

УДК 624.012.35

*КОПАНИЦА ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
kopanitsa@mail.ru*

*ДАНИЛЬСОН АРТЕМ ИВАНОВИЧ, магистрант,
Danilson_ai@mail.ru*

*КАПАРУЛИН СЕРГЕЙ ЛЬВОВИЧ, канд. техн. наук,
ст. научный сотрудник,
skaparulin@mail.ru*

*УСТИНОВ АРТЕМ МИХАЙЛОВИЧ, аспирант,
artemustinov@bk.ru*

*УСЕИНОВ ЭМИЛЬ СЕЙРАНОВИЧ, мл. научный сотрудник,
useinov_em@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТЫКА КОЛОНН КАРКАСА КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ «КУПАСС» НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ*

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований узла сопряжения колонн каркаса на действие поперечной динамической нагрузки. Эксперименты выполнены на копровой установке. Проведены измерения вертикальных скоростей и виброперемещений средней точки конструкции. Измерения деформаций поверхности образца проведены цифровой оптической системой во всем диапазоне прочности бетона. Определены схемы образования трещин и разрушения стыка колонн.

Ключевые слова: железобетон; узловое сопряжение; экспериментальные исследования; удар; напряжения; деформации; разрушение.

*DMITRII G. KOPANITSA, DSc, Professor,
kopanitsa@mail.ru*

*ARTEM I. DANIL"SON, Undergraduate Student,
Danilson_ai@mail.ru*

*SERGEI L. KAPARULIN, PhD, Senior Research Assistant,
skaparulin@mail.ru*

*ARTEM M. USTINOV, Research Assistant,
artemustinov@bk.ru*

*EMIL" S. USEINOV, Junior Research Assistant,
useinov_em@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

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

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF COLUMN-TO-COLUMN CONNECTION IN THE UNIVERSAL PREFABRICATED ANTISEISMIC STRUCTURAL SYSTEM

The paper presents the results of transverse tests of the column-to-column connection under the dynamic load. Transverse tests were carried out on the impact-testing machine. The altitude rates and vibratory displacements are determined for the mid-point of construction. VIC-3D digital optical system is used to detect surface deformations within the whole range of the concrete strength. This allowed detecting the crack propagation within the area of the column-to-column connection and its failure.

Keywords: reinforced concrete; beam-to-column connection; experimental analysis; impact; stress; deformation; fracture.

Экспериментальные исследования проведены в рамках проекта по разработке сейсмостойкой каркасной системы, выполняемого ТГАСУ совместно с Томским ДСК. Вопросы конструирования и обеспечения сейсмостойких железобетонных каркасных зданий и исследований колонн на динамические нагрузки отражены в работах [1–4]. Испытания проводились в Научно-образовательном центре ТГАСУ на копровой установке. Экспериментальные образцы изготавливались на заводе Томского ДСК из двух фрагментов колонн каркаса размером 400×400×750 мм. Класс бетона В40. Арматурные стержни класса А500 СП диаметром 28 мм соединялись обжимными стальными муфтами. Торцы фрагментов усилены стальными листами толщиной 20 мм. Опрессованное соединение арматуры и омоноличивание стыка мелкозернистым бетоном класса В40 проведены в научно-образовательном центре «Испытания строительных материалов и конструкций».

Экспериментальный образец устанавливался горизонтально на шарнирные опоры через распределительные пластины и фиксировался верхними траверсами, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Узел сопряжения колонны в копровой установке

Динамическая нагрузка создавалась ударом груза массой 580 кг, свободно падающего с высоты 1,75 м. Нагрузка действовала через распределительную плиту на верхней грани замоноличенного участка образца.

Испытание опытного образца проводилось на действие поперечной нагрузки, приложенной к бетону омоноличивания в средней части конструкции.

Всего испытано три образца на пятикратное действие удара. Все образцы доведены до предельного состояния.

В процессе эксперимента проводились измерения скорости, перемещения и ускорений характерных точек конструкций лазерным измерителем виброскорости RSV-150. Измерение деформаций поверхности выполнено высокоскоростной камерой FASTCAMSA2, совмещенной с оптической измерительной системой VIC-3D.

После каждого нагружения измерялась ширина раскрытия трещин в бетоне основной конструкции и в бетоне замоноличивания.

Результаты испытаний представлены в виде диаграмм скоростей перемещений и ускорений экспериментального фрагмента узла колонны.

На рис. 2 показана диаграмма изменения скорости средней точки узлового сопряжения от первого силового возбуждения падающего груза массой 580 кг с высоты 1,75 м.

