

## К вопросу восстановления экспериментальной надежности железобетонных конструкций

*К.Ю. Лыжненко, А.Ю. Кубасов, Д.Р. Маилян*

*Донской государственный технический университет*

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются способы восстановления эксплуатационной надежности железобетонных конструкций, виды распорок, метод усиления железобетонной колонны стальными листами полукруглой формы. Также рассмотрено усиление элементов путем двухосного поперечного обжатия бетона.

**Ключевые слова:** бетон, надежность, железобетон, конструкции, технологии, монтаж, железобетонные конструкции, распорки, преднапряжение, колонны, армирование, несущая способность, усиление.

Необходимость в восстановлении эксплуатационной надежности железобетонных конструкций возникает, как правило, в двух случаях. Первый обусловлен реконструкцией зданий и сооружений и связанным с ней увеличением интенсивности эксплуатационной нагрузки. К этому приводит замена старого морально и физически устаревшего технологического оборудования на новое, более тяжелое; изменение схемы нагружения, например, перераспределение нагрузки с пролетной части в приопорные зоны; устройство промежуточных этажей, в том числе в межферменном пространстве; ликвидация отдельных колонн с целью расширения производственных площадей и т.д.

Второй случай обусловлен восстановлением несущей способности, утраченной в процессе эксплуатации из-за коррозии, механических повреждений, дефектов изготовления или монтажа и т.д.

Способы восстановления эксплуатационной надежности железобетонных конструкций подразделяются на две основные группы. К первой группе относятся способы, заключающийся в полном или частичном разгрузении поврежденных конструкций. Элементы усиления воспринимают дополнительную нагрузку и передают ее на другие конструкции здания, обладающие запасом несущей способности. Ко второй

---

группе относятся способы повышения несущей способности усиливаемых конструкций за счет увеличения их сечений, изменения напряженного состояния или конструктивной схемы [1-3].

Первые попытки восстановления несущей способности железобетонных колонн относятся к началу двадцатого века. Долгое время единственным способом усиления колонн служило устройство обойм и добавочной арматуры. В 1934-1938 годах наряду с обоймами стали использоваться наращивания сечений.

Так, к существующей арматуре усиливаемой конструкции приваривалась дополнительная. Для этого отдельные места, конструкции освобождались от защитного слоя. Затем сечения усиливаемой конструкции увеличивались в поперечном сечении на отдельном участке за счет оштукатуривания цементным раствором или же покрытия торкретбетоном. Наличие дополнительной арматуры, соединенной сваркой с арматурой колонны, позволяло обеспечить совместную работу нового и старого бетона.

Установлено, что предварительная нагрузка на усиливаемый железобетонный элемент, не превышающая 60% от разрушающей, не оказывает существенного влияния на общую несущую способность колонн, усиленных обоймами под нагрузкой.

Впервые методы усиления железобетонных колонн преднапряженными затяжками и распорками были разработаны проф. Онуфриевым Н.М.

Разработано три метода (типа) предварительно напряженных затяжек усиления, горизонтальных, шпренгельных и комбинированных.

Затяжки-усиления состоят из 2-х, а при необходимости, из 4-х тяжей, весьма просто устанавливаемых с боков на подлежащих усилению балочных элементов конструкции. Преднапряжение в тягах производится путем их взаимного стягивания.

---

Распорки-усиления бывают односторонними и двухсторонними, при этом каждая распорка состоит из 2-х уголков, сваренных между собой соединительными пластинками на сварке.

Вверху каждой распорки к ним привариваются специальные планки – упоры, посредством которых они плотно прижимаются к угольникам – подкладкам, устанавливаемым на элементах, связанных с колоннами. Односторонние распорки устанавливаются с одной стороны колонны и служат для повышения грузоподъемности внецентренно сжатых колонн. Двухсторонние распорки устанавливаются с 2-х сторон и служат для повышения грузоподъемности центрально загруженных колонн, а так же при внецентренно сжатых колоннах с двухзначными моментами или малыми эксцентриситетами.

Осуществив напряжение распорок, выправив их и плотно притянув к боковым поверхностям колонны, обе распорки связываются между собой приваркой к боковым полкам уголков специальных соединительных планок.

При односторонних распорках боковые удерживающие планки привариваются одним концом к ним, а другим – к специальным крепежным уголкам, установленным у другой поверхности колонны.

Вопросами усиления железобетонных конструкций много занимались и за рубежом. Рассмотрим некоторые работы.

