

УДК 624.042.6

Плевков В.С. – доктор технических наук, профессор

E-mail: pvs@tomsksep.ru

Гончаров М.Е. – ассистент

E-mail: Goncharov-84@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, д. 2

Особенности работы стыков сборных железобетонных колонн при кратковременном динамическом нагружении

Аннотация

В статье приведены результаты исследования работы стыков железобетонных колонн без усиления и усиленных металлическими элементами при кратковременном динамическом нагружении. Для реализации поставленной задачи были разработаны программы экспериментальных и численных исследований, при реализации которых были получены схемы деформирования, трещинообразования и разрушения, а так же величины разрушающих нагрузок экспериментальных конструкций. Полученные результаты сопоставлены с данными численных расчетов, основанных на теории разрушения контактных стыков, разработанной Б.С. Соколовым, которые показали хорошую сходимость и надежность усиления стыков колонн металлическими элементами при кратковременном динамическом нагружении.

Ключевые слова: многоэтажные здания, стыки железобетонных колонн, дефекты, усиление, металлические элементы, экспериментальные и численные исследования, теория расчета.

В последнее время вопросы оценки прочности и деформативности стыков колонн сборных железобетонных каркасов зданий и сооружений при статическом и кратковременном динамическом воздействиях становятся все более актуальными, поскольку на стадиях проектирования, изготовления и монтажа стыков сборных железобетонных колонн допускаются различные дефекты. К таким дефектам можно отнести недостаточное армирование стыков колонн, некачественное их обетонирование, пониженную прочность бетона замоноличивания подрезок, смещение колонн от проектного положения в плане и по вертикали, замену ванной сварки выпусков продольных стержней на дуговую с накладками и т.п. Так же актуальность данного исследования обусловлена дополнительными динамическими воздействиями в связи с повышением сейсмичности для многих регионов России, в том числе и для городов Западной Сибири. Все перечисленное выше приводит к появлению дополнительных изгибающих моментов и больших эксцентриситетов продольных усилий, которые вызывают отказы отдельных несущих железобетонных конструкций или зданий в целом с повреждениями дорогостоящего оборудования, травмами и даже гибелью людей.

Для изучения работы стыков железобетонных колонн при действии кратковременных динамических нагрузок, была разработана программа экспериментальных исследований, которая состояла из трех серий [1]. Каждая серия включала в себя пять конструкций сечением 100x100 мм и высотой 1000 мм. В экспериментальных конструкциях варьировались следующие параметры: наличие стыка, конструкция армирования в стыке, а так же наличие внешнего усиления в виде металлических элементов. При этом была принята следующая маркировка экспериментальных конструкций: Кд – конструкция без стыка (колонна); СКд – конструкция со стыком, в уровне которого установлено косвенное армирование в виде сеток; СКДд – конструкция со стыком, без косвенного армирования в уровне стыка; СКМд – конструкция со стыком при наличии косвенного армирования в уровне стыка и усиленная металлическими элементами; СКМДд – конструкция со стыком без косвенного армирования в уровне стыка и усиленная металлическими элементами. Армирование всех экспериментальных конструкций производилось пространственными вязаными каркасами с рабочей продольной арматурой в виде 8 стержней диаметром 8 мм класса

А400 (А-III). Косвенное армирование (хомуты и сетки) было выполнено из проволоки диаметром 3 мм класса В500 (Вр-I). В приопорных зонах, для исключения локальных разрушений, было установлено косвенное армирование в виде 5 сеток с шагом 20 мм по высоте конструкции. В зоне стыка железобетонных колонн без дефектов (СКд, СКДд) было устроено косвенное армирование в виде пять сеток с шагом 20 мм; при наличии в стыке колонн дефектов (СКДд, СКМДд) сетки в зоне стыка отсутствовали. Геометрические размеры и армирование экспериментальных конструкций при испытании на кратковременную динамическую нагрузку приведены на рис. 1.

