

УДК 624.012.045

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ФРАГМЕНТА КАРКАСА ЗДАНИЯ С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ СОСТАВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ, РАБОТАЮЩИМИ НА ИЗГИБ С КРУЧЕНИЕМ

С.А. АЛЬКАДИ, ассистент

А.И. ДЕМЬЯНОВ, к.т.н., доцент

Е.В. ОСОВСКИХ, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

305040, Курск, ул. 50 Лет Октября, 94; fortina2008@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований деформирования, трещинообразования и разрушения пространственной железобетонной рамы с ригелями составного сечения при нагружении проектной нагрузкой и запроектным аварийным воздействием в виде внезапного выключения центральной стойки рамы. Полученная картина перемещений в запроектных состояниях, трещинообразования и разрушения ригелей рамы, работающих на изгиб с кручением позволяет определить параметр живучести, коэффициент динамических догрузок элементов конструкции рамы и дать оценку живучести конструктивной системы после рассматриваемого запроектного воздействия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экспериментальные исследования, живучесть, запроектные воздействия, прогрессирующее обрушение, железобетонный составной элемент, изгиб с кручением.

В последние годы в ряде ведущих стран мира, в том числе и в России, наравне с традиционным расчетом конструкций по предельным состояниям требуется расчетный анализ конструктивных систем на аварийные воздействия, вызванные внезапным выключением из системы одного из несущих элементов. Решение данной задачи требует проведения экспериментальных исследований для определения параметров живучести конструктивных систем, а также изучение особенностей статико-динамического деформирования заданной конструктивной системы в предельных и запредельных состояниях. В представленной работе приведены методика и основные результаты испытаний фрагмента железобетонного каркаса многоэтажного здания с ригелями составного сечения.

Цель экспериментальных исследований - изучение особенностей деформирования, трещинообразования и разрушения элементов конструктивной системы в условиях ее структурной перестройки, вызванной внезапным выключением одного из вертикальных несущих элементов (стойки).

Основные задачи исследований:

- экспериментальное выявление особенностей деформирования и трещинообразования ригеля составного сечения, работающего на кручение с изгибом от заданной нагрузки и запроектного воздействия – выключения центральной несущей стойки;

- экспериментальное определение схем разрушения железобетонной рамы при указанных воздействиях.

Описание экспериментальной установки

Конструкция железобетонной рамы, моделирующая фрагмент пространственного каркаса многоэтажного здания включала пять стоек и два неразрезных ригеля составного сечения армированных плоскими сварными каркасами Кр-1 и Кр-2. Нагружение ригелей опытного фрагмента проектной нагрузкой производилось с использованием рычажно-подвесной системы и нагрузочных

устройств, передающих нагрузку в виде сосредоточенных сил на ригели большего пролета в местах установки опорных пластин 4 (см. рис.1,а, в). Запроектное воздействие в виде внезапного выключения подвижной центральной опоры 1 прикладывалось после нагружения рамной системы проектной нагрузкой. Эта опора выполнена в виде шарнирно-стержневого механизма (см. рис. 1,а, рис.2), состоящего из двух расположенных вертикально и шарнирно соединенных между собой и с опорами стержней, геометрическая неизменяемость которого обеспечивается неподвижной опорой и горизонтальной связью в виде шпильки с резьбой, удерживаемой в проектном положении посредством болтового соединения.

Приоритет предложенного решения защищен патентом РФ №2016128903 от 15.07.2016г.