Усиление железобетонной колонны стальными листами полукруглой формы (патент Японии № 53-43259). Данный способ может быть применен при восстановлении железобетонных колонн, получивших сильную степень повреждения по всей высоте, а также для предотвращения потери устойчивости колонн из-за разрушения на сдвиг или циклических деформациях, в частности при сильных землетрясениях (1,2).

Усиление железобетонных колонн стальными профилями (патент Японии № 53-42986). При сильной степени повреждения колонн по всей

---

высоте, а также для предотвращения потери устойчивости колонн в результате разрушения на сдвиг при циклических деформациях, в частности при сильных землетрясениях, может быть применен метод усиления с помощью стальных профилей.

Рассмотрены возможности усиления и ремонта железобетонных колонн с помощью приклеивания эпоксидным клеем стальных полос в наиболее напряженных местах железобетонных колонн, или путем увеличения бетонного сечения. При этом на очищенную поверхность старого бетона наносится слой эпоксидного клея, а затем слой нового бетона, при ремонте производится инъецирование трещин синтетическими растворами или на поверхность конструкции наносится слой из пластобетона.

Установлено, что в случае применения клеевых составов на базе эпоксидных смол, удастся избежать концентрации напряжений и появления новых трещин, как это имеет место при креплении пластин к железобетонным колоннам с помощью металлических дюбелей.

Наиболее перспективными в настоящее время являются методы усиления железобетонных конструкций с использованием преднапряженных элементов. Вместе с тем следует отметить отсутствие в ряде случаев конструктивных и технологических разработок этих методов [4-6].

Далее описаны методы усиления железобетонных конструкций, разработанные на кафедре железобетонных и каменных конструкций АСА ДГТУ.

Рассмотрим метод усиления элементов предварительно сжатой продольной арматурой [7-10].

Этот способ основан на применении предварительно сжатых элементов усиления – рис. 1. Его идея состоит в создании предварительного сжатия стержней 4 из высокопрочной стали (рис. 1.б). Последние с помощью стальных пластин 6 крепятся к основной рабочей арматуре колонн.

---

Противоположные концы стержней 4 пропускаются через стальные уголкового упоры 7, также привариваемые к продольной арматуре колонн. Для обеспечения устойчивости отдельных стержней 4 при их предварительном сжатии они объединяются в пространственный каркас с помощью закрытых хомутов 5, к углам которых стержни 4 крепятся вязальной проволокой. Предварительное сжатие стержней 4 осуществляется с помощью завинчивания гаек 8. Контроль сжимающего усилия в них производится путем измерения деформаций.

При одинаковом усилии обжатия всех 4-х стержней суммарное контролируемое значение усилия обжатия составит

$$P_{\text{сжм}} = R_0 - \alpha_{\text{сж}} \frac{R_0}{A_{\text{ред}}} A_{\text{ст}}, \quad (1)$$

где

$$R_0 = A_{\text{ст}} \sigma_{\text{сжс}}, \quad (2)$$

$$A_{\text{ред}} = \alpha_s A_s + \alpha_{\text{сж}} A_{\text{ст}} \quad (3)$$

$\sigma_{\text{сжс}}$  – значение предварительного сжатия стержней 4;

$A_s$  и  $A_{\text{ст}}$  – соответственно площади сечения продольной арматуры 1 и элементов усиления 4;

$A_b$  – площадь сечения бетона;

$\alpha_s$  и  $\alpha_{\text{сж}}$  – коэффициенты приведения для арматуры  $A_s$  и  $A_{\text{ст}}$ .

Напряженное состояние, вызванное предварительным сжатием стержней 4 (до погашения упругих деформаций внешней нагрузкой):

в арматуре  $A_{\text{ст}}$  –  $\sigma_{\text{сжс}}$

в арматуре  $A_s$  – растяжение  $\sigma_s = \alpha_s \sigma_{\text{ст}}$ .

После погашения упругих деформаций растяжения бетона внешним сжимающим усилием напряжения в арматуре  $A_{\text{ст}}$  и в бетоне – нулю.

