

УДК 69.07

**УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**



**STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE COLUMNS DURING  
THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

**Енина Инна Дмитриевна**

студент  
института строительства и  
транспортной инфраструктуры  
Кубанский государственный  
технологический университет  
inna.enina20@gmail.com

**Дейкин Денис Игоревич**

студент  
института строительства и  
транспортной инфраструктуры  
Кубанский государственный  
технологический университет  
den.deykin20@gmail.com

**Аннотация.** В последние 10–15 лет в России вырос объем работ по реконструкции (в т.ч. реставрации и капитальному ремонту) различных зданий и сооружений с целью prolongation жизненного цикла существующих объектов и приведения конструкций зданий и сооружений к соответствующим современным нормативным требованиям прочности и энергоэффективности. Причинами, вызывающими необходимость усиления железобетонных колонн, являются коррозия арматуры и, как следствие, полное отслаивание защитного слоя бетона, увеличение эксплуатационных нагрузок, ошибки при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, повреждения, вызванные пожаром, износ при неудовлетворительной эксплуатации. В данной статье рассмотрим известные способы усиления железобетонных колонн и сравним их.

**Ключевые слова:** усиление, железобетонные колонны, железобетонная обойма, сталефибробетон, стальная обойма, жидкое стекло, «рубашка», углеродная лента, композит, стеклопластиковая арматура, ламинат.

**Enina Inna Dmitrievna**

Student,  
Institute of Construction and  
Transport Infrastructure  
Kuban State Technological University  
inna.enina20@gmail.com

**Deykin Denis Igorevich**

Student,  
Institute of Construction and  
Transport Infrastructure  
Kuban State Technological University  
den.deykin20@gmail.com

**Annotation.** In the last 10–15 years in Russia, the volume of reconstruction work (including restoration and overhaul) of various buildings and structures has increased in order to extend the life cycle of existing facilities and bring the structures of buildings and structures to the corresponding modern regulatory requirements for strength and energy efficiency. The reasons for the need to strengthen reinforced concrete columns are corrosion of reinforcement and, as a result, complete peeling of the protective layer of concrete, an increase in operational loads, errors in the design, manufacture and installation of structures, damage caused by fire, wear during unsatisfactory operation. In this article, we will consider the known methods of reinforcing reinforced concrete columns and compare them.

**Keywords:** reinforcement, reinforced concrete columns, reinforced concrete cage, steel fiber concrete, steel cage, liquid glass, «shirt», carbon tape, composite, fiberglass reinforcement, laminate.

**Усиление железобетонных колонн железобетонной обоймой**

**Н**аиболее частым и простым способом усиления железобетонной колонны является устройство железобетонной обоймы, которая в свою очередь повышает несущую способность.

Устройство железобетонной обоймы позволяет уменьшить поперечные деформации усиливаемого элемента. При устройстве таких обойм поверхность бетона усиливаемого элемента очищается от пыли, обрабатывается стальными щетками и промывается водой за 1–1,5 ч до бетонирования. Анализ экспериментальных исследований по усилению сжатых элементов показал, что проскальзывание железобетонной обоймы по элементу усиления незначительно. Это явление происходит в условиях строительной площадки и зависит от класса бетона, состава и иных характеристик.

Железобетонные обоймы, имеющие продольную и поперечную арматуру, устраивают по периметру элемента со всех сторон. Конструктивные особенности обоей должны соответствовать следующим требованиям: площадь продольной арматуры определяется расчетом, ее диаметр должен быть не менее 16 мм для сжатых и 12 мм для растянутых стержней. Поперечную арматуру принимают диаметром не менее 6 мм, а сварную – 8 мм и устанавливают с шагом 15 диаметров продольной арматуры, но не более трехкратной толщины обоймы или 200 мм. В местах возможной концентрации напряжений шаг хомутов уменьшается вдвое. Толщина обоймы обычно не превышает 300 мм. Минимальную толщину при укладке бетона вибрированием принимают не менее 60–70 мм, а при укладке торкретированием – не менее 40 мм. Можно сделать вывод, что поперечную арматуру и толщину обоймы принимают конструктивно.

### **Усиление железобетонных колонн железобетонной рубашкой**

При отсутствии возможности выполнения замкнутой обоймы, рекомендуется устройство «рубашек» – незамкнутого с одной стороны слоя наращиваемого железобетона. При данном способе усиления по концам поперечного сечения «рубашек» необходимо выполнить надежную анкеровку поперечной арматуры. Это выполняется способом приваривания хомутов к арматуре колонны.