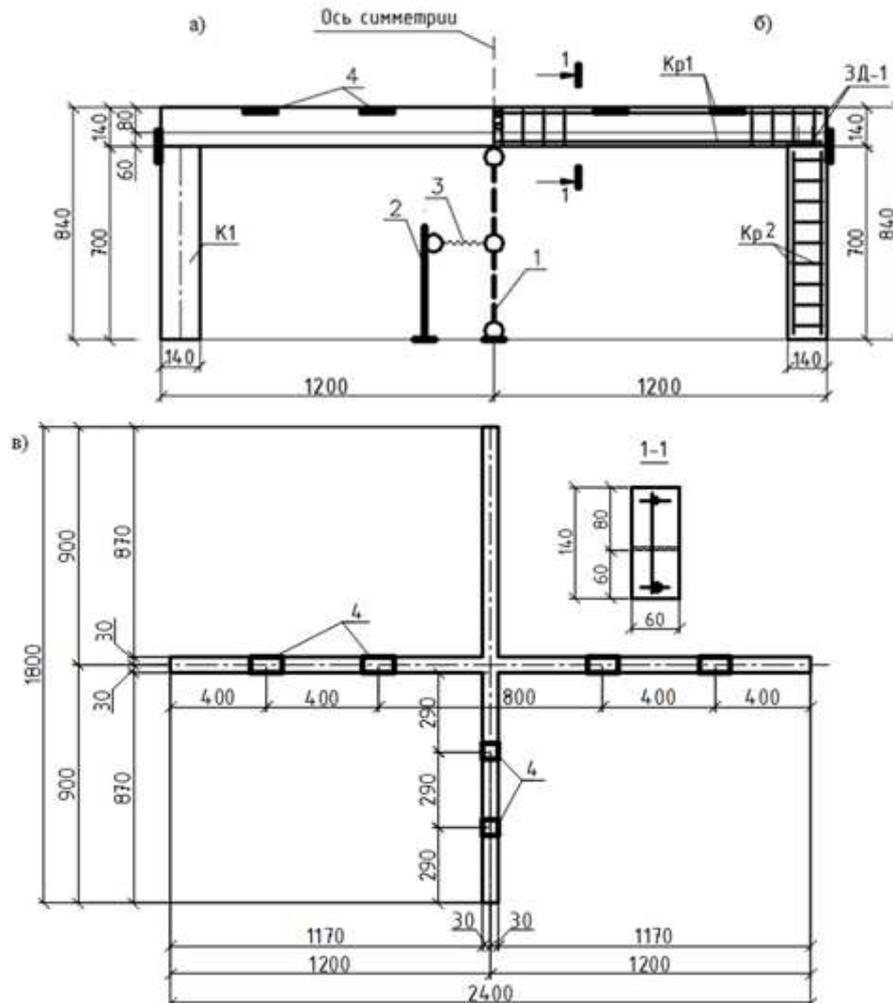


Рис. 1. Конструкция опытного образца рамы: а – опалубочная схема; б – схема армирования; в – вид сверху: 1 – трехшарнирная выключаемая стойка; 2 – неподвижная стойка; 3 – горизонтальная связь; 4 – опорные пластины

При определенном (расчетном) значении испытательной нагрузки в шарнирно-стержневом механизме (1,2), моделирующем выключаемую колонну рамы, принудительно выключалась горизонтальная связь 3 путем разъединения резьбового соединения шпильки и неподвижной опоры 2. При этом сжатая пружина мгновенно создает горизонтальное усилие, выталкивающее в горизонтальном направлении шарнир, соединяющий вертикально расположенные

стержни шарнирно-стержневого механизма и таким образом мгновенно выключает из работы центральную подвижную стойку опытного фрагмента.

Измерение опытных характеристик в конструкции железобетонной рамы для количественной оценки параметра живучести (λ) и коэффициента динамических догрузок θ [3] выполнялось с использованием тензометрии и оптико-механических приборов. Предварительно эти параметры были определены расчетным путем по методике [3,4]. Расчет был проведен по двухуровневой расчетной схеме (рис.3).