При исчерпании прочности усиленного участка колонны разрушающее усилие

$$N = R_b A_b + R_{sc} A_s + (R_{sc} + \sigma_{спс}) A_{ст} \quad (4)$$

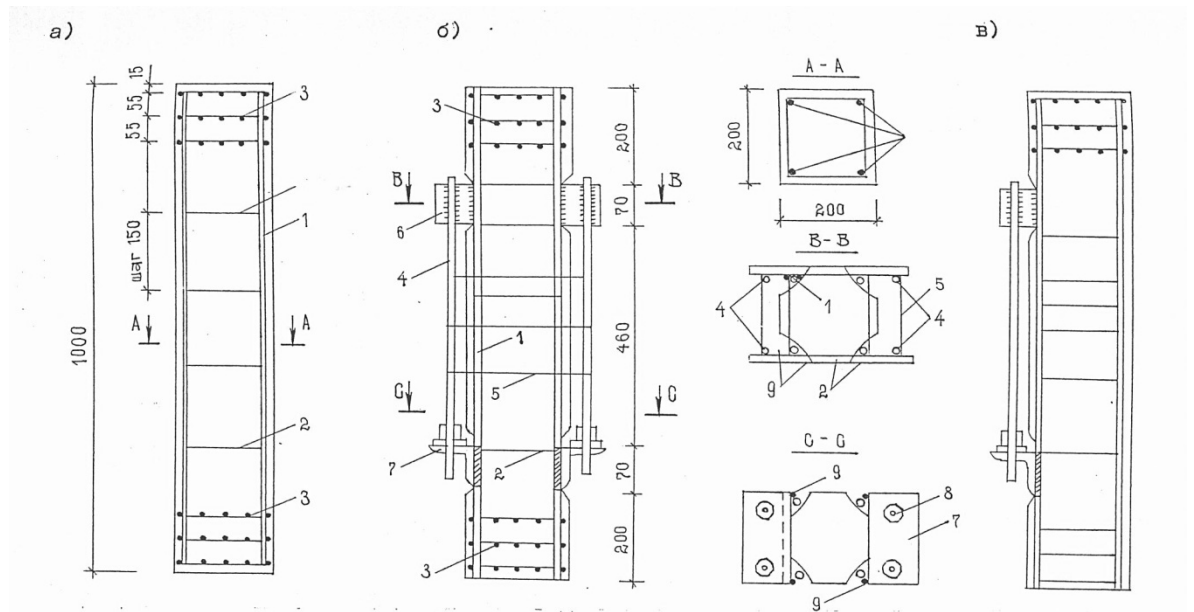


Рис. 1. Опытные колонны, усиленные предварительно сжатым элементами:

а – контрольные не усиленные; б – симметрично усиленные; в – односторонне усиленные; 1 и 2 – продольная и поперечная арматура; 3 – сетки; 4 – предварительно-сжимаемые элементы усиления; 5 – закрытые хомуты; 6 – стальные пластины; 7 – уголки (упоры); 8 – гайки; 9 – сварка.

Увеличение прочности колонны за счет установки предварительно сжатых стержней 4 может быть весьма значительным. Так, например,  $R_{sc}$  для основной арматуры 1 не превышает 400 Мпа, а для стержней усиления 4 из стали класса А1000 при ее предварительном сжатии  $\sigma_{спс} = 400 \text{ МПа}$  суммарное напряжение при разрушении колонн достигает 800 Мпа. Таким образом, если стержни 1 и 4 принять одинакового диаметра, то усилие, воспринимаемое стержнями исходной колонны, составит  $400 A_s$ , а усиленной –  $1200 A_s$ , т.е. возрастет в 3 раза [11].

Часто целесообразно закрывать конструкции усиления путем устройства набетонировки, из бетона невысокой прочности. Это защищает конструкции усиления от коррозии. Прочность усиленного участка колонны при этом равна:

$$N = R_b A_b + R_{bn} \Delta A_b + R_{sc} A_s (R_{sc} + \sigma_{ssc}) A_{st} \quad (5)$$

Площадь сечения набетонировки  $\Delta A_b$  при ее около 8 см для колонны сечением 40x40 см составляет около 40% сечения колонны, а прочность бетона  $R_{bn}$  практически в 3-4 раза ниже основного  $R_b$ . Отсюда ясно, что набетонировка повышает несущую способность бетонного сечения на 10...15%.

В колоннах сечением 40x40 см из бетона класса В30 с арматурой 4?20А600 при усилении сталью 4?20А1000 и  $\sigma_{ssc} = 400$  МПа прочность усиленного участка возрастает в 1,4 раза. Если прочность исходной неусиленной колонны составляет 2980 кН, то после усиления – 4235 кН, причем более 1000 кН приходится на стальные элементы усиления.

Ни один из известных методов не приводит к столь значительному эффекту, как рассматриваемый.

В колоннах, работающих с односторонним эксцентриситетом равнодействующей внешних продольных усилий (стойки эстакад, путепроводов, мостов и др.), а также при повреждении колонн только с одной стороны, усиление колонн может потребоваться лишь у грани, ближайшей к равнодействующей внешних усилий или расположенной с поврежденной стороны колонны. В этих случаях предварительно сжатые элементы 4 могут быть установлены только около одной грани (рис. 1, в). Это приведет к смещению центра тяжести в зоне усиления относительно оси колонны. При внецентренном сжатии уменьшится осевой эксцентриситет продольной силы.

