

## Выбор оптимального метода усиления железобетонных колонн

Ю.С. Кунин, А.Л. Ермак, Г.А. Григорян

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; г. Москва, Россия*

**Аннотация:** В статье представлен анализ способов усиления железобетонных колонн без изменения первоначальной конструктивной схемы. Выполнен расчет усиления металлической обоймой, железобетонной обоймой, с помощью предварительно напряжённых распорок и усиления композитными материалами при центральном и внецентренном сжатии. Произведен сравнительный анализ технических показателей рассматриваемых методов усиления. Сформирована стратегия выбора метода усиления железобетонных колонн. Анализ оптимальных областей применения различных методов усиления железобетонных колонн показывает, что выбор конкретной технологии должен определяться характером их напряженного состояния в зависимости от величины эксцентриситета приложения нагрузки. Данное исследование подтверждает, что не существует универсального "лучшего" метода усиления железобетонных колонн, каждый из рассматриваемых методов имеет свои плюсы и недостатки. Результаты позволяют выбирать оптимальные решения на основе критериев эффективности, надежности и экономичности.

**Ключевые слова:** колонны, железобетон, сталь, усиление, обойма, углепластик, сравнение, оптимальный метод.

### Введение

Ввиду нескончаемой гонки технологического прогресса, развития массового жилищного, общественного, торгово-развлекательного и промышленного строительства встает актуальный вопрос о необходимости разработки и внедрения новых инженерных решений. Со временем здания и сооружения подвергаются влиянию различных факторов, будь то климатические, механические, коррозионные или вовсе изменение условий эксплуатации или функционального назначения здания, что приводит к дополнительным нагрузкам, деформациям и повреждениям [1, 2].

Принципиальная схема усиления выбирается в зависимости от выявленного в ходе обследования недостатка несущей способности и остаточного срока службы конструкции. При этом применяется вариантное проектирование и проводится оценка прямых и приведенных эксплуатационных затрат, себестоимости, сроков и трудозатрат на выполнение работ по усилению, с учетом планируемого срока его службы и

возможности выполнения работ без остановки эксплуатации конструкции. Усиление должно производиться только в тех случаях, когда существующие конструкции не соответствуют требованиям прочности или препятствуют нормальным условиям эксплуатации.

Актуальность темы статьи связана со значительными объемами работ по усилению железобетонных конструкций при реконструкции, техническом перевооружении, а также при новом строительстве из-за упущений на стадии проектирования и расчетов, инженерно-геологических изысканий или на этапе строительно-монтажных работ, что, в свою очередь, вызывает вопрос рационального и надежного подхода к их проектированию с учетом специфики работы материалов усиления, их неотъемлемыми плюсами и недостатками.

Цель исследования - анализ эффективности методов усиления железобетонных колонн и систематизация рекомендаций с учетом различного напряженно-деформированного состояния конструкции и их особенностей. Вопрос обеспечения должной надежности и безопасности зданий и сооружений напрямую зависит от состояния их конструктивных элементов.

Выбор наилучшего метода не только способствует восстановлению прочностных характеристик, но и продлевает срок службы конструкций, снижая затраты на их обслуживание и ремонт. Обеспечение безопасности и эксплуатационной надежности строительных конструкций, нуждающихся в усилении, возможно только при тщательном проведении диагностики, обследования и проверочных расчетов с учетом всех условий их работы.

### **Материалы и методы**

Методологической базой исследования послужили работы отечественных [3-5] и зарубежных ученых [9,10] и специалистов в области проектирования и производства работ по усилению, а также методы

---

исследования, основанные на аналитическом подходе [6-8].

В данной работе анализируются следующие методы усиления, связанные с сохранением неизменной первоначальной конструктивной схемы:

- 1) Усиление колонны железобетонной обоймой.
- 2) Усиление колонны металлической обоймой
- 3) Усиление колонн композитными материалами.

Суть данных методов заключается в увеличении поперечного сечения или упрочнение локальной зоны исходного элемента, что достигается устройством железобетонных рубашек, обойм, накладок и одностороннем наращиванием, а также устройством металлических обойм, наклейкой композитных материалов, инъектированием различных полимерных составов.

Также рассматривался метод усиления с помощью предварительно напряжённых распорок - с изменением исходной конструктивной схемы.