Рис. 2. Общий вид выключающейся стойки

Моделирование

Расчетная схема первого уровня (рис. 3,а) представлена пространственной рамно-стержневой системой с центральной стойкой, которая при расчете может исключаться из системы. В расчетной схеме второго уровня(рис. 3,б) составной ригель с частью стойки в расчетной модели представлен комбинацией объемных конечных элементов, моделирующих с заданной степенью дискретизации тело разных бетонов, и стержней – податливых связей растяжения, сжатия, сдвига в некотором малом по толщине слое, разделяющем эти бетоны. Толщина контактного слоя определена в соответствии с рекомендациями работы [5]. Объемные элементы – прямоугольные параллелепипеды, например, тип конечного элемента КЭ №31 в программном комплексе Лира-САПР (КЭ №231 в физически нелинейной постановке) моделируют тело бетона разного состава.

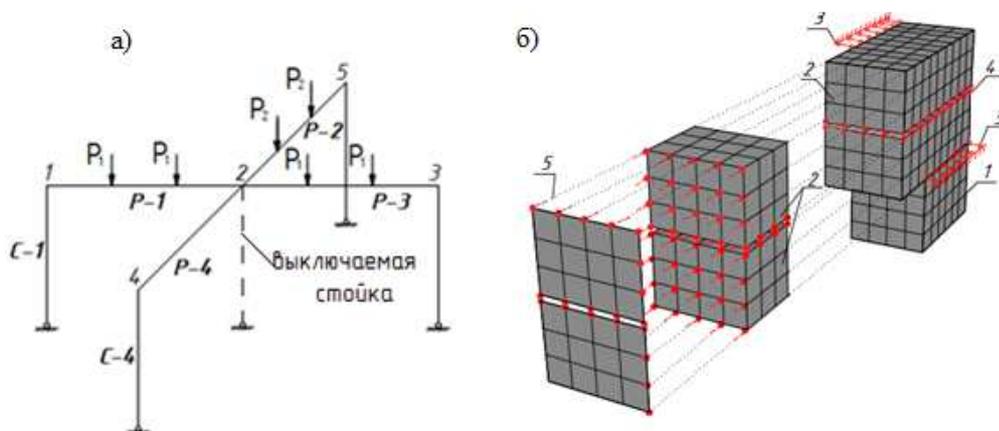


Рис. 3. Расчетные схемы пространственной рамы первого (а) уровня, второго (б) уровня: 1,2 - объемные КЭ стойки и составного ригеля, 3- КЭ связей для предотвращения поворота ригеля, 4 – связи растяжения, сжатия, сдвига, 5 – связи, объединяющие перемещения между жесткой пластиной и объемными элементами

Стержневые элементы КЭ №10 (№210) «универсальный стержень» служили для описания дискретных связей между объемными элементами слоев.

При проведении расчета на запроектное воздействие по так называемой вторичной расчетной схеме [6,7,8] влияние на несущие элементы отброшенной части рамы заменялась вычисленными с использованием расчетной схемы первого уровня (см. рис. 3,а) внутренними усилиями в выключаемой стойке рамы. Указанные усилия передаются на объемные элементы в виде соответствующих компонент M , Q , N в заданной точке и распределяются между узлами объемных элементов при помощи специально введенной в расчетную схему фиктивной пластины. Варьирование жесткостью пластины позволяет моделировать следование гипотезе плоских сечений для каждого элемента составного ригеля или задавать его депланацию.

Расчет выполняется с использованием шагово-итерационной процедуры метода последовательных приближений. Результатом расчета с использованием описанной расчетной модели являются перемещения узлов, усилия в стержневых элементах, напряжения в объемных элементах.

Проверка условий образования трещин в объемных и стержневых элементах на заданном шаге нагрузки, корректировка их жесткостных характеристик может выполняться как вручную, так и с использованием алгоритма, реализованного в библиотеке конечных элементов программного комплекса, аналогично тому, как это сделано в работе [9].

Полученные в результате эксперимента данные о вертикальных перемещениях в середине пролета элемента ригеля P-3, P-2 и углах поворота составного ригеля в середине пролета сечения и над выключенной центральной стойкой приведены на рисунках 4, 5.