В отдельных случаях, например, во внецентренно сжатых колоннах, может оказаться целесообразным создание неравномерного предварительного растяжения участка усиления колонны. Это может быть достигнуто неодинаковым предварительным сжатием элементов усиления 4, расположенных у двух противоположных граней.

Рассмотрим усиление элементов путем двухосного поперечного обжатия бетона.

Создание двухосного обжатия бетона в направлении, перпендикулярном линии действия внешнего продольного сжимающего усилия, повышает сопротивление элемента поперечному расширению. Это приводит к «эффекту обоймы» и повышению несущей способности элемента.

На усиливаемом участке с определенным шагом в обоих направлениях устанавливаются тяги (рис. 2, а), имеющие на одном конце высаженную головку или гайку. На другом конце размещается муфта 6 и гайка 7, при завинчивании которой создается растягивающее усилие в тяге. Реактивное сжимающее усилие через стальные пластины 4 передается на тело колонны [12].

Предварительное сжатие в каждом из двух поперечных направлениях (рис. 2, а) составит

$$\sigma_{bprw} = \frac{2\sigma_{сп}A_{ст}}{bs_n + \alpha A_{ст} s_n / s} \quad (6)$$

где  $\sigma_{сп}$  – значение предварительного напряжения в тягах;

$A_{ст}$  – площадь поперечного сечения одной тяги;

$b$  – размер стороны поперечного сечения колонны, перпендикулярной направлению напряжений  $\sigma_{сп}$ ;

$s_n$  – шаг поперечной арматуры колонны на участке усиления;



$A_{st}$  – площадь сечения поперечной арматуры колонны в одной нормальной к оси элемента плоскости;  $\alpha = E_s/E_b$ .

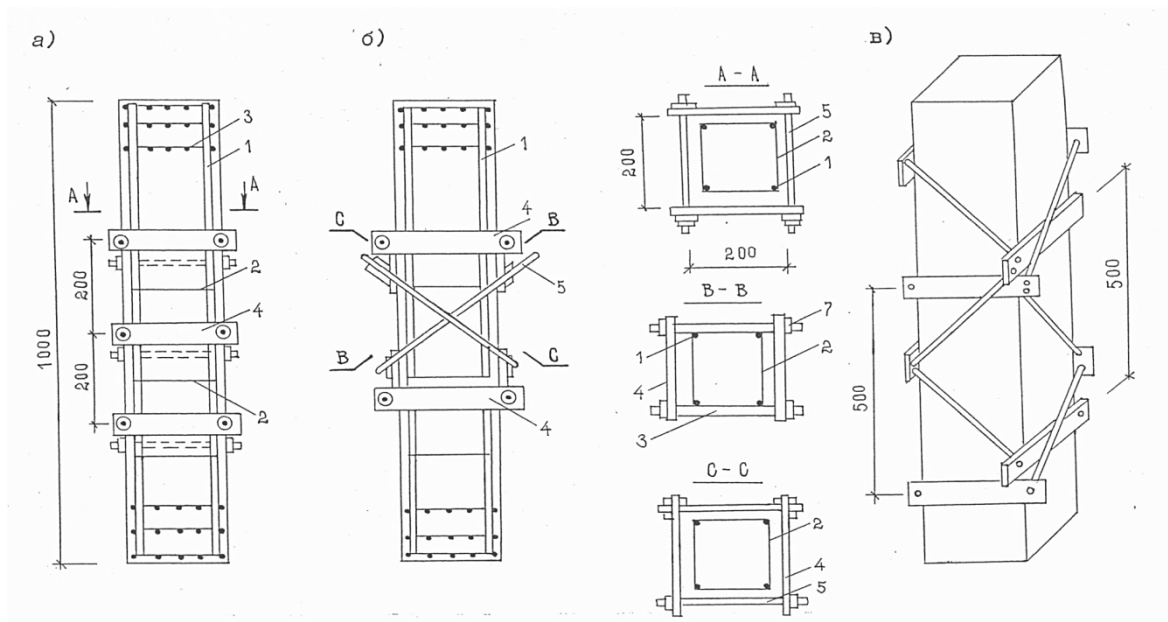


Рис. 2. усиление колонн предварительно-растянутыми элементами  
 а – при двухосном предварительном обжатии бетона; б – при трехосном в – то же, с тягами в разных уровнях 1 – продольная арматура; 2 поперечная; 3 – сетки; 4 – стальные пластины; 5 – тяги; 6 – муфта; 7 – гайка.