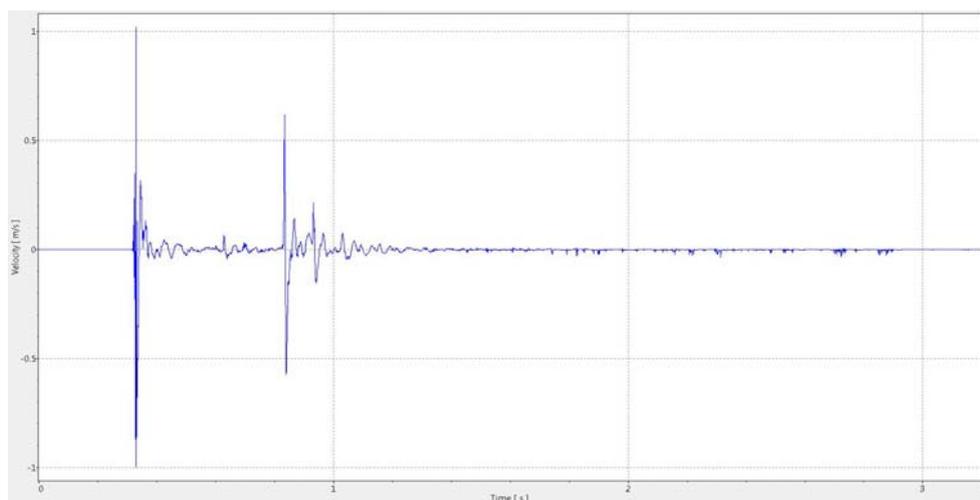


Рис. 2. Диаграмма скоростей средней точки узлового сопряжения

Скорость груза в момент соприкосновения с оголовком колонны равна 5,85 м/с. Измерения показали, что наибольшая скорость смещения средней точки конструкции узлового сопряжения достигла 1,1 м/с. Соответствующие диаграммы перемещений и ускорений приведены на рис. 3, 4. Перемещение средней точки включает две составляющие: необратимые деформации на опорах (смыкание зазоров, обмятие бетона), равные 2,4 мм, и упругие, в которых прогиб средней части конструкции равне 4,2 мм.