Если «рубашки» устраиваются только по поврежденным участкам усиливаемых элементов, то их грани необходимо удлинить на неповрежденные части на длину анкеровки продольной арматуры рубашки и более, не менее пяти толщин стенок «рубашки», не менее ширины грани или диаметра усиливаемого элемента и не менее 500 мм. При установке арматуры «рубашек» требуется применять диаметр менее 8 мм для продольных стержней и сварных хомутов и 6 мм – для вязаных хомутов.

Работы по усилению железобетонной колонны методом устройства «рубашки» выполняют в следующей последовательности:

1. Перед тем как начать работы по усилению поверхность колонны подготавливается следующим образом: удаляется штукатурный слой; наносится насечка в бетоне на глубину 3–6 мм; за час до бетонирования поверхность старого бетона промывается чистой водой.

До начала сварки арматурных стержней свариваемые концы и соединительные накладки должны быть очищены в местах сваривания от загрязнений и масел. Вода, в том числе конденсационная, должна быть удалена с поверхности стержней и соединительных накладок нагреванием их газовыми горелками и паяльными лампами до температуры 100 °С.

Не допускается наличие дефектов от дуговой сварки на рабочих арматурных стержнях. Ожоги должны быть зачищены, при этом уменьшение площади сечения стержня не должно превышать 3 %. Место очистки стержня от дефектов должно иметь плавные переходы, а риски от абразивной обработки необходимо направлять вдоль стержня.

Не допускается отрезка электрической дугой концов стержней.

2. После проведения необходимых расчетов подбирается сечение и количество продольной арматуры при условии обеспечения совместной работы «рубашки» с колонной. Поперечная арматура должна быть диаметром не менее 6 мм и устанавливается с шагом  $S$ , определяемым расчетом.

Арматурная сталь и прокат, применяемые в усиливаемых конструкциях, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 13015-2012, СП 28.13330.2017.

3. После монтажа арматуры производят бетонирование конструкции усиления. При способе усиления «рубашками» необходимо использовать портландцемент марки не меньше М400; при необходимости быстрого схватывания и твердения рекомендуется применение тепловой обработки бетона.

Использование быстротвердеющих цементов и добавок-ускорителей твердения допускается, если обеспечивается нормальная усадка.

Бетонная смесь наносится набрызгом. Максимальная крупность заполнителя для бетона не должна превышать половины толщины усиливаемой конструкции.

## **Применение самоуплотняющегося сталефибробетона**

### **при усилении обоями**

Сталефибробетоном называют бетон, дисперсно армированный стальными волокнами – фибрами. Каждая фибра играет роль стержневой арматуры в железобетоне. Прочность фибробетона на растяжение при изгибе возрастает в 2–3 раза, трещиностойкость – в 1,5–2 раза по сравнению с бетоном.

Увеличение несущей способности достигается обеспечением совместной работы арматурного каркаса и сталефибробетона. Важным аспектом является повышение качества и удобоукладываемости бетонной смеси, а также постепенный отказ от механизированных средств уплотнения.

По техническим требованиям, учитывая экономический эффект, для использования в обоях оптимальным значением является 2 % армирования по объёму стальной волновой латунированной фиброй.

### **Усиление колонн обоями с применением жидкого стекла**

Жидкое стекло – это водный раствор силиката натрия, воздушное вяжущее вещество, изготавливаемое путем обжига смеси, состоящей из кварцевого песка и соды. Полученное стекло после дробления растворяют в воде. Натриевое жидкое стекло применяется при производстве бетонов со специальными свойствами (кислотоупорных, жаростойких), огнезащитных красок и других материалов.

Конструкция усиления состоит из комбинации железобетонной обоймы с продольной и поперечной арматурой в виде замкнутых хомутов и слоя адгезионной обмазки из жидкого стекла. Эффект заключается в обеспечении возможности создания лучшего сцепления и соединения между наружной усиливающей конструкцией и элементом, подлежащему усилению.

### **Усиление колонн углеродной лентой**

Одним из современных методов усиления является использование углеродных фиброармированных полимеров, преимущество которых в высокой прочности, жёсткости, коррозионной стойкости. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, необходимость в защите от ультрафиолетовых лучей и воздействия огня. Если учесть стоимость их применения в сравнении с другими методами, то общая стоимость работ будет одинаковой.