Оценим численные значения указанных напряжений в опытных элементах. Примем тяни диаметром 12 мм ( $A_{st} = 1,131 \text{ см}^2$ ), поперечные стержни колонны диаметром 5 мм, сечение колонны 20x20 см,  $s = s_{sc} = 20 \text{ см}$ ,  $\alpha = 6$  (бетон класса В30, поперечная арматура класса А400). Усилие предварительного растяжения в одной тяге примем равным 40 кН, тогда  $\sigma_{sp} = 4000 / 1,131 = 353,7 \text{ МПа}$ , а поперечное обжатие бетона

$$\sigma_{spw} = \frac{2 \cdot 4000}{20 \cdot 10 + 6 \cdot 0,393} = 2 \text{ МПа}$$

При таком уровне поперечного обжатия бетона происходят значительные изменения диаграммы « $\sigma_b - \epsilon_b$ ». Экстремальная точка смещается вверх и вправо. Это существенно повышает несущую способность железобетонных колонн.

Таким образом, рассмотренные методы усиления эффективны и могут быть использованы при реконструкции зданий и сооружений.

### Литература

1.Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. Зависимость относительной несущей способности колонн от относительного эксцентриситета. Инженерный вестник Дона, 2012, № 4, ч.2, URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/133](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/133)

2.Маилян Д.Р., П.П. Польской, Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при малых эксцентриситетах. Научное обозрение, г.Москва, 2013, с.15-18.

3.Маилян Д.Р., Польской П.П. Об уточнении расчетов прогибов балок, усиленных композитными материалами // Научное обозрение. г. Москва, 2013, с.23-25.

4.Маилян Д.Р., Польской П.П. О расчете нормально армированных железобетонных балок при композитном усилении // Научное обозрение. г.Москва, 2013, с.28-31.

5.Маилян Д.Р., П.П. Польской, Георгиев С.В. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах // Научное обозрение. г.Москва, 2014, с.14-17.

6. Y. Xing, Q. Han, J. Xu, Qi Guo, Y. Wang, Experimental and numerical study on static behavior of elastic concrete-steel composite beams. Journal of Constructional Steel Research, 2016, №12, pp. 79-92.



7.Маилян Д.Р., П.П. Польской, Георгиев С.В. О несущей способности усиленных коротких стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение. г.Москва, 2014, с.21-24.

8. Маилян Д.Р., Бойцов В.Н., Багдасаров Г.С. Устройство для усиления колонн / А.С.СССР №1463890 Бюлл. изобр. 1989, №9,с.29-31.

9. Маилян Д.Р., Бойцов В.Н. Способ усиления железобетонных колонн. А.С.СССР №1557302 Бюлл. изобр. 1990, с.25-28.

10. Польской П.П., Маилян Д.Р. Универсальный метод подбора композитной арматуры для изгибаемых элементов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891)

11. Di-Hua Tong, Xue-Ren Wu, Analysis of crack opening stresses for center- and edge-crack tension specimens. Chinese Journal of Aeronautics. 2014, № 27, pp. 291-298.

12.Сербиновский П.А., Маилян Д.Р. Оптимизация конструкций усиления многопустотных плит перекрытия // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580).

### References

1. Mailjan D.R., Nesvetaev G.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4, p. 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334)

2. Mailjan D.R., P.P. Pol'skoj, Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, g.Moskva, 2013, pp.15-18.

3. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P. Nauchnoe obozrenie. g. Moskva, 2013, pp.23-25.

4. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P. Nauchnoe obozrenie. g.Moskva, 2013, pp. 28-31.



5. Mailjan D.R., P.P. Pol'skoj, Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. g.Moskva, 2014, pp. 14-17.
6. Y. Xing, Q. Han, J. Xu, Qi Guo, Y. Wang. Journal of Constructional Steel Research, 2016, №12, pp. 79-92.
7. Mailjan D.R., P.P. Pol'skoj, Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. g.Moskva, 2014, pp.21-24.
8. Mailjan D.R., Bojcov V.N., Bagdasarov G.S. A.S.SSSR №1463890 Bjull. izobr. 1989, №9, pp.29-31.
9. Mailjan D.R., Bojcov V.N. A.S.SSSR №1557302 Bjull. izobr. 1990, pp.25-28.
10. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891)
11. Di-Hua Tong, Xue-Ren Wu. Chinese Journal of Aeronautics. 2014, № 27, pp. 291-298.
12. Serbinovskij P.A., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580).