Здесь же приведены теоретические значения перемещений и углов поворота сечений ригеля, вычисленные с использованием описанной расчетной схемы (см. рис. 3).

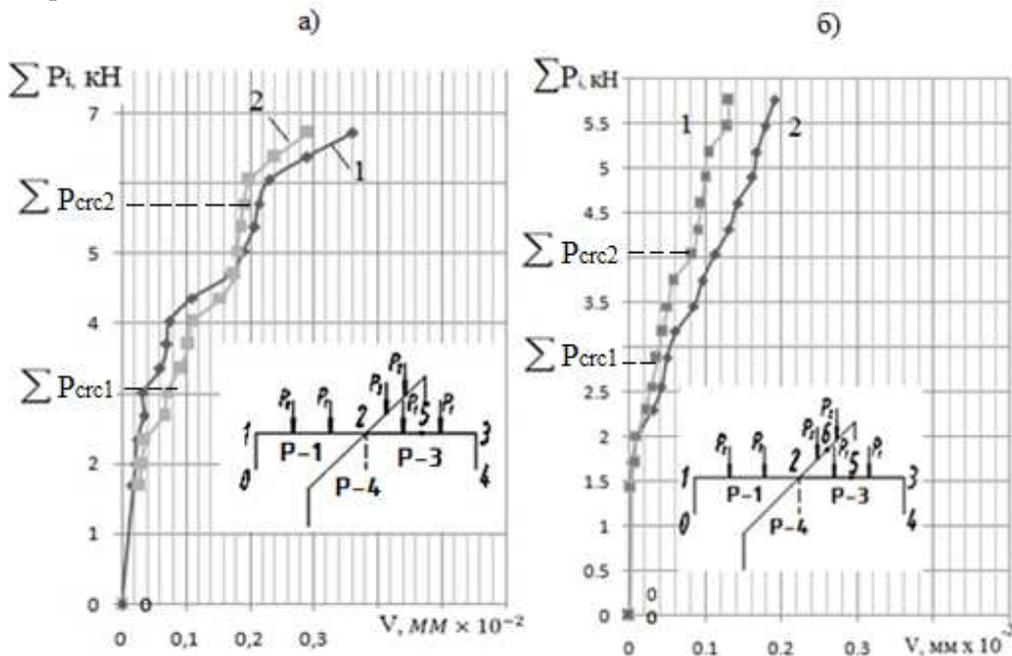


Рис. 4. Перемещения сечений ригелей рамы при ее нагружении проектной нагрузкой: а - 1,2 - соответственно опытные и теоретические прогибы для среднего пролетного сечения ригеля P-3 (точка 5); б - 1,2 - то же для ригеля P-2 (точка 6)

Основные результаты

Полученные данные о перемещениях и углах поворота ригелей при проектной нагрузке позволяют иметь нагрузку распределения деформированного состояния в элементах рамы при проектной нагрузке для ее сопоставления с картиной деформированного состояния рамы после запроектного воздействия.

