



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЫКОВ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.012.35:69.059.35

АВТОРЫ

ПЛЕВКОВ В.С., доктор техн. наук, проф., профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета

БАЛДИН И.В., канд. техн. наук, доцент Томского государственного архитектурно-строительного университета

ГОНЧАРОВ М.Е., ассистент Томского государственного архитектурно-строительного университета

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы оценки прочности и деформативности стыков железобетонных колонн без усиления и усиленных металлическими обоймами. Приведены результаты экспериментальных и численных исследований натуральных образцов стыков, которые показали удовлетворительную сходимость.

The questions for assessing the strength and deformability of ferro-concrete column joints without reinforcement and reinforced with metal socket side are considered. The results of experimental and numerical studies of natural samples of joints, which showed satisfactory agreement are presented.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стыки железобетонных колонн, усиление, экспериментальные и численные исследования

Проблема оценки прочности и деформативности стыков железобетонных колонн в последнее время становится все более актуальной, так как при возведении железобетонных каркасов многоэтажных жилых и гражданских зданий часто встречаются дефекты и ошибки, которые, снижая несущую способность колонн и их стыков, могут привести к отказу отдельных конструкций здания или здания в целом. Таким примером отказа отдельных конструкций является двенадцатиэтажное здание Кардиологического центра в г. Кемерово [1]. В данном здании были допущены ошибки при проектировании (учет не полных нагрузок), изготовлении (отсутствие дополнительных сеток в уровне стыка колонн) и монтаже (некачественное обетонирование стыков колонн, отсутствие дополнительных стержней в зоне стыка колонн и замена ванной сварки на электродуговую при помощи коротышей) железобетонных колонн, которые привели к недопустимому и даже аварийному состоянию отдельных колонн и их стыков на первомчетвертом этажах здания (рис. 1).

В результате обследования здания Кардиологического центра в г. Кемерово, статических и динамических (с учетом пульсации ветра и сейсмических воздействий) расчетов пространственной конечно-элементной расчетной схемы каркаса здания с учетом выявленных дефектов и отступле-

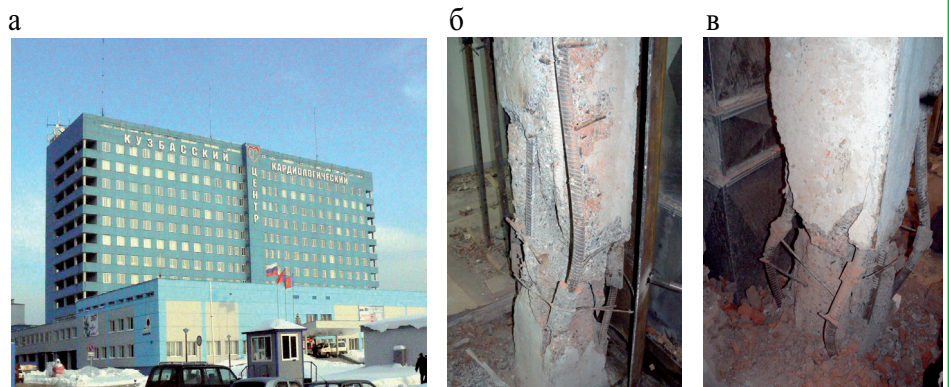


Рис. 1. Общий вид здания Кардиологического центра в г. Кемерово (а) и аварийные колонны первого этажа (б, в)



ний от проекта, были предложены варианты усиления стыков железобетонных колонн металлическими обоймами.

Для выявления работы стыков железобетонных колонн, усиленных металлическими обоймами, а также получения схем их разрушения, была разработана программа экспериментальных и численных исследований, которая включала в себя шесть натуральных образцов стыков железобетонных колонн (рис. 2).