Усиление конструкций путем изменения ее расчетной схемы с помощью введения дополнительных опор и уменьшение пролетов, а также усиление заменяющими конструкциями, инъектирование в трещины, пустоты или полости, заполнение трещин, пустот или полостей и установка предварительно напряженной арматуры не рассматриваются.

### **Результаты исследования**

Был произведен расчет центрально и внецентренно нагруженной колонны случая больших эксцентриситетов приложения продольной силы усиленными: - железобетонными обоймами; - металлическими обоймами; - предварительно напряженными металлическими распорками; - композитными материалами (углеродными лентами). Произведен анализ технических показателей рассматриваемых методов усиления при значении

дефицита несущей способности в 30%. Сечением усиливаемого элемента 400x400 мм с 4 стержнями 16 диаметра, высотой этажа 3,6 метра.

Расчет железобетонной обоймы производился согласно формулам СП 349.1325800.2017 и СП 63.13330.2018, а также с помощью учебного пособия [11]. Для расчета усиления металлической обоймой при «центральной сжатии» использовались формулы СП 16.13330.2017, а также коэффициенты из учебного пособия [11]. При расчете усиления предварительно напряженных металлических распорок при центральном и внецентренном сжатии использовались общие формулы СП 16.13330.2017, а также формулы и коэффициенты, предложенные автором данного метода Онуфриев Н. М. [12]. Для расчета усиления композитными материалами использовался программный комплекс NormCad, который позволяет подобрать или проверить сечения согласно нормативному документу СП 164.1325800.2014.

Комплексные результаты расчетов с расходом материалов представлены в таблице 1.

Таблица №1

Сравнение результатов расхода материалов при различном способе усиления  
для центрального и внецентренного сжатия

| Тип усиления              | Центральное сжатие                |                       | Внецентренное сжатие              |                       |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
|                           | Состав усиления                   | Масса конструкции, кг | Состав усиления                   | Масса конструкции, кг |
| Железобетонной<br>обоймой | Ø16 A400 ГОСТ 52544-2006 L = 3600 | 22,72                 | Ø16 A400 ГОСТ 52544-2006 L = 3600 | 22,72                 |
|                           | Ø8 A240 ГОСТ 52544-2006 L = 2500  | 17,78                 | Ø8 A240 ГОСТ 52544-2006 L = 2500  | 17,78                 |
|                           | Ø16 A400 ГОСТ 52544-2006 L = 180  | 23,86                 | Ø16 A400 ГОСТ 52544-2006 L = 180  | 23,86                 |
|                           | B25 ГОСТ 7473-2010                | 1000                  | B25 ГОСТ 7473-2010                | 1000                  |
| Металлической<br>обоймой  | L 75x7 Лп.м.=17,6                 | 140,1                 | -                                 | -                     |
|                           | – 340x70x6 шт=36                  | 45,54                 | -                                 | -                     |
| Металлической             | L 75x6                            | 121,264               | L 125x80x10                       | 272,27                |

|           |            |  |            |  |
|-----------|------------|--|------------|--|
| распоркой | Лп.м.=17,6 |  | Лп.м.=17,6 |  |
|-----------|------------|--|------------|--|

Окончание таблицы №1

|                             |                                                                                             |       |                                                                                                               |       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                             | – 340x70x6<br>шт=36                                                                         | 45,54 | – 340x140x6<br>шт=36                                                                                          | 13,45 |
| Композитными<br>материалами | Углеродная<br>лента WallWrap<br>Tape 535/300, в 2<br>слоя (ширина<br>ленты 300 мм)<br>Лп.м. | 42,24 | Углеродная<br>лента<br>WallWrap Tape<br>535/300, в 3<br>слоя (ширина<br>ленты 300 мм)<br>Лп.м.                | 84,96 |
|                             | Адгезионный<br>состав WallWrap<br>Resin 535 кг,<br>расход 0,5 кг/м <sup>2</sup>             | 6,34  | Адгезионный<br>состав<br>WallWrap Resin<br>535 кг,<br>расход принят<br>0,15 кг/м.п<br>шириной<br>ленты 300 мм | 12,7  |

Исходя из расчетов, сформирована стратегия выбора метода усиления железобетонных колонн. Для оценки области оптимальной работы методы усиления были разделены критериями на группы для структуризации их значимости.

