Рисунок 1 – Способы усиления железобетонных колонн:
а) металлическая обойма с возможностью обжатия колонны;
б) классическая металлическая обойма из прокатных уголков;
в) обойма из лент из композиционных материалов

обклеенным лентами из композитного материала с конкретным шагом [7]. В обоих случаях усилие обжатия колонны приложено к кромке, вследствие чего в них возникает одинаковое напряженное состояние (рис. 2).

Напряжение обжатия в поперечном сечении колонны распределяется от зоны контакта обоймы под углом φ . Угол φ характеризует угол внутреннего трения в бетоне. Наиболее характерное значение φ для тяжелого бетона равняется 37° , для расчетов угол φ принимается равным 45° . Следовательно, полная площадь области сечения не входящей в активную зону вычисляется по данной формуле [9]:

$$A_{bu} = \frac{b'^2 + h'^2}{3}$$

где b' и h' – размеры частей колонн, не охваченных усилением.

При расчете классической металлической обоймы учитывается восприятие вертикальной нагрузки уголками обоймы, а проектирование производится по нормам [1]. При усилении обоймой из композиционного материала учитывается эффект усиления от ограничения деформированию в поперечном направлении, а проектирование этих обойм производится по СП 164.1325800.2014. Учитывая, что воздействие на колонну от обжатия металлической обоймой аналогично воздействию от обоймы из композитных материалов, далее при

определении эффекта поперечного обжатия металлической обоймой поперечными связями из шпилек будет использована методика, предназначенная для усиления колонн из композиционных материалов. Стоит отметить, что подобный расчет является приближенным, а для более точного и надежного проектирования необходимо уточнение методики, учитывающей реальное напряженное состояние колонны при нагружении в условиях поперечного обжатия и элементов обоймы, воспринимающих вертикальную нагрузку и отпор обжимаемого бетона.

В качестве обоймы использована лента из углеродного волокна толщиной 0,293мм – устанавливается по всей высоте колонны в 3 слоя с расположением волокон перпендикулярным продольной оси колонны. Полосы холста с расположением волокон вдоль оси колонны наклеиваются в верхней части колонны в два слоя.

$$R_{ft} = \frac{C_E \cdot R_f}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 3225}{1,1} = 2638,6 \text{ кгс/см}^2.$$

Расчетные значения модуля упругости при растяжении E_R принимаются равными их нормативным значениям.

где γ_f – коэффициента надежности, равный 1,1 при расчетах по первой группе предельных состояний;

C_E – коэффициент условия работы, равный 0,9, учитывающий влияние окружающей среды;

Рисунок 2 – Схема обжатия поперечного сечения:
а) при усилении обоймой из композиционных материалов; б) при обжатии металлической обоймой

R_f – максимальная прочность на растяжение композита.

$$R_f = 0,0038 K_1 R_p$$

$$K_1 = 2 \cdot t_f \frac{b + h}{b \cdot h} = 2 \cdot 3 \cdot 0,0293 \text{ см} \cdot$$

$$\cdot \frac{40 \text{ см} + 40 \text{ см}}{40 \text{ см} \cdot 40 \text{ см}} = 0,00879$$

Прочность бетона усиленной колонны определяется по формуле:

$$R_{b_{hoop}} = R_b \left(2,254 \sqrt{1 + 558,18 \frac{R_l}{R_b}} - 140,6 \frac{R_l}{R_b} - 1,254 \right)$$

$$R_{b_{hoop}} = 73,1 \text{ кгс/см}^2 \cdot \left(2,254 \sqrt{1 + 558,18 \frac{0,0881 \text{ кгс/см}^2}{73,1 \text{ кгс/см}^2}} - 140,6 \frac{0,0881 \text{ кгс/см}^2}{73,1 \text{ кгс/см}^2} - 1,254 \right) = 109 \text{ кгс/см}^2$$

R_b – расчетное значение сопротивления бетона сжатию для предельных состояний первой группы.

По аналогичной методике определяем несущую прочность бетона обжатой колонны, при этом $R_f = R_s$; Вместо t_f определяется приведенная толщина металлических тяжей, равная отношению площади поперечного сечения к шагу расположения тяжей. Для тяжей диаметром 20 мм, установленных с шагом 200 мм приведенная толщина составляет $t_f = 0,157$ мм.