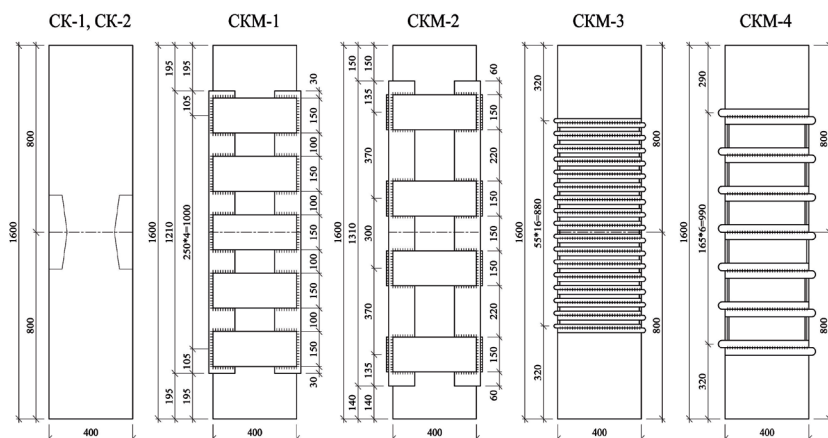


Рис. 2. Конструкции экспериментальных образцов: СК-1, СК-2 – образцы без усиления; СКМ-1 и СКМ-2 – образцы, усиленные металлическими уголками и планками в количестве пяти (СКМ-1) и четырех (СКМ-2) штук по высоте образца; СКМ-3 - усиленный арматурными стержнями класса А-III (А400) \varnothing 20 мм; СКМ-4 - усиленный арматурными стержнями класса А-III (А400) \varnothing 32 мм.

Образцы выполнялись сечением 400*400 мм и длиной 1600 мм: два образца выполнены без усиления и четыре образца с усилением металлической обоймой двух видов: в виде уголков и планок; а также с усилением стыков арматурными П-образными стержнями класса А-III (А400) диаметром 20 мм и 32 мм. Последний вариант усиления был разработан авторами статьи, актуальность которого была подтверждена патентом на изобретение Российской Федерации [2].

Все образцы армировались одинаковой продольной и поперечной (хомуты и сетки) арматурой и выполнялись из бетона класса В25. При изготовлении натуральных образцов СК-1, СКМ-1...СКМ-4 замоноличивание стыка производилось бетоном с заниженной прочностью (В10). Для образца СК-2 прочность бетона замоноличивания подрезок соответствовала классу бетона колонны. Усиление образцов СКМ-1 и СКМ-2 производилось уголками сечением 125*8 мм, устанавливаемыми на рас-

творе, и преднапряженными планками сечением 150*10 мм и длиной 400 мм.

При усилении образцов П-образными стержнями (СКМ-3, СКМ-4) элементы усиления попарно с помощью струбцин плотно накладываются на колонну и сваривают между собой. Расстояние между парами выдерживается при помощи коротышей из арматуры, соответствующей классу и диаметру элементов усиления.

Испытания экспериментальных образцов стыков железобетонных колонн проводились в лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций Томского государственного архитектурно-строительного университета. Испытания опытных образцов на действие статической нагрузки производились по схемам центрально-загруженного элемента. Нагружение элементов продольной статической нагрузкой осуществлялось посредством гидравлического пресса (рис. 3) с максимальным усилием в 10000 кН. Нагружение происходило этапами, составляющими 10% от ожидаемой разрушающей нагрузки. Выдержка на каждом этапе составляла 8...10 минут. Величину усилия, создаваемого гидравлическим домкратом, контролировали по показаниям манометра. Для получения информации о поведении стыков

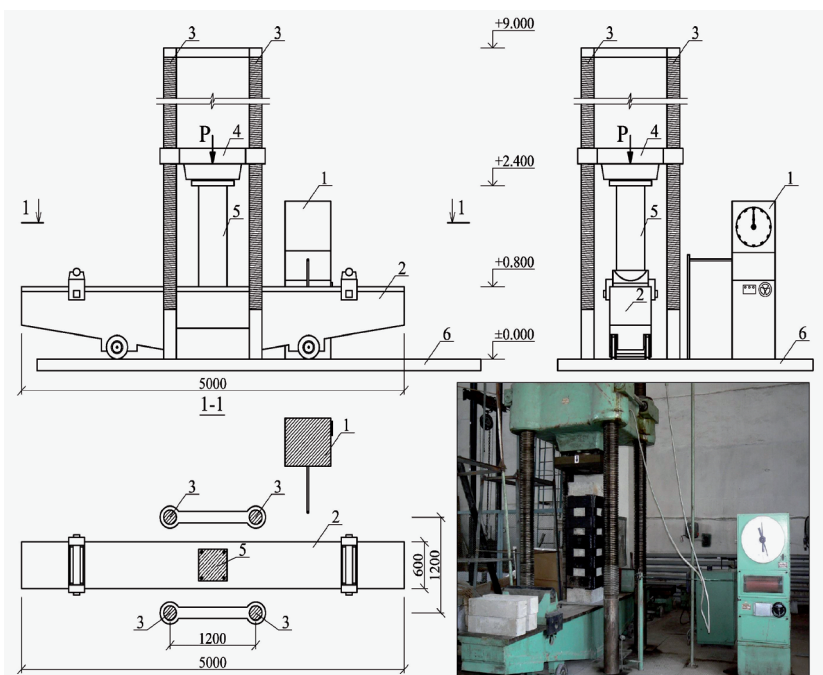


Рис. 3. Общий вид испытания экспериментальных образцов: 1-пульт управления гидравлическим прессом; 2-подвижная опора; 3-штанги; 4-неподвижная опора; 5-испытуемый образец; 6-силовой пол



железобетонных колонн использовались тензодатчики, тензометры и прогибомеры. Характерный график относительных деформаций бетона и элементов усиления представлен на рис. 4.

Разрушение натуральных образцов сопровождалось раздроблением бетона, в основном в зоне стыка колонн. При этом разрушающая нагрузка составила: для СК-1 - 4700 кН (479,6 т); СК-2 - 6000 кН (612,2 т); СКМ-1 - 8500 кН (867,3 т); СКМ-2 - 8000 кН (816,3 т); СКМ-3 - 9180 кН (935,7 т); СКМ-4 - 7800 кН (795,1 т).

Программа численных экспериментов основывалась на изучении поведения стыков железобетонных колонн без усиления и усиленных металлическими обоймами при помощи программных комплексов SCAD и ЛИРА (рис. 5). При выполнении численных экспериментов варьировалось: наличие или отсутствие сеток в стыке колонн, класс бетона замоноличивания стыка, наличие и вид металлической обоймы усиления. Кроме этого, выполнены расчеты стыков железобетонных колонн с учетом физической нелинейности материалов.

В результате статического расчета получены значения перемещений узлов и усилия в элементах экспериментальных образцов. На рис. 6 приведен характер изополей горизонтальных перемещений в зоне стыка железобетонных колонн, которые показывают наличие сосредоточенных усилий в зоне стыка в виде клиньев, что соответствует теории разрушения контактных стыков, предложенной Соколовым Б.С. Согласно данной теории, разрушение контактных стыков (стыков колонн) вызвано действием уплотнений бетона в виде клиньев или конусов, в зависимости от формы грузовых площадок, которые, внедряясь в тело элемента, приводят к его разрушению от преодоления сопротивления бетона отрыву, сдвигу и раздавливанию [3].

Проведенные численные исследования позволили достаточно точно оценить напряженно-деформированное состояние рассчитываемого образца в начальной стадии работы конструк-