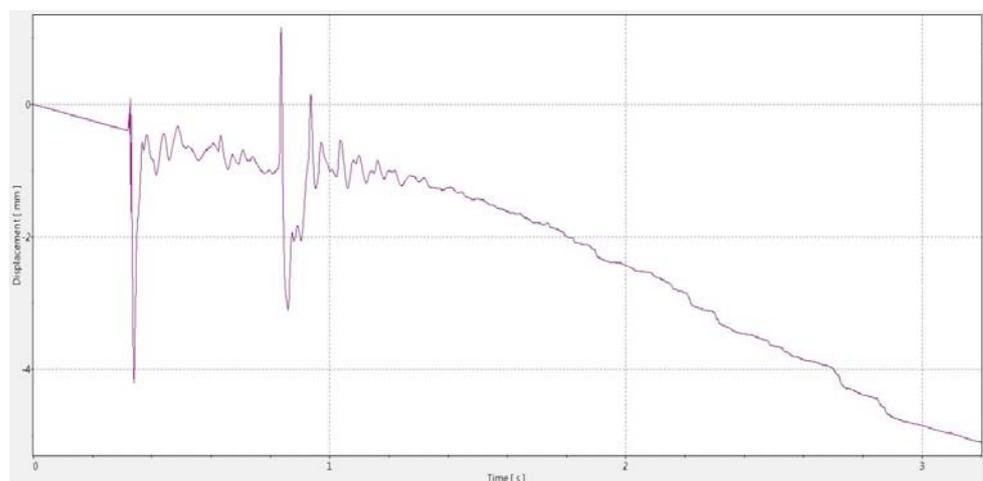


Рис. 3. Диаграмма перемещений средней точки узлового сопряжения

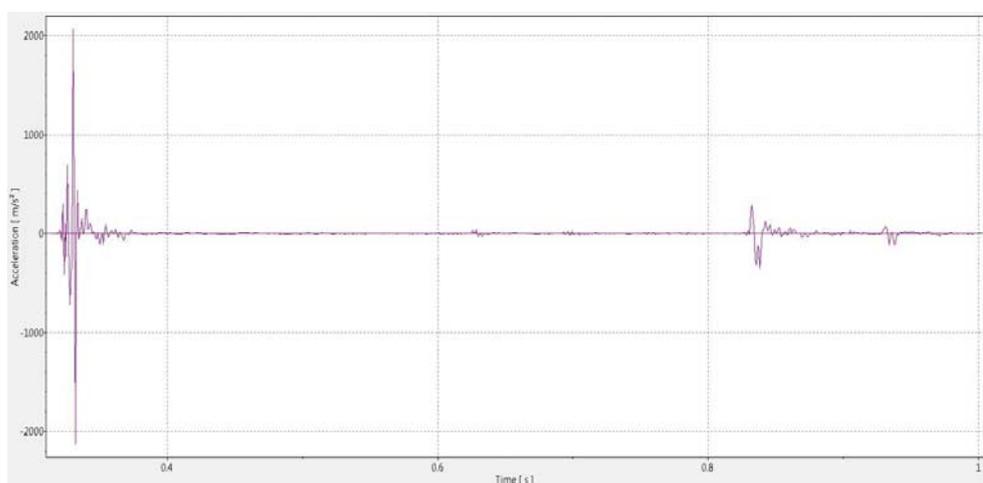


Рис. 4. Диаграмма ускорений средней точки узлового сопряжения

Картина, характеризующая появление относительных деформаций боковой поверхности стыка от второго динамического возбуждения, показана на рис. 5. Наибольшие значения деформаций на главных площадках в момент контакта падающего груза с распределительной плитой зафиксированы на поверхности вблизи контакта (до 3,5 %) и в теле конструкции в виде трех продвинувшихся на всю высоту сечения нормальных и наклонных, узко направленных полей деформаций (до 2,5 %), которые описывают расположение трещин.

Дальнейшее развитие деформаций от действующей нагрузки представлено в виде картин относительных деформаций по главным площадкам на рис. 6.



Рис. 5. Деформации на главных площадках в момент контакта ударника с распределительной плитой при втором ударе



Рис. 6. Деформации на главных площадках от действия второго удара

В среднем сечении узла сопряжения ранее образовавшиеся трещины получили развитие. На деформационной картине эти трещины обозначены соответствующими следами на деформированной бетонной поверхности от 1,5 % и превышающие 4 %.

Характерные картины образования трещин показана на рис. 7.

Результаты экспериментов показали, что действие падающего груза массой 580 кг со скоростью 5,85 м/с эквивалентно действию статической нагрузки 105 т.

Действие пятого удара привело к появлению остаточных трещин с шириной раскрытия в средней части узлового сопряжения колонн, равной 1,2 мм.

Относительный угол раскрытия шарнира пластичности, полученный при действии динамической нагрузки, равен 0,003 и имеет значительно меньшее значение в сравнении с предельным значением шарнира пластичности 0,04.



Рис. 7. Картина трещинообразования на поверхности узлового сопряжения

Таким образом, стык железобетонной колонны с соединением рабочей арматуры на обжимных муфтах системы КУПАСС имеет значительный запас прочности при скорости нагружения поперечной нагрузкой в пределах 6 м/с и обеспечивает требования надежности к строительным конструкциям в соответствии с ГОСТ 54257–2010.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом* / Я.М. Айзенберг, Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, В.И. Смирнов, Н.Н. Трекин. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 264 с.
2. *Белов, Н.Н. Экспериментальные исследования железобетонных колонн на неоднократный продольный удар* / Н.Н. Белов, Д.Г. Копаница, Н.Т. Югов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 1. – С. 118–126.
3. *Копаница, Д.Г. Экспериментальные исследования моделей железобетонных колонн при ударном воздействии* / Д.Г. Копаница, А.С. Пляскин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 4. – С. 91–96.
4. *Николаенко, Н.А. Динамика и сейсмостойкость сооружений* / Н.А. Николаенко, Ю.П. Назаров. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.

REFERENCES

1. *Ajzenberg Ja.M., Kodysh Je.N., Nikitin I.K., Smirnov V.I., Trekin N.N.* Seismostoikie mnogoetazhnye zdaniya s zhelezobetonnyym karkasom [Antiseismic multistorey buildings with reinforced concrete frame]. Moscow : ASV Publ., 2012. 264 p. (rus)
2. *Belov N.N., Kopanitsa D.G., Yugov N.T.* Eksperimental'nye issledovaniya zhelezobetonnykh kolonn na neodokratnyi prodol'nyi udar [Experimental study of concrete columns under longitudinal impact load]. *Vestnik TSUAB*. 2007. No. 1. Pp. 118–126. (rus)
3. *Kopanitsa D.G., Plyaskin A.S.* Eksperimental'nye issledovaniya modelej zhelezobetonnykh kolonn pri udarnom vozdejstvii [Experimental study of concrete columns under impact load]. *Vestnik TSUAB*. 2011. No. 4. Pp. 91–96. (rus)
4. *Nikolaenko N.A., Nazarov Yu.P.* Dinamika i sejsmostojkost' sooruzhenij [Dynamics and anti-seismic construction]. Moscow : Stroyizdat, 1988. 312 p. (rus)