Рационально усиление колонны приклеиванием полос из композитного материала в растянутой зоне сечения аналогично изгибаемым элементам. При этом, чем больше эксцентриситет приложения нагрузки при неизменном армировании, тем большая часть сечения бетона будет работать на растяжение. Естественно, эффективность усиления колонн обоями из композитных материалов при этом снижается. Опыты показали, что особенно эффективна будет установка узких полос или круглых стержней из полимерных композитных материалов в пазах, прорезанных в защитном слое бетона, так как в этом случае наиболее полно используется высокая прочность композитного материала на растяжение и исключается возможность его отслоения от усиливаемой конструкции. При этом вклеенные сжатые элементы не теряют устойчивость вплоть до разрушения бетона.

Обычно усиление проводят приклеиванием полос только в одном радиальном направлении или в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Второй вариант усиления часто используется для усиления безбалочных перекрытий. При усилении колонн также возможно комбинированное усиление, например, когда ламели приклеиваются в продольном направлении, а холсты в виде хомутов в радиальном.

Использование композитного усиления становится всё актуальнее. Расширяется и область их использования. В частности, применение полимерных композитных материалов, в том числе углепластиковых ламелей, возможно при усилении сооруже-

ний, расположенных в сейсмических районах. Это важно в связи с повышением сейсмической активности в мире.

### **Усиление колонн обоями с применением стеклопластиковой арматуры**

На сегодняшний день композитная арматура, как и обычная металлическая, является строительным материалом, который применяется в строительстве ответственных зданий и сооружений.

Усиление обоями с применением стеклопластиковой арматуры сопоставимо по характеристикам с обычными железобетонными обоями, а также иногда и превосходит их. При равнопрочной замене стальной арматуры стеклопластиковой стоимость сокращается в 1,5 раза. Также применение стеклопластиковой арматуры помогает сократить вес конструкции обоймы. Экономический эффект достигается низкими затратами на транспортировку, разгрузку и монтаж без применения грузоподъемных механизмов. Применение композитной арматуры дает возможность уменьшить защитный слой бетона без ущерба прочности конструкции. Стеклопластиковая арматура долговечна, не подвержена коррозии.

Существенным недостатком такой арматуры является низкий модуль упругости ( $E = 55000$  МПа), что ограничивает ее применение.

### **Усиление колонн полосами ламината**

Перспективным является направление использования композитных материалов путем установки в специально подготовленные щели или пазы. Были проведены исследования работающих конструкций, усиленных таким образом. Использование полос ламината в пазах значительно увеличивает их сцепление с бетоном по сравнению с приклеиванием иных материалов к бетонной поверхности. Возрастают растягивающие напряжения в ламинате и более полно используется работа бетона сжатой зоны. Помимо этого, в пазах композитные материалы защищены от внешних воздействий.

### **Усиление колонн стальной обоймой**

Способ усиления колонн стальными обоями легок в исполнении и позволяет незначительно увеличить поперечное сечение, а также сразу ввести колонну в работу.

Усиление стальными обоями по периметру колонн повышает прочность бетона и его деформативность, а также предотвращает проскальзывание и изгиб внутренней продольной арматуры.

Степень обжатия можно увеличить, если в планках создать предварительное напряжение. С помощью предварительного напряжения можно также увеличить степень включения в работу вертикальных уголков стальных обоек. Наиболее простым способом создания предварительного напряжения является использование заранее перегнутого уголка, которые в последующем выпрямляются за счет горизонтального стягивания.

В уголках возникает сжимающее усилие, на величину которого колонна разгрузится, и они работают как распорки.

Данным способом эффективно усиливать колонны, работающие как с большими, так и с малыми эксцентриситетами.

При усилении колонн многоэтажных зданий нужно учесть нижние реакции распорок на промежуточных этажах, которые создают дополнительные нагрузки на нижележащие перекрытия, поэтому усиление выполняют с самых нижних колонн.

При способе усиления стальными обоями несущими элементами являются вертикальные уголки. Влиянием планок на поперечные деформации бетона усиливаемой колонны следует пренебречь.

Наивысший эффект усиления можно достичь, если использовать предварительно напряженные обоймы-распорки, которые можно применять без разгрузки колонн. При их проектировании необходимо учесть, что продольное усилие не должно

продавливать опорные поверхности перекрытий (покрытия) и не должно отрывать от колонны сами перекрытия (покрытие) и что в работе распорок является наиболее невыгодной стадия монтажа, потому что гибкость уголков значительна, так как они не соединены планками.

Если использование предварительного напряжения нецелесообразно, то стальные обоймы выгодно применять только при условии частичного или полного разгрузки колонн, а также при условии плотного прилегания концов уголков к опорным поверхностям.

При действии дополнительной нагрузки уголки необходимо рассчитывать, приравнивая их продольных деформаций с деформациями железобетонной колонны. Возможность передавать нагрузку на вертикальные уголки значительно ограничены.