К I-ой группе критериев - «технические факторы» отнесены параметры, влияющие на надежность и безопасность конструкций и здания в целом. Логика выбора для I-ой группы критериев следующая:

Необходимо определить перечень методов усиления, который теоретически возможен при заданном значении увеличения нагрузок, согласно результатам обследования, данным поверочных расчетов, фактическому техническому состоянию конструктивных элементов, характеру и степени имеющихся повреждений, прочностных характеристик бетона, вида и механическим свойствам рабочей арматуры, возможности

перераспределения нагрузок на смежные конструкции каркаса, возможности повышения веса для нижележащих конструкций.

Ко II-ой - отнесены факторы влияющих на эксплуатационные характеристики, определяющие возможность выполнения усиления данным способом без остановки основного производства согласно технологии усиления; недопустимости запыленности и сварочных работ во взрывоопасных помещениях; применения того или иного способа усиления в данных условиях с учетом агрессивности среды и пожароопасности помещений, сейсмическим и динамическим воздействиям.

К III-ей группы относятся факторы, определяющие экономические показатели способов усиления, которые удовлетворяют первым двум группам.

Анализ оптимальных областей применения различных методов усиления железобетонных колонн показывает, что выбор конкретной технологии должен определяться характером их напряженного состояния в зависимости от величины эксцентриситета приложения нагрузки.

1. В случае колонн с большими эксцентриситетами, где разрушение происходит по схеме, характерной для изгибаемых элементов, наиболее эффективными являются методы, направленные на увеличение прочностных характеристик растянутой и сжатой зоны. К таким методам относятся: увеличение сечения рабочей арматуры путем устройства рубашек или полноценной железобетонной обоймы с наращивание высоты сечения, усиление композитными материалами.

2. Для колонн с малыми эксцентриситетами, где разрушение происходит при достижении предельной прочности бетона сжатой зоны оптимальными решениями, становятся устройство железобетонных или металлических обойм, а также в применение предварительно напряженных распорок.

---

3. Для зданий, где важна скорость монтажа и приоритетом стоит непрерывность производства, предпочтение следует отдавать металлическим обоймам с предварительным напряжением или без.

4. Центральные-сжатые колонны, испытывающие значительное увеличение продольной нагрузки, рекомендуется усиливать с помощью обоймы со спиральным армированием, металлическими обоймами или обоймой с жесткой арматурой в виде уголков, размещаемых по наружным граням.

Данные рекомендации, базирующиеся на детальном анализе механизмов работы железобетонных колонн при различных схемах нагружения, что позволяет подбирать оптимальные методы усиления с учетом конкретных условий эксплуатации и требований к несущей способности конструкций.

### **Выводы**

На основании расчетов сделаны следующие выводы:

1. Железобетонная обойма показало свою эффективность при дефиците несущей способности  $\geq 25\%$  и нецелесообразно при  $\leq 25\%$  из-за высоких минимальных конструктивных требований (толщина обоймы и диаметра арматуры регламентированных СП 164 [1]), делающих метод усиления избыточным. Технологическая сложность и необходимость остановки производства на время работ могут стать критическими факторами при выборе данного метода;

2. Предварительно напряжённые распорки более эффективны по сравнению с металлическими обоймами при равной металлоемкости за счет снижения эксплуатационных затрат на разгрузку в процессе усиления, а также обеспечивая более равномерное включение в совместную работу, что увеличивает прочности за счет эффекта обоймы и плотности

соприкосновения между усиливаемыми элементами. Применимы при внецентренном сжатии;

3. При усилении композитными материалами их эффективность критически снижается при низкой начальной прочности бетона и наличии дефектов в конструкции. Область применения ограничена случаями дефицита несущей способности  $\leq 25\%$ , для достижения большего прироста несущей способности требуется увеличение радиуса скругления граней колонны. Данный метод эффективен при специфических условиях работы конструкций, пример для колонны круглого сечения, а также при динамических (включая сейсмических) нагрузках, высокой гибкости элементов. При увеличениях нагрузки или при дефиците несущей способности (25-30% и более) метод значительно уступает альтернативным, более материалоемким (железобетонная, металлическая обойма, распоркам).