При расчете несущей способности колонны вместо R_b подставляем значение .

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ

Для сравнения произведен расчет усиления железобетонной колонны и приведена экономическая оценка эффективности работ. Для усиления принята колонна сечением 40х40 см, высотой 3,5 м. Класс бетона по прочности В15. Рабочее армирование колонны представляет собой четы-

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели конструкций обойм усиления

Тип обоймы	Обойма из композитных материалов наклеенных в поперечном направлении	Обойма из прокатных металлических уголков соединенных металлическими пластинами	Обойма из прокатных металлических уголков соединенных металлическими шпильками
Параметры конструкции обоймы	Толщина слоя $t_f = 0,293\text{мм}$, количество слоев – 3	Уголок-90х90х6; Пластины 380х80х6 с шагом 400мм	Уголок-90х90х6; Шпильки М24 с шагом 200мм
Масса усиления, кгс	32,144	173,84	211,64
Полные габариты колонны после усиления, мм х мм	410х410	460х460мм	520х520мм
Несущая способность после усиления, тс.	212,2	258,87	342,3
Увеличение несущей способности, тс.	53,2	99,87	183,3
Затраты на производство работ по усилению одной колонны, тыс. руб.	90	17,18	18,9
Удельная величина увеличения несущей способности, тс. /тыс. руб.	0,59	5,81	9,70

ре стержня диаметром 16мм из стали класса А-500, установленные в углах конструкции. Поперечные хомуты выполнены из стержней Ø8мм класса В-500, установленных с шагом 350мм. Несущая способность неусиленной колонны составляет 159 тонна-силы.

Для усиления данной колонны были спроектированы обоймы по принципам описанным выше. Результаты проектирования и технико-экономические показатели для спроектированных конструкций приведены в табл. 1.

В качестве усиления колонны запроектирована обойма из углеволоконных лент толщиной 0,293мм. Ленты усиления устанавливаются по всей высоте колонны в 3 слоя с ориентацией волокон в направлении перпендикулярным продольной оси колонны. Наклейка лент производится на очищенную выровненную поверхность колонны, кромки которой скруглены под радиусом не менее 30мм. Это усиление увеличивает прочность бетона с 85,68 кгс/см² до 122,47 кгс/см², а несущая способность колонны увеличивается до 212,2 тс (на 34%).

Классическая металлическая обойма усиления этой же колонны запроектирована из прокатных уголков 90х90х6, установленных в углах сечения. В качестве соединительных

планок используются металлические пластины с размерами 380х80х6мм и установленные с шагом 400мм. Несущая способность колонны усиленной таким способом составляет 258,87 тс, что на 63% больше изначальной.

Металлическая обойма обжата изготовлена аналогично классической из уголков 90х90х6, для объединения которых используются тяжи из металлических шпилек Ø20мм, установленных с шагом 200мм. Расчетная прочность бетона на сжатие после обжаты обоймой составляет – 143,67кгс/см² (вместо 85,68 кгс/см²). Таким образом несущая способность железобетонной колонны усиленной уголкового обоймой обжаты увеличивается на 115% и составляет – 342,3 тс.

Для оценки эффективности конструктивных решений введена величина удельных затрат на единицу увеличения несущей способности, равной отношению стоимости на производство работ по усилению к величине приращения несущей способности. При анализе сметных расчетов на расходы материалов и производство работ выявлено, что наибольшей эффективностью обладает металлическая обойма с поперечными тяжами в виде шпилек. Эти результаты объясняются тем, что эта обойма

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 2 – Ведомость объемов работ при производстве обоймы из КМФ

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
2	Стесывание неровностей		м2	5,6
3	Снятие поверхностного слоя бетона		м2	5,6
4	Разметка поверхности колонны под скругление углов		п.м.	14
5	Скругление углов (радиус 3.0см)		п.м.	14
6	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
7	Заполнение ремсоставом выбоин	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	28,6
8	Снятие ремсостава под габариты колонны		м2	5,6
9	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
10	Обезжиривание поверхности		м2	5,6
11	Разметка поверхности под наклейку холста		м2	5,6
12	Нанесение праймера	Праймер Mbrace Primer	кг	2,688
13	Наклейка холста	Холст Mbrace FIB CF 230/4900.530g/5	м2	16,8
14	Обсыпка кварцевым песком		м2	5,6
15	Нанесение огнезащитного покрытия	Огнезащитный состав	кг	61,32

Таблица 3 – Ведомость объемов работ при производстве обжимных обойм

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Изготовление обоймы на заводе	Мет. Профиль	кг	136,4
2	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
3	Стесывание неровностей		м2	2,1
4	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
5	Нанесение выравнивающего раствора	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	10
6	Установка обоймы	Мет. Профиль	кг	136,4
7	Предварительная затяжка		шт	76
8	Затяжка шпилек до проектной величины после вытвердивания раствора		шт	76
9	Выполнение огнезащитной обработки	Огнезащитный состав	кг	120

Таблица 4 – Ведомость объемов работ при производстве классических обойм

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Изготовление элементов обоймы на заводе	Мет. Профиль	кг	173,9
2	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
3	Стесывание неровностей		м2	2,1
4	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
5	Нанесение выравнивающего раствора	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	10
6	Установка уголков обоймы	Мет. Профиль	кг	173,9
7	Нагрев соединительных пластин	Лист 380x80x6	шт	40
8	Приварка соединительных пластин	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	41
9	Выполнение огнезащитной обработки	Огнезащитный состав	кг	120

помимо восприятия вертикальной нагрузки еще и ограничивает поперечные деформации железобетонной колонны, то есть имеет функцию аналогичную композитной обойме. Рабочими элементами при таком принципе действия конструкции являются поперечные тяжи (соединительные шпильки), они воспринимают поперечные деформации конструкции [8]. Таким образом, максимально задействованы все элементы металлической обоймы, что позволяет более рационально использовать конструкцию, а, следовательно, повышает эффективность использования обоймы.[9].

Помимо материальных затрат необходимо учитывать остальные также немаловажные факторы. Очень важно учитывать время, затраченное на производство работ на строительной площадке, универсальность решения и возможность усиления без перерыва эксплуатации здания.

Усиление углеволокном требует много времени на подготовительные работы такие как выравнивание поверхности и скругление кромок колонн, а также возникает потребность времени на отверждение клеящих смол. Подготовительные процессы сопровождаются большим выделением пыли и относятся к достаточно трудоемким, что затрудняет их использование во время эксплуатации здания [11]. Для усиления металлической обоймой к поверхности колонны предъявляются меньшие требования: достаточно выровнять и очистить кромки колонны, а затем через свежий слой раствора можно устанавливать уголки. Но для классического усиления колонн классическими обоймами перед сваркой соединительных планок их требуется нагревать, что существенно увеличивает трудоемкость монтажа. Использование шпилек (в обоймах обжатия) позволяет избежать трудоемких процессов по разогреву, а также исключает негативное термическое воздействие на колонну[10].

Использование обойм из металлических уголков является достаточно универсальным способом усиления, в отличие от композитной обоймы она может быть использована для усиления внецентренно сжатых колонн как с малыми, так и с большими эксцентриситетами. Принцип действия обоймы, непосредственно воспринимающей вертикальную нагрузку, прост и не требует дополнительного изучения, данное конструктивное решение имеет вековой опыт, что является залогом безопасной и надежной эксплуатации [9]. Производство работ по усилению сжатых элементов металлическими обоймами может произво-

диться в широком температурном диапазоне окружающей среды, что позволяет использовать данный метод в любое время года, хотя при использовании композитных обойм для высыхания эпоксидного клея необходима температура не ниже +10°C. Если рассматривать долговечность конструкции, то можно сказать, что металл является материалом со стабильными характеристиками, не меняющимися на протяжении эксплуатации, а реологические свойства материалов, используемых для композитных конструкций до конца не изучены, но при этом известно, что эпоксидные смолы с течением времени становятся хрупкими и их прочность снижается.

Металлические обоймы обжатия являются эффективным и надежным способом усиления колонн, но у них также есть некоторые недостатки, в том числе нарушение внешнего вида, отсутствие гладкой поверхности конструкции и некоторое увеличение габаритов колонны, что в свою очередь может ограничить область её применения. Для решения проблем, связанных с эстетичностью усиленных колонн предлагается их оштукатуривать цементно-песчаным раствором или обшивать гипсокартонными листами, что позволило бы избежать дополнительных затрат на огнезащиту [6].