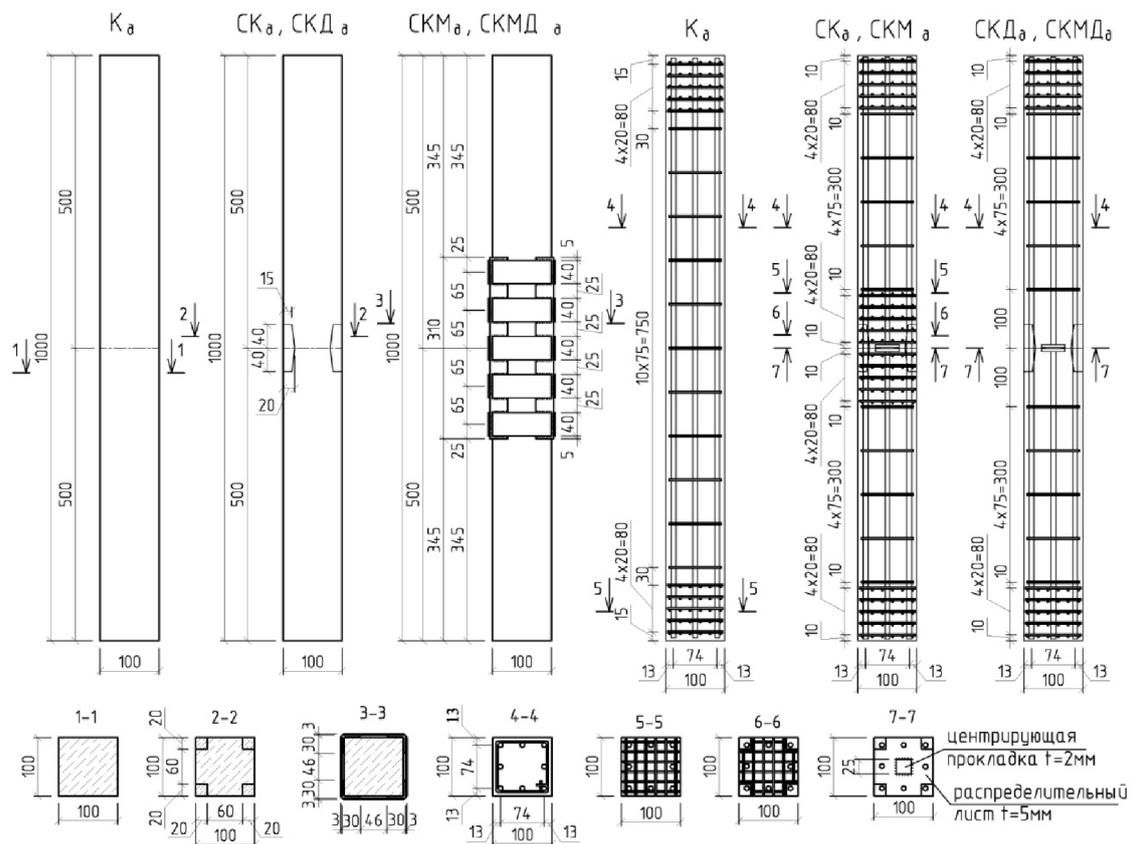


Рис. 1. Геометрические размеры и армирование экспериментальных конструкций при испытании на кратковременную динамическую нагрузку

Испытания экспериментальных конструкций проводились в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета на специально разработанном стенде [2], представленном на рис. 2. Стенд представляет собой копровую установку, размещенную на силовом полу, позволяющий создавать кратковременную динамическую нагрузку.

В результате проведения экспериментальных исследований на кратковременные динамические нагрузки были определены характер трещинообразования и деформирования, разрушающие нагрузки и схемы разрушения экспериментальных конструкций.

На рис. 3 приведены графики поперечных деформаций бетона и изменение динамической нагрузки во времени для экспериментальной конструкции со стыком. Анализ данных графиков показал, что поперечные деформации бетона в зоне стыка изменяются по высоте элемента относительно стыка в зависимости от расположения точки их измерения. Так значения поперечных деформаций тензорезистора ТБ3-2, который был установлен около стыка экспериментальной конструкции, по величине больше, чем значения поперечных деформаций тензорезисторов ТБ3-1 и ТБ3-3, установленных на расстоянии 125 мм по высоте конструкции от тензорезистора ТБ3-2. Сопоставление полученных значений поперечных деформаций показывает наличие клина в зоне стыка сборных железобетонных колонн при испытании на кратковременное

динамическое нагружение, что соответствует теории разрушения контактных стыков. Данная теория предложена Б.С. Соколовым и предполагает разрушение контактных стыков (стыков колонн) в результате внедрения в тело элемента уплотненного бетона в виде клиньев или конусов, в зависимости от формы грузовых площадок. Уплотненный бетон, проникая в тело элемента, приводит к его разрушению от преодоления сопротивления бетона раздавливанию, отрыву и сдвигу [3, 4, 5].