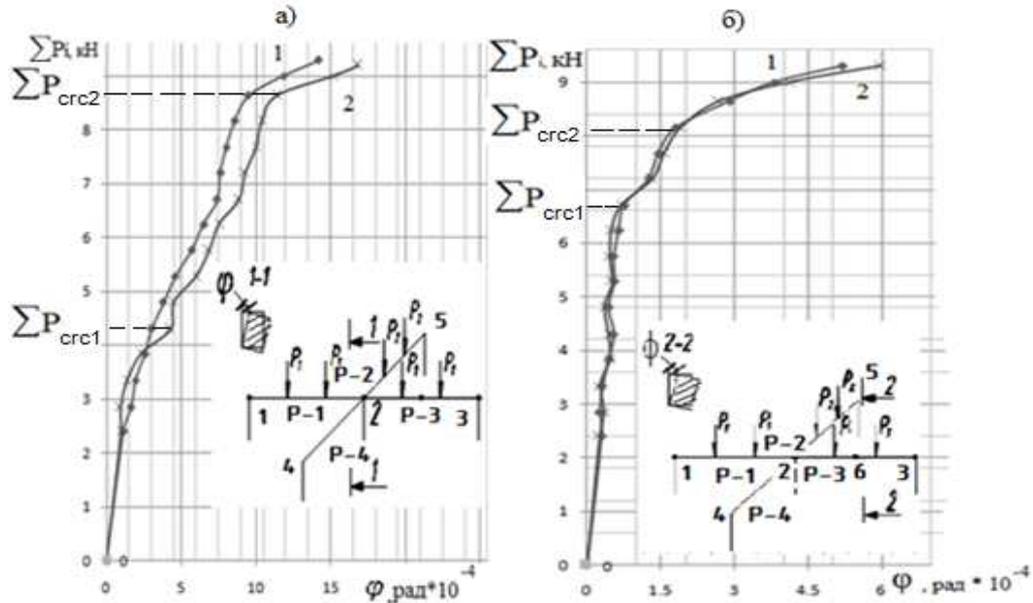


Рис. 5. Углы поворота сечений ригелей рамы при ее нагружении проектной нагрузкой: а - 1,2—соответственно, расчетные и опытные углы поворота сечения над подвижной опорой ригеля P-3 (точка 2); б - 1,2— расчетные и опытные углы поворота среднего пролетного сечения ригеля P-3 (точка б)

Анализ полученных опытных данных о трещинообразовании в конструкциях рамы позволяет отметить следующее (рис. 6). Первые трещины с раскрытием 0,05 мм (Тр. 1) в составном ригеле P-3 появились в верхней зоне приопорного сечения у стойки С-3 при суммарной нагрузке 12,6 кН (рис.6,а). По мере нагружения рамы на 12-м этапе нагружения (13,5 кН) образовались нормальные трещины (Тр. 2) в пролете ригеля P-1 с шириной раскрытия 0,05 – 0,1 мм и до достижения полной проектной нагрузки 18 кН их раскрытие составило до 0,25 мм. По мере увеличения нагрузки ширина раскрытия этих трещин увеличивалась, и трещины развивались по высоте сечения составного ригеля.

После запроектного воздействия образовавшиеся трещины первого и второго типа (Тр.1 и Тр.2) получили значительное раскрытие, количество трещин первого типа (Тр. 1) увеличилось, также произошло образование нормальных трещин в пролете ригеля P-3 (Тр.2') (рис. 6, б). Кроме этого, после указанного воздействия в составных ригелях P-1 и P-3 образовались продольные трещины в зоне контакта двух бетонов с раскрытием до 1,6 мм (Тр. 3').

Все типы трещин, образовавшиеся при запроектном воздействии (рис. 6,б), обозначены знаком «штрих». Количественные значения раскрытия трещин при увеличении проектной нагрузки приведены на рис. 7.

После запроектного воздействия в виде внезапного выключения центральной стойки в элементах опытной конструкции рамы, существующие трещины получили дополнительное раскрытие, и образовалась сеть новых нормальных трещин (Тр.2'). В приопорном сечении ригеля P-1 в соединении со стойкой С-1 образовалась нормальная трещина (Тр.1') с шириной раскрытия 2,8 мм, а в при-

опорном сечении составного ригеля Р-3 в соединении со стойкой С-З нормальная трещина Тр.1' раскрылась до 2 мм. Ширина раскрытия нормальных трещин (Тр.2'), образовавшихся при проектной нагрузке, после запроектного воздействия значительно увеличилась - с 0,25 мм до 0,8 мм.

