг. Стоимость 486 рублей.
- Углепластик SikaCardoDur512 - $S = 11,33$ м², стоимость 27 873 руб.

Вариант усиления балки с устройством дополнительной центральной опоры с усилением напряжёнными стержнями целесообразен для зданий, где есть необходимость разделения общей площади на отдельные помещения.

Вариант усиления путем устройства дополнительных затяжек для растянутых элементов целесообразен в случаях, когда не требуется значительное усиление, существует необходимость быстрого ввода конструкции в эксплуатацию и когда необходимо сохранить полезный объём здания.

Технико-экономическое сравнение вариантов усиления

Сравнение вариантов усиления производится по следующим показателям: масса элементов усиления; стоимость основных материалов, необходимых для усиления; трудоёмкость и стоимость изготовления; трудоёмкость и стоимость выполнения работ по усилению.

Технико-экономические показатели представлены в таблице № 1.

Анализируя показатели, представленные в таблице, можно сделать следующие выводы: в случае усиления с использованием стекловолокна затраты получатся сопоставимы с другими способами, это обусловлено тем,

что стекловолокно самый дешевый композитный материал, но, если использовать в качестве усиления углеволокно, затраты возрастут более чем в 2 раза, при таком же объёме материалов. Также можно отметить малый вес данного способа и малые затраты на оплату работ по усилению.

Таблица № 1

Технико-экономические показатели способов усиления

№ п/п	Технико-экономические показатели	Способ усиления			
		Усиление стеклопластиком	Усиление жёсткой опорой с дополнительными затяжками	Усиление балки подведением упругой опоры	Усиление балки композитным материалом
1	Вес конструкции усиления, кг	18	235*	201	24
2	Норма затрат труда рабочих на изготовление конструкции усиления, чел.-ч	-	15,08	14,7	1,52
3	Норма затрат труда рабочих на монтаж конструкции усиления, чел.-ч.	63,25	75,37	71,11	7,5
4	Нормы затрат машинного времени, маш.-ч.	7,94	2,16	2,02	-
5	Продолжительность выполнения монтажа конструкций усиления, ч.	29,5	28,9	23,68	7,0
6	Заработная плата рабочих, руб.	566,79	2543,96	1896,33	1156,24
7	Заработная плата механика, руб.	371,03	121,60	115,43	-
8	Стоимость	15701,8	11770,4	8511,1	29175,1

	материала, руб.				
9	Общие затраты, руб.	16639,68	14435,93	10522,86	30331,24
	Примечание: * – в вес конструкций усиления не включены колонна и бетон замоноличивания колонны в стакан фундамента.				

Данный метод является самым продолжительным, т.к. требует больше времени на подготовку бетона перед усилением.

Усиление затяжками является самым быстрым по времени выполнения монтажа, т.к. основная часть работ, связанная с изготовлением металлоконструкций, выполняется за пределами здания и не требует применения техники.

Литература

1. Ключев С.В., Гурьянов Ю.В. Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №1 (36). – С. 21 – 26.

2. Кубасов А.Ю., Маилян Д.Р. К вопросу закрытия технологических трещин в железобетонных фермах с комбинированным преднапряжением арматуры // Научное обозрение. – 2015. – №10. – С. 170 – 172.

3. Маилян Д.Р., Кубасов А.Ю. К вопросу обеспечения устойчивости арматурных стержней при их предварительном сжатии // Научное обозрение. – 2015. – №10. – С. 173 – 176.

4. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2), URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307.

5. Польской П.П., Хишмах Мерват, Михуб Ахмад. К вопросу о деформативности балок из тяжелого бетона, армированных стеклопластиковой и комбинированной арматурой // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2), URL: ivdon.ru/ magazine/archive/n4p2y2012/1308.

6. Польской П.П., Маилян Д.Р., Мерват Хишмах, Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094.

7. Польской П.П., Георгиев С.В. Вопросы исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134.

8. Маилян Д.Р., Польской П.П. Прочность и деформативность вновь усиленных композитными материалами балок, при различных варьируемых факторах // Инженерный вестник Дона, 2013, №2, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1676.

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

10. Mailyan, D., Kubasov, A., Mailyan, L. Ecological-Economic and Technical Advantages of Reinforced Concrete Girders with Combined Reinforcement/MATEC Web of Conferences. 2016. // URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacce2016_04019/matecconf_tpacce2016_04019.html.

11. Mailyan, D., Mailyan, L. Ecologically Safe and Techno Economically Efficient Reinforced Concrete Constructions of Equal Resistance // MATEC Web of Conferences. 2016. // URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacce2016_04020/matecconf_tpacce2016_04020.html.

12. Polskoy, P.P., Mailyan, D.R., Dedukh, D.A., Georgiev, S.V. Design of reinforced concrete beams in a case of a change of cross section of composite strengthening reinforcement // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. V. 12. № 2. pp. 1767-1786.



References

1. Klyuev S.V., Guryanov YU.V. Inzhenerno-stroitelnyj zhurnal. 2013. №1 (36), pp. 21-26.
2. Kubasov A.YU., Mailyan D.R. Nauchnoye obozreniye. 2015. №10, pp. 170-172.
3. Mailyan D.R., Kubasov A.YU. Nauchnoye obozreniye. 2015. №10, pp. 173 – 176.
4. Pol'skoy P.P., Mailyan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (chast' 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307.
5. Pol'skoy P.P., Khishmakh Mervat, Mikhub Akhmad. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1308.
6. Pol'skoy P.P., Mailyan D.R., Mervat Khishmakh, Kurgin K.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094.
7. Pol'skoy P.P., Georgiyev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134.
8. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1676.
9. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P., Georgiyev S.V. Nauchnoye obozreniye, 2014, №10, pp. 415-418.
10. Mailyan, D., Kubasov, A., Mailyan, L. MATEC Web of Conferences. 2016. URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacee2016_04019/matecconf_tpacee2016_04019.html.
11. Mailyan, D., Mailyan, L. MATEC Web of Conferences. 2016. URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacee2016_04020/matecconf_tpacee2016_04020.html.
12. Polskoy, P.P., Mailyan, D.R., Dedukh, D.A., Georgiev, S.V. Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. V. 12. № 2, pp. 1767-1786.