При усилении промежуточных колонн многоэтажных зданий нагрузка от уголков будет передаваться на нижележащие перекрытия. Для такой передачи должен быть выполнен расчет, доказывающий возможность того, что эти перекрытия в состоянии выдержать дополнительную нагрузку.

Для того, чтобы передать часть нагрузки, необходимо предварительно снять эту часть с перекрытия.

В многоэтажных зданиях, чтобы загрузить уголки обоймы нижнего этажа, недостаточно разгрузить перекрытия вышележащих этажей, нужно также усилить обоймами все вышерасположенные колонны, уголки которых будут передавать нагрузку на нижнюю обойму.

Если обоймы на вышерасположенных колоннах невозможно установить, то на уголки нижней колонны будет передаваться только та часть нагрузки, которая была временно снята с перекрытия одного нижнего этажа.

Если вертикальные уголки недостаточно прижаты к поверхностям усиливаемого элемента, то последний имеет возможность свободно деформироваться в поперечном направлении до тех пор, пока не исчезнет зазор. В этот момент планки начнут вступать в работу.

При таком качестве исполнения эффекта от усиления почти нет.

Можно выполнить прижатие уголков инвентарными струбцинами до начала приварки к ним планок, а также создать предварительное напряжение планок электронагревом или натяжными гайками.

При этом между поверхностями уголков и усиливаемой конструкции следует проложить слой раствора.

Способы усиления железобетонных колонн достаточно разнообразны и применение их в разных ситуациях зависит от многих факторов, таких как: скорость производства работ по усилению, финансовые возможности, экономическая целесообразность и степень повреждения конструкции. Выполнив полное обследование конструкций, можно делать вывод, какой из способов окажется рациональнее в использовании.

## Литература

1. Ключев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. – 2012. – №3. – С. 23–26.
2. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.
3. Поднебесов, П.Г., Теряник В.В. Особенности применения самоуплотняющегося сталефибробетона при усилении железобетонных колонн // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 23–26.
4. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композитах и их влияние на свойства материалов // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.
5. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. – М. : «Стройиздат».

6. Дворная З.Л., Леонова А.Н. Достоинства и недостатки различных методов усиления железобетонных колонн // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 287–289.
7. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 85 с.
8. Леонова А.Н., Бибииков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.
9. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
10. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
11. Махинько А.С., Овсиенко Е.А., Леонова А.Н. Разработка новых конструктивных форм, методом расчета, оптимизации и реконструкции строительных конструкций и сооружений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 339–342.
12. Леонова А.Н., Шевчук Е.А., Губская К.В. Основные виды композитной арматуры. Её преимущества и недостатки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 334–338.

### References

1. Klyuyev S.V. Strengthening and restoration of structures using composites on the basis of carbon fiber // Concrete and reinforced concrete. – 2012. – № 3. – P. 23–26.
2. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening of building structures by carbon composite materials // In the collection: Actual problems of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian scientific-practical conference. – 2015. – P. 75–79.
3. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. Features of application of self-compacting steel-fiber-concrete when reinforcing reinforced concrete columns // Bulletin of SUSU. Series «Construction and Architecture». – 2014. – Vol. 14. – № 1. – P. 23–26.
4. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in spatially reinforced composites and their influence on the properties of materials // In the collection: Development and innovation in construction. Collection of articles of the International scientific and practical congress. – 2018. – P. 132–136.
5. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. Strengthening of reinforced concrete structures with composite materials. – M. : Stroyizdat.
6. Dvornaya Z.L., Leonova A.N. Advantages and disadvantages of various methods of strengthening reinforced concrete columns // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2019. – № 2. – P. 287–289.
7. Badjin G.M., Sychev S.A. Modern technologies of construction and reconstruction of buildings. – SPb. : BKhV-Peterburg, 2013. – 85 p.
8. Leonova A.N., Bibikov B.S. Modern methods of strengthening horizontal load-bearing structures with carbon fiber // In the collection: Development and Innovations in Construction. Materials of the III International Scientific-Practical Conference. – 2020. – P. 16–21.
9. Leonova A.N., Sofyanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of the strengthening of building structures by composite polymeric materials at high and low temperatures // Perspectives of Science. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
10. SP 164.1325800.2014 Strengthening of reinforced concrete structures by composite materials. Design rules.
11. Makhinko A.S., Ovsienko E.A., Leonova A.N. Development of new structural forms, calculation methods, optimization and reconstruction of building structures and constructions // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 339–342.
12. Leonova A.N., Shevchuk E.A., Gubskaya K.V. Main types of composite armature. Its advantages and disadvantages // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 334–338.