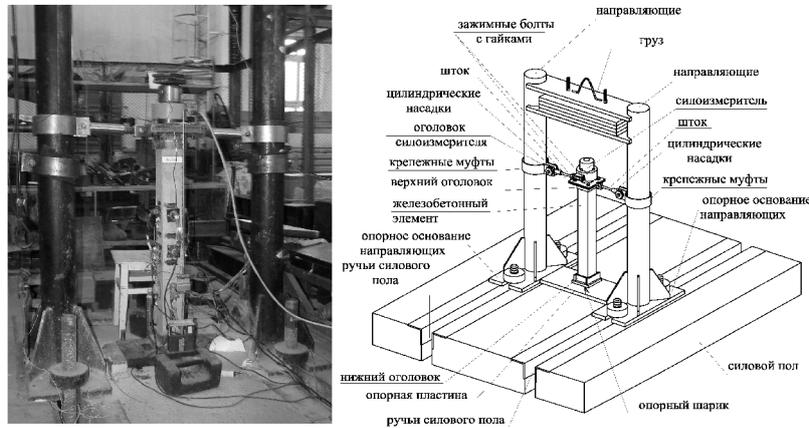


Рис. 2. Стенд для испытания железобетонных колонн и их стыков на кратковременную динамическую нагрузку

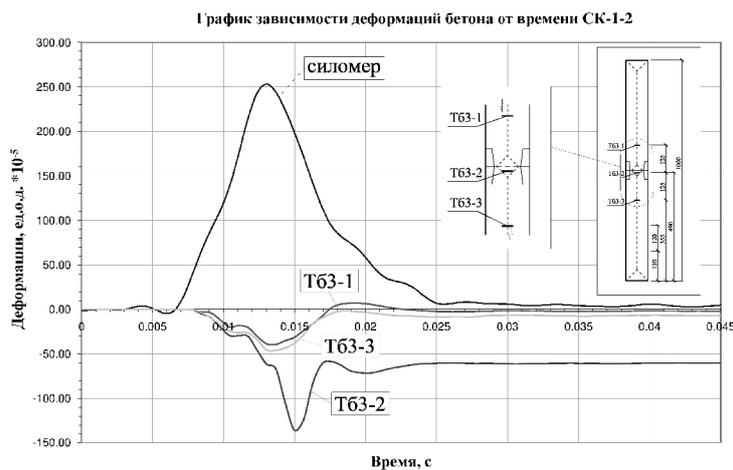


Рис. 3. График зависимости поперечных деформаций бетона от времени в уровне стыка экспериментальной конструкции СК-1-2

Для оценки прочности стыков колонн при кратковременных динамических нагрузках были разработаны алгоритм и программа расчета стыков сборных железобетонных колонн, основанные на теории Соколова Б.С. Разработанная теория позволяет определять несущую способность стыков сборных железобетонных колонн с учетом динамических характеристик материалов конструкций:

$$N_{ult,d} = \frac{N_{bt,d} \cos \alpha + N_{sh,d}}{\sin \alpha} + N_{ef,d}, \quad (1)$$

где $N_{bt,d}$ – динамическое усилие отрыва, воспринимаемое бетоном, определяемое по формуле:

$$N_{bt,d} = 4R_{bt,d}a_{ef}L_{loc}(3 - 0,25 \sin 2\alpha), \quad (2)$$

$N_{sh,d}$ – динамическое усилие сдвига, воспринимаемое бетоном, определяемое зависимостью:

$$N_{sh,d} = R_{b,sh,d}L_{loc}^2(\sin^2 \alpha + 1) \cos \alpha = 0,577\sqrt{R_{bt,d}R_{b,d}}L_{loc}^2(\sin^2 \alpha + 1) \cos \alpha, \quad (3)$$

$N_{ef,d}$ – динамическое усилие раздавливания, воспринимаемое бетоном, определяемое по

выражению:

$$N_{ef,d} = R_{b,d} L_{loc}^2 \sin^4 \alpha \quad (4)$$

Подставив выражения (2), (3), (4) в выражение (1) получим предельное усилие, воспринимаемое нормальным сечением стыка колонн:

$$N_{ult,d} = \frac{4R_{bt,d} a_{ef} L_{loc} (3 - 0.25 \sin 2\alpha) \cos \alpha + 0.577 \sqrt{R_{bt,d} R_{b,d}} L_{loc}^2 (\sin^2 \alpha + 1) \cos \alpha}{\sin \alpha} + R_{b,d} L_{loc}^2 \sin^4 \alpha \quad (5)$$