ВЫВОД

Способ усиления обжатием актуален, однако в существующих Нормах нет указаний по учету эффекта обжатия колонн металлическими обоймами, что не позволяет использовать подобные обоймы в строительной практике. Для полного понимания напряженного состояния системы «металлическая обойма – железобетонная колонна» и определения требуемых параметров элементов конструкции усиления требуется подробней изучить вопросы, связанные с определением усилий, возникающих в поперечных тяжах и уголках обойм. Учитывая, что при использовании подобных конструкций возникает возможность контролируемого предварительного обжатия, целесообразно рассмотреть его влияние на эффект усиления, и определить наиболее оптимальные усилия преднатяжения шпилек.

Опираясь на результаты сравнительных расчетов для различных конструкций обойм усиления, и учитывая высокую эффективность металлических обойм обжатия, можно сделать вывод о том, что более подробное изучение вопросов, связанных с определением

эффекта от сдерживания поперечных деформаций подобными обоймами, а также разработка методик по их проектированию являются актуальными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования
2. Байков В.Н., Горбатов С.В., Дмитриев З.А. Построение зависимости между напряжениями и: деформациями сжатого бетона в системе нормируемых показателей / Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1976. №6. С. 15-18.
3. Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. М.: Стройиздат. 1990. 352 с.
4. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Сущность метода и его обоснование. М.: Госстройиздат. 1949. 280 с
5. Гроздов В.Т. О прочности и деформативности колонн, усиленных обоймами // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1989. №3. С. 8-10.
6. Поляков, С.В. Прочность колонн каркасных зданий при сейсмических нагрузках / С.В. Поляков, Ю.С. Кульгин, И.З. Бацанадзе, А.С.

Залесов // Бетон и железобетон. 1982. – № 11. – С. 12-13.

7. Мосин, М. В. Компьютерное моделирование трехосного напряженного состояния сжатой бетонной призмы / Мосин, М. В. [идр.] // Техника и технологии строительства. №4 (8). С. 91-97.

8. Ставров, Г.Н. Расчет центрально сжатых железобетонных элементов спиральным и кольцевым армированием / Г.Н. Ставров и др. // Бетон и железобетон. 1993. – № 2. – С. 31-32.

9. Тамразян, А.Г. Совершенствование методов расчета железобетонных конструкций на основе структурной теории деформирования бетона [текст] // Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГСУ, 1998. – 395 с.

10. Тонких, Г.П. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г.П. Тонких, В.С. Плевков, А.И. Мальганов, О.В. Кабанцев // Пособие под ред. Плевкова В.С. и Тонких Г.П., 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2008. – 205 с.

11. Шилин, А. А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами./ А. А. Шилин [идр.] – Москва: Стройиздат, 2007. -184с

12. Яшин, А.В. О некоторых деформативных особенностях бетона при сжатии [текст] / Теория железобетона.: сб. науч. тр. // М.: Стройиздат, 1972. – С. 131-137.

EVALUATION OF THE EFFECT AND THE EFFICIENCY GAIN ANGLED METAL COLLARS STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH COMPRESSION

M.V. Mosin

Abstract. Results constructed enhancing various types to enhance the ability of non-shear typical reinforced concrete columns. Results feasibility-exponent is in the amplification string classical metal clip, metal clip with compression columns and yoke made of composite materials. The analysis estimated the cost calculations races-production gain concrete columns. The urgency of research the effect of compression of reinforced concrete columns with metal collars.

Keywords: Reinforcement of columns, compression columns effect clips, metal clip, the efficiency gain, compression columns, concrete columns.

REFERENCES

1. SP 164.1325800.2014 Usilenie zhelezo-betonnykh konstrukcij kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniya
2. Bajkov V.N., Gorbato V.C.B., Dmitriev Z.A. Building a relationship between stress and: concrete compressive strain in the system of stan-

darized indicators. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1976. №6 p. 15-18.

3. Bondarenko C.B., Sanzharovskij P.C. Strengthening of reinforced concrete structures under reconstruction. Moscow. : Strojizdat. 1990. 352 p.

4. Gvozdev A.A. Calculation of bearing capacity of structures by the method of limit equilibrium.