4. Настоящее исследование подтверждает, что не существует универсального "лучшего" метода усиления железобетонных колонн, каждый из рассматриваемых методов имеет свои плюсы и недостатки. Результаты работы предоставляют инженерам-проектировщикам основу для обоснованного выбора наиболее эффективных, надежных и экономически оправданных решений по усилению железобетонных колонн в самых разнообразных условиях, способствуя повышению безопасности и долговечности конструкций и здания в целом.

### Литература

1. Жиленко О.Б., Ниметуллаева У.М. Адаптация существующих зданий к новой функции // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 2(73). С. 17 – 26.
2. Майборода Д. В. Реновация промышленных территорий // Вестник науки. 2019. №6 (15). С. 239-241.

3. Георгиев С. В., Соловьева А. И., Меретуков З. А. Сравнение методов усиления железобетонных стоек с точки зрения экономической эффективности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485).
  4. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134).
  5. Георгиев С. В., Меретуков З. А., Соловьева А. И. К определению прочности бетона, обжатого композитными материалами, расположенными в поперечном направлении // Инженерный вестник Дона. 2021. № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225).
  6. Георгиев С. В., Маилян Д. Р., Соловьева А. И. Исследование эффективности композитного продольного и поперечного усиления при увеличении прочности и жесткости гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2023. № 2(4). С. 7–18.
  7. Давыдов М. Ю., Фомин Н. И. Обзор основных методов усиления железобетонных колонн зданий и анализ факторов для выбора рационального метода // Техника и технологии строительства. 2022. № 1 (29). С. 18-24.
  8. Желнинский В. А., Макаров О. В., Микуляк И. Р. Сравнение усиления вертикальных конструкций за счет устройства железобетонных и металлических обойм и подклеивания композитных материалов // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 67-69.
  9. Sen, D., Begum, M. Experimental Investigation on the Behavior of Steel Angle and Strip Jacketed RC Column Under Eccentric Loading // J. Inst. Eng. India Ser. 2024. Vol. 105. pp.77–89.
-

10. Khalifa, E.S., Al-Tersawy, S.H. Experimental and analytical behavior of strengthened reinforced concrete columns with steel angles and strips // Int J Adv Struct Eng 6. 2014. Vol. 6.
11. Муленкова В. И., Артюшин Д. В. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций: учеб. пособие // Пенза : ПГУАС, 2014. — 118 с.
12. Онуфриев, Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений // Москва: Стройиздат, 1965. — 212 с.

### References

1. Zhilenko O.B., Nimetullaeva U.M. Stroitel'stvo i texnogennaya bezopasnost'. 2021. № 2(73). pp. 17 – 26.
2. Majboroda D. V. Vestnik nauki. 2019. №6 (15). pp. 239-241.
3. Georgiev S. V., Solov`eva A. I., Meretukov Z. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485).
4. Pol'skoj P.P., Georgiev S. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134).
5. Georgiev S. V., Meretukov Z. A., Solov`eva A. I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225).
6. Georgiev S. V., Mailyan D. R., Solov`eva A. I. Sovremennyye tendencii v stroitel'stve, gradostroitel'stve i planirovke territorij. 2023. № 2(4). pp. 7–18.
7. Davy`dov M. Yu., Fomin N. I. Texnika iologii stroitel'stva. 2022. № 1 (29). pp. 18-24.
8. Zhelninskij V. A., Makarov O. V., Mikulyak I. R. E`konomika stroitel'stva. 2023. № 5. pp. 67-69.
9. Sen, D., Begum, M. J. Inst. Eng. India Ser. 2024. Vol. 105. pp.77–89.
10. Khalifa, E.S., Al-Tersawy, S.H. Int J Adv Struct Eng 6. 2014. Vol. 6.
11. Mulenkova V. I., Artyushin D. V. Raschet i konstruirovaniye usileniya zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij: ucheb. Posobie [Calculation and design



of reinforcement of reinforced concrete and masonry structures: a tutorial]. Penza: PGUAS, 2014. 118 p.

12. Onufriev, N. M. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij promyshlennyyh zdaniy i sooruzhenij [Strengthening of reinforced concrete structures of industrial buildings and structures]. Moskva: Strojizdat, 1965. 212 p.

**Дата поступления: 14.07.2025**

**Дата публикации: 25.08.2025**