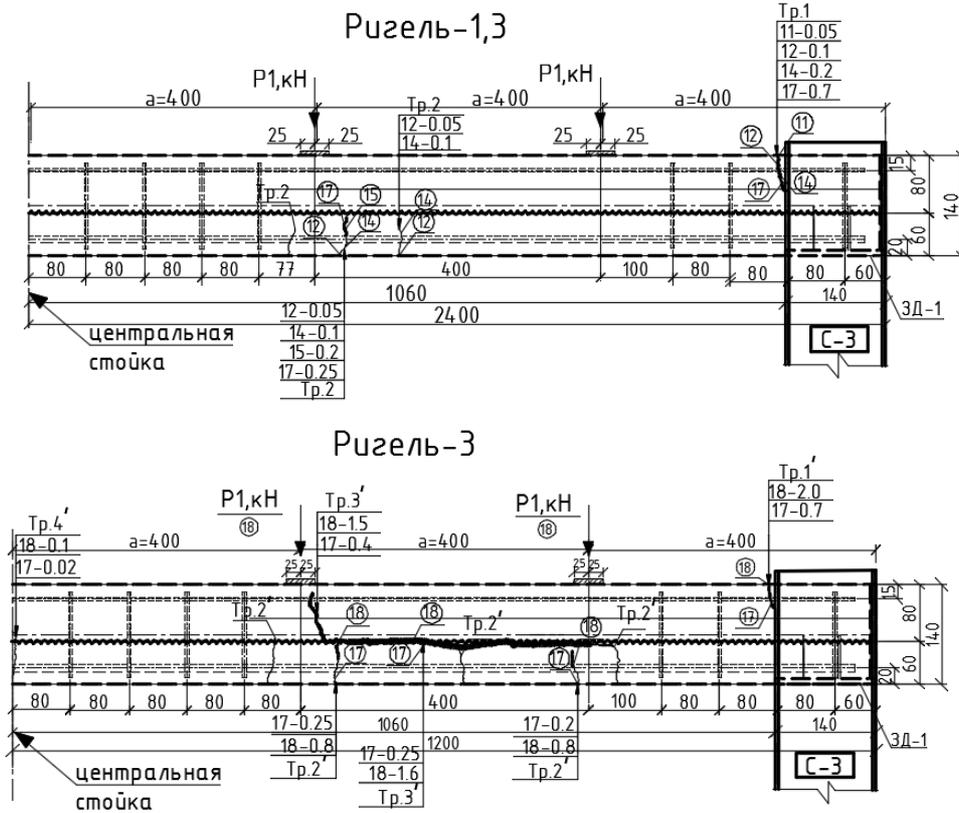


Рис. 6. Схема образования и раскрытия трещин в опытной конструкции рамы при проектной нагрузке (а) и запроектном воздействии (б)

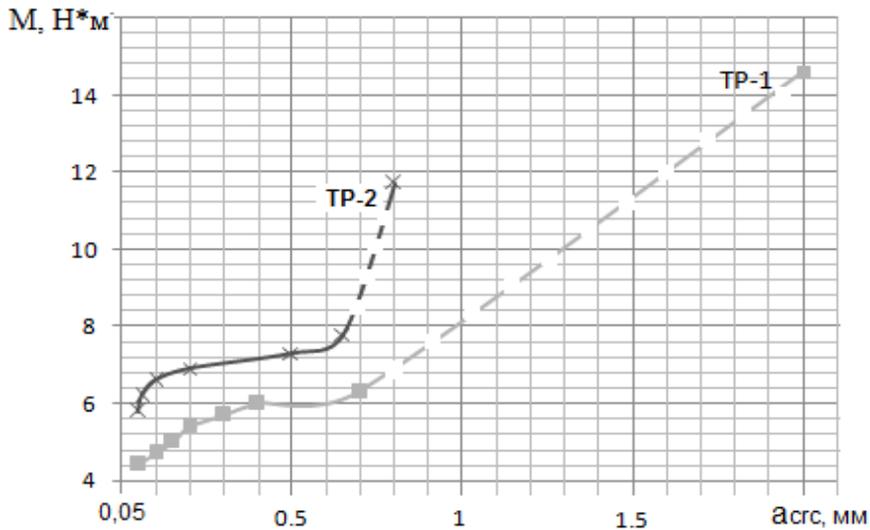


Рис. 7. Зависимость «нагрузка-ширина раскрытия трещин» в среднем сечении и на опоре составного ригеля Р-3(Тр-1,Тр-2)