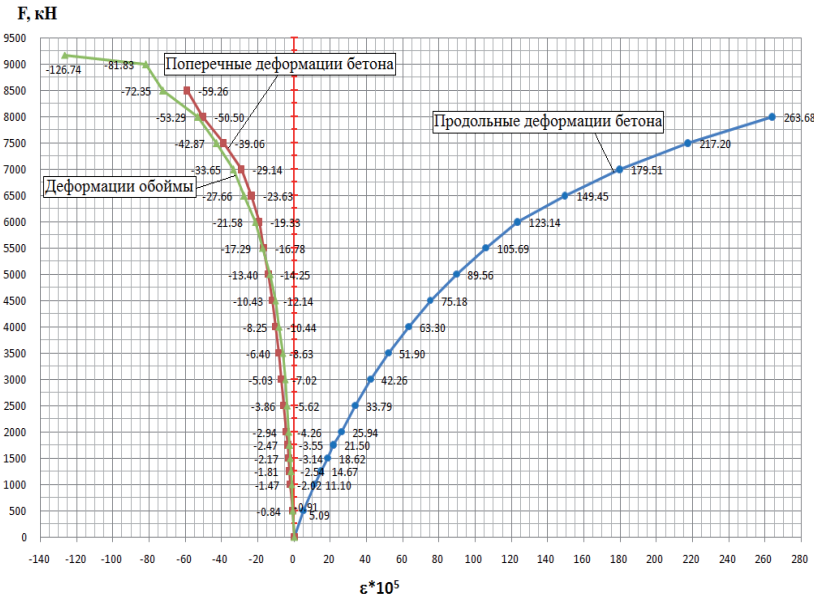


Рис. 4. Характерный график относительных деформаций бетона и элементов усиления образца СКМ-3.

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований при статическом нагружении показал, что:

- усиление П-образными стержнями позволяет повысить несущую способность стыков от 30,0% до 53,0%;
- усиление металлическими планками и уголками - от 33,3% до 41,6%.

Экономичность усиления П-образными стержнями, в сравнении с усилением преднапряженными планками и уголками, заключается в минимизации видов металлических элементов усиления и снижении стоимости обоймы, которое достигается экономией материала для усиления. Кроме этого, при помощи усиления П-образными стержнями появляется возможность частично восстановить косвенное армирование в уровне стыка колонн и отсутствующие хомуты в колонне, которые препятствуют потере устойчивости продольных стержней колонны.

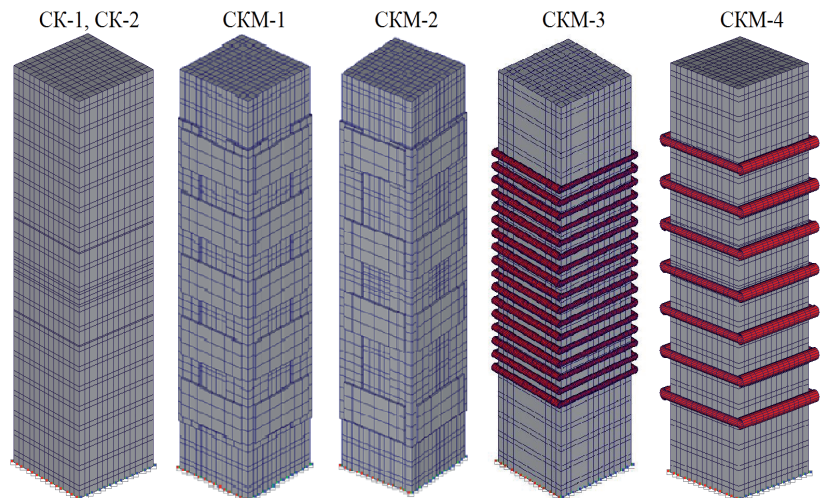


Рис. 5. Общий вид образцов численного эксперимента

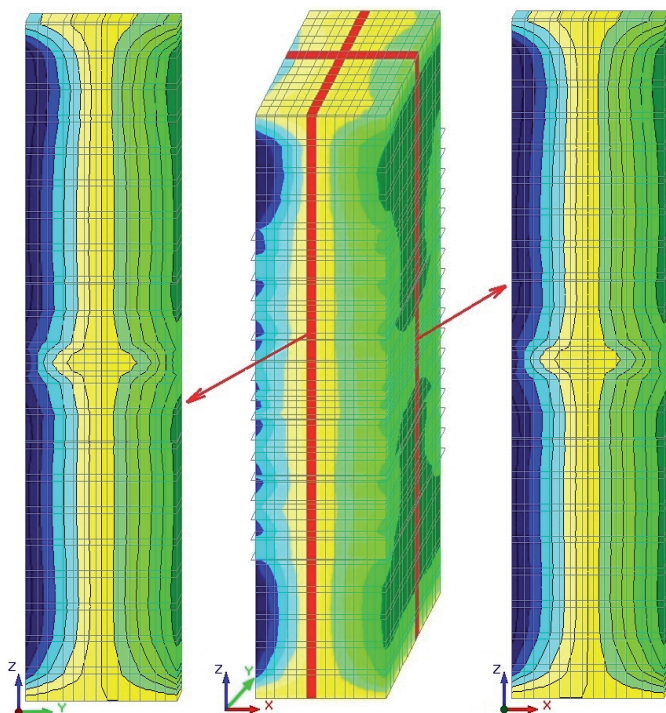


Рис. 6. Характер изополей горизонтальных перемещений в зоне стыка железобетонных колонн.

ции. В упругопластической стадии работы материалов наблюдаются значительные расхождения с результатами экспериментальных исследований.

Для усиления стыков железобетонных колонн П-образными стержнями были предложены аналитические зависимости для определения шага стержней и усилий, возникающих в стержнях обоймы [2]. Предложенные зависимости позволяют оперативно прогнозировать диаметр и шаг П-образных элементов усиления.

При этом для усиленного стыка должно выполняться условие:

$$N \leq N_{ult}^{\delta.y.} + \Delta N, \quad (1)$$

где N – нагрузка, действующая на стык;
 $N_{ult}^{\delta.y.}$ – усилие, воспринимаемое стыком колонн без усиления;
 ΔN – усилие, воспринимаемое усилением.

$$N_{ult}^{\delta.y.} = \varphi * \eta \left(R_{bc,red} * A_{ef,c} + R_{bs} * A_{ef,s} + R_{sc} * A_{s,tot} \right), \quad (2)$$

где $R_{bc,red} * A_{ef,c}$ – сопротивление бетона колонны с учетом сеток косвенного армирования;
 $R_{bs} * A_{ef,s}$ – усилие, воспринимаемое бетоном замоноличивания подрезок;
 $R_{sc} * A_{s,tot}$ – усилие, воспринимаемое продольной рабочей арматурой.

П-образными стержнями, предложено авторами определять по формуле:

$$\Delta N = 8 * \varphi * \eta * N_{so} * \frac{a}{s} * \left(1 - \frac{7.5 * e_0}{a} \right), \quad (3)$$

где $N_{so} = k * R_{so} * A_{so}$ – усилие, возникающее в обойме;

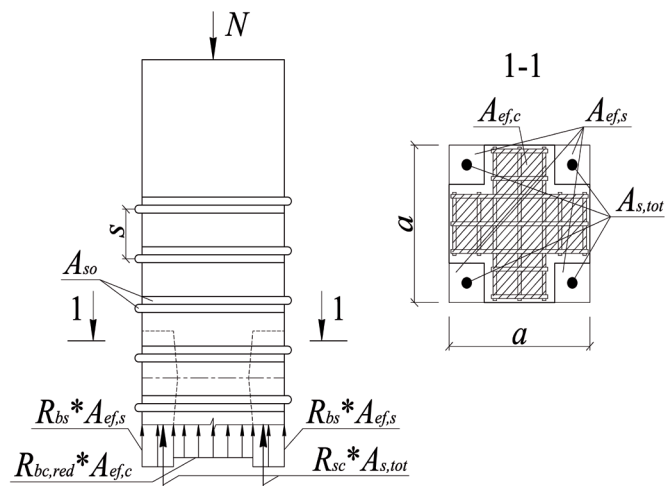


Рис. 7. К расчету стыка, усиленного П-образными стержнями.

a – сторона поперечного сечения колонны;
 s – шаг стержней усиления;

$k = \frac{N - N_{\delta.y.}}{\Delta N}$ – коэффициент, учитывающий не-

полное включение металлической обоймы в работу.

Полученные расчетные формулы показывают близкие результаты к экспериментальным исследованиям при $k = 0,5$. Расхождение составляет до 15% в сторону запаса прочности при расчетах по предложенному методу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плевков В.С. Прочность и деформативность железобетонных колонн и их стыков при статических и динамических воздействиях / Плевков В.С., Балдин И.В., Гончаров М.Е. – Томск: Томский Государственный Архитектурно-строительный университет, 2008. – 25 с.
2. Пат. 2412318 Российская Федерация, МПК E04G 23/02 (2006/01). Способ усиления колонны / В.С. Плевков, И.В. Балдин, М.Е. Гончаров; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ». - № 2009149803/03(073470) заявл. 31.12.09; опубл. 20.02.11, Бюл. № 5.
3. Соколов Б.С. Прочность горизонтальных стыков железобетонных конструкций: монография / Соколов Б.С., Никитин Г.П. // Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 104 с.