В выражениях (1)...(5) $R_{b,d}$, $R_{bt,d}$ и $R_{b,sh,d}$ – расчетные прочностные характеристики бетона на сжатие, растяжение и срез при кратковременном динамическом нагружении, повышение которых, в сравнении с аналогичными характеристиками при статическом нагружении, учитывается коэффициентами динамического упрочнения k_{di} . Основные параметрические точки нелинейной диаграммы бетона трансформируются вдоль временной координаты для аналитических методов расчета и координаты скорости деформирования – для численных методов расчета [6, 7, 8]. При аналитических методах расчета для коэффициентов k_{di} принята скорректированная логарифмическая зависимость Ю.М. Баженова [6]. Остальные обозначения приняты согласно алгоритма расчета прочности стыков железобетонных колонн при статическом нагружении по теории Б.С. Соколова [3, 4, 5].

На рис. 4 приведены графики зависимости усилий отрыва, сдвига и раздавливания, воспринимаемые бетоном при его расчетных динамических характеристиках, а так же несущей способности стыка железобетонных колонн в зависимости от класса бетона.

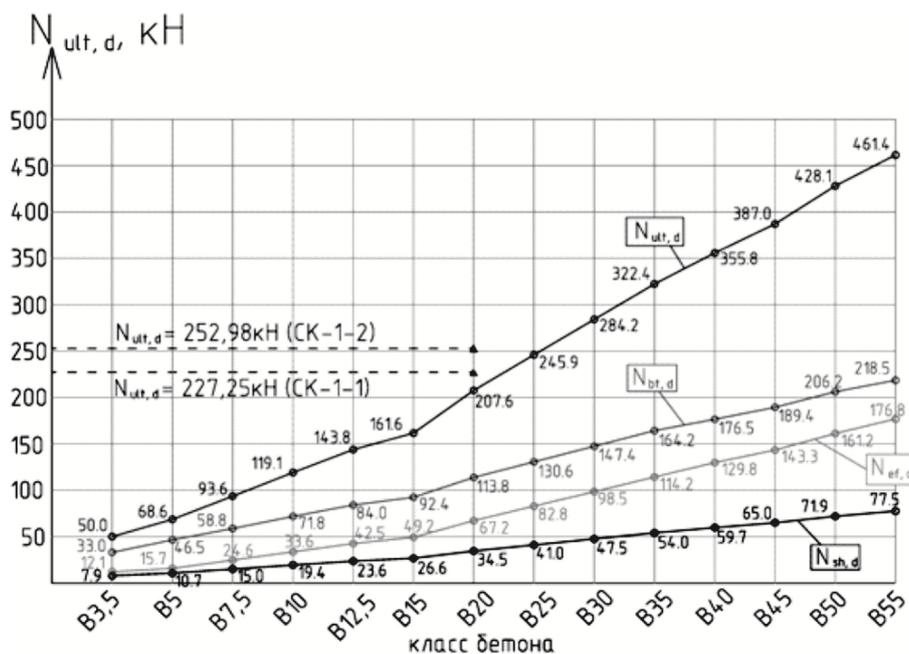


Рис. 4. Графики зависимости несущей способности стыка железобетонных колонн от класса бетона при учете его расчетных динамических характеристик

Из графиков, приведенных на рисунке 4 видно, что разрушающие динамические нагрузки, которые были приложены на экспериментальные конструкции со стыком СК-1-1 ($N_{ult,d} = 227,25$ кН) и СК-1-2 ($N_{ult,d} = 252,98$ кН) превышают динамическую расчетную нагрузку ($N_{ult,d} = 207,6$ кН) на 9,5 % и 21,9 % в сторону запаса прочности, что подтверждает корректность предложенного метода расчета стыков сборных железобетонных колонн при кратковременном динамическом нагружении.

Исследование выполнено при финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список библиографических ссылок

1. Плевков В.С., Гончаров М.Е. Исследование работы стыков железобетонных колонн, усиленных металлическими элементами, при статическом и кратковременном динамическом нагружениях // Вестник ТГАСУ, 2013, № 2. – С. 154-165.
2. Патент РФ на изобретение № 2401424. МПК G01N 3/30 (2006/01). Стенд для испытания железобетонных элементов на кратковременное динамическое сжатие / В.С. Плевков, Г.И. Однокопылов, И.В. Балдин, Д.Ю. Саркисов, М.Е. Гончаров, П.В. Дзюба; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ», 2009131954/28 заявл. 24.08.2009; опубл. 10.10.2010 Бюл. № 28.
3. Соколов Б.С. Новый подход к расчету прочности бетонных элементов при местном действии нагрузки // Бетон и железобетон, 1992, № 10. – С. 22-25.
4. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1993, № 9. – С. 57-61.
5. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Прочность горизонтальных стыков железобетонных конструкций: Монография: КГАСУ. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 104 с.
6. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
7. Плевков В.С. Динамическая прочность бетона и арматуры железобетонных конструкций. – Томск: Изд-во Том. ЦНТИ, 1996. – 65 с.
8. Попов Н.Н., Кумпяк О.Г., Плевков В.С. Вопросы динамического расчета железобетонных конструкций. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1990. – 288 с.

Plevkov V.S. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: pvs@tomsksep.ru

Goncharov M.E. – assistant

E-mail: Goncharov-84@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building

The organization address: 634003, Russia, Tomsk, Solyanaya sq., 2

**Features of work of combined ferroconcrete columns joints
at short-term dynamic loading****Resume**

Results of research of work of ferroconcrete columns joints without strengthening and strengthened by metal elements at short-term dynamic loading are given in article. Programs of pilot and numerical studies were developed for realization of an objective. The program of pilot studies included three series of designs. Each series included five designs with a section of 100x100 mm. In experimental designs the following parameters varied: joint existence, reinforcing design in a joint, and as existence of external strengthening in the form of metal elements. As a result of carrying out pilot studies on short-term dynamic loadings character of a cracking and deformation, ultimate loads and schemes of destruction of experimental designs were defined. Besides the algorithm and the program of calculation of joints of the combined ferroconcrete columns, based on Sokolov B.S. theory were developed for an assessment of durability of joints of columns at short-term dynamic loadings the Developed theory allows to define bearing ability of joints of combined ferroconcrete columns taking into account dynamic characteristics of materials of designs. Comparison of results of numerical and pilot studies showed good convergence and reliability of strengthenings of joints of columns metal holders at short-term dynamic loading. Thus destroying dynamic loadings which were received as a result of pilot studies of designs with a joint, exceed dynamic settlement load of 9,5 % and 21,9 % towards margin of safety that confirms a correctness of the offered method of calculation of joints of combined ferroconcrete columns at short-term dynamic loading.

Keywords: multystoried buildings, joints of ferroconcrete columns, defects, strengthening, metal elements, pilot and numerical studies, calculation theory.

Reference list

1. Plevkov V.S., Goncharov M.E. Research of joints performance of reinforced-concrete columns strengthened by metal elements at static and short-term dynamic loading // Vestnik TSUAB, 2013, № 2. – P. 154-165.
2. Patent for invention RF № 2401424. МПК G01N 3/30 (2006/01). The stand for test of ferroconcrete elements for short-term dynamic compression / Plevkov V.S., Odnokopylov G.I., Baldin I.V., Sarkisov D.Yu., Goncharov M.E., Dzyuba P.N.; communicant and patent holder TSUAB, 2009131954/28 declared 24.08.2009; published 10.10.2010 Bulliten № 28.
3. Sokolov B.S. A new approach to the calculation of durability of concrete elements for local action load // Concrete and reinforced concrete, 1992, № 10. – P. 22-25.
4. Sokolov B.S. Theoretical bases of resistance of concrete and reinforced concrete compression // News of Higher Educational Institutions. Construction, 1993, № 9. – P. 57-61.
5. Sokolov B.S., Nikitin G.P. Durability of horizontal joints of ferroconcrete designs: Monograf: KSUAE. – M.: Izdatelstvo ASV, 2010. – 104 p.
6. Bazhenov Yu.M. Concrete at dynamic loading. – M.: Stroyizdat, 1970. – 272 p.
7. Plevkov V.S. Dynamic durability of concrete and fittings of ferroconcrete designs. – Tomsk: Izd-vo Tom. CNTI, 1996. – 65 p.
8. Popov N.N., Kumpyak O.G., Plevkov V.S. Questions of dynamic calculation of ferroconcrete designs. – Tomsk: Izd-vo Tom. УН-та, 1990. – 288 p.