Разрушение составного ригеля рамы характеризовалось значительным раскрытием нормальных трещин (Тр.2) в середине пролета (до 0,8 мм), трещин (Тр.1), развивающихся по пространственному сечению у опор ригеля, испытывающего изгиб с кручением, и разрушением шва контакта между элементами составного ригеля (до 1,6 мм). При этом наблюдались значительные вертикальные перемещения составных ригелей во вторичной (после запроектного воздействия) конструктивной системе, которые составили 15,6 мм или 1/56 пролета составного ригеля.

Общий вид разрушения конструктивной системы после запроектного воздействия представлен на рис.8.



Рис. 8. Общий вид разрушения пространственной рамы после внезапного выключения центральной стойки

Выводы

Предложенная методика экспериментальных исследований фрагмента железобетонного каркаса многоэтажного здания позволила экспериментально установить особенности деформирования, трещинообразования и разрушения элементов конструктивной системы после внезапного выключения одного из вертикальных несущих элементов.

Полученные опытным путем приращения деформаций, схемы образования и раскрытия трещин в составных конструкциях ригелей, картины характера разрушения опытного фрагмента позволяют анализировать перераспределение силовых потоков в рассматриваемой конструктивной системе и численно оценить динамические догрузки в сечениях конструктивных элементов, вызванные внезапным выключением одной из колонн фрагмента каркаса здания.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс: Законодательство: Версия Проф. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (17.08.2016)
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Введ. 2015-07-01. – М: Стандартинформ, 2015. – 13 с.
3. Колчунов В.И., Клюева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. - М.: АСВ, 2014. - 208 с.

4. *Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П.* Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. - М.: АСВ, 2004. - 216 с.

5. *Баширов Х.З.* Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений [Текст] / Х.З. Баширов, Вл.И. Колчунов, С.В. Федоров, И.А. Яковенко. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 248 с.

6. *Колчунов В.И.* Вопросы расчетного анализа и защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения [Текст]/ Колчунов В.И., Емельянов С.Г.// Жилищное строительство. -2016. - № 10. – С. 17—20.

7. *Емельянов С.Г.* Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения [Текст]/ Емельянов С.Г., Федорова Н.В., Колчунов В.И.// Научно-технический и производственный журнал. Строительные материалы. -2017.-№3.- С.3-5.

8. *Федорова Н.В.* Статико-динамическое деформирование монолитных железобетонных каркасов зданий в предельных и запредельных состояниях [Текст]/ Федорова Н.В., Кореньков П.А.//Строительство и реконструкция. – 2016. -№6. – С. 90—100.

9. *Сальников А.С.* Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом [Текст]/ Сальников А.С., Колчунов Вл.И., Яковенко И.А.// Промышленное и гражданское строительство. – 2015. - №3. – С. 35—40.

Поступила в редакцию 13 апреля 2017 г. Прошла рецензирование 20 мая 2017 г.

Принята к публикации 18 июня 2017 г.

Об авторах:

АЛКАДИ СВЕТЛАНА АЛЕКСЕЕВНА, ассистент кафедры "Уникальные здания и сооружения", ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». Научные интересы: теоретические и экспериментальные исследования живучести зданий и сооружений, моделирование железобетонных конструкций, испытания железобетонных конструкций с элементами сплошного и составного сечения, 305040, Курск, ул. 50 Лет Октября, 94; fortuna2008@mail.ru

ДЕМЬЯНОВ АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ, к.т.н., доцент кафедры "Промышленное и гражданское строительство, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». Научные интересы: исследования составных конструкций при сложном сопротивлении, исследование живучести конструктивных систем и железобетонных и других нелинейно деформированных материалов, экспериментальные исследования в железобетонных конструкциях, компьютерные технологии расчетного анализа зданий и сооружений, 305040, Курск, ул. 50 Лет Октября, 94; spescorpany@gmail.com

ОСОВСКИХ ЕВГЕНИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н., доцент кафедры "Уникальные здания и сооружения", ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». Научные интересы: развитие исследований в области деформирования и разрушения железобетонных складчатых покрытий эксплуатируемых производственных зданий в запредельных состояниях, разработка проектов реконструкции таких покрытий с использованием наряду с традиционными методами поверочных расчетов по предельным состояниям анализа живучести этих систем, 305040, Курск, ул. 50 Лет Октября, 94; jane_wasp@mail.ru

Для цитирования:

Алькади С.А., Демьянов А.И., Осовских Е.В. Экспериментальные исследования живучести фрагмента каркаса здания с железобетонными составными элементами, работающими на изгиб с кручением// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 5. – С. 72—80, DOI: 10.22363/1815-5235-2017-5-72-80.

References

1. Federalnyy zakonot 30.12.2009 N 384-FZ «Tehnicheskiiy reglament o bezopasnostizdaniy i sooruzheniy» [Elektronnyy resurs]. SPS KonsultantPlyus: Zakonodatelstvo: VersiyaProf. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (17.08.2016) (in Russian).
2. GOST 27751-2014. Nadezhnost stroitelnykh konstruksiy i osnovaniy. Osnovnyye polozheniya. Vved. 2015-07-01, Moscow Standartinform, 2015, 13 p.
3. *Kolchunov, V.I., Klyueva, N.V., Androsova, N.B., Buhtiyarova, A.S.* (2004). Zhivuchest zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnykh vozdeystviyah [Stability of buildings and structures under beyond design basis impacts], Moscow: ASV, 208 p. (in Russian).

4. Geniev, G.A., Kolchunov, V.I., Klyueva, N.V., Nikulin, A.I., Pyatikrestovskiy, K.P. (2004). Prochnost i deformativnost zhelezobetonnykh konstruksiy pri zaproektnykh vozdeystviyah [Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts], Moscow: ASV, 216 p.
5. Bashirov, H.Z., Kolchunov, V.I., Fedorov, S.V., Yakovenko, I.A. (2016). Zhelezobetonnyye sostavnyye konstruksii zdaniy i sooruzheniy [Reinforced concrete structures of buildings and structures], Moscow: Izdatelstvo ASV, 248 p. (in Russian).
6. Kolchunov, V.I., Emelyanov, S.G. (2016). Issues of calculation analysis and protection of large-panel buildings from progressive collapse, *Zhishchnoe stroitelstvo*, (10), 17—20 (in Russian).
7. Emelyanov, S.G., Fedorova, N.V., Kolchunov, V.I. (2017). Features of designing of knots of designs of inhabited and public buildings from panel-frame elements for protection against a progressing collapse, *Nauchno-Tekhnicheskii i Proizvodstvennyi Zhurnal. Stroitelnyye Materialy*, (3), 3—5 (in Russian).
8. Fedorova, N.V., Koren'kov P.A. (2016). Static-and-dynamic deformation of monolithic reinforced concrete building frameworks in the limiting and transcendental states, *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, (6), 90—100 (in Russian).
9. Sarnikov, A.S., Kolchunov, V.I., Yakovenko, I.A. (2015). Calculation model for the formation of spatial cracks of the first type in reinforced concrete structures with torsion with bending, *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo*, No 3, 35—40 (in Russian).

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SURVIVABILITY FRAGMENT OF THE FRAME OF THE BUILDING WITH REINFORCED CONCRETE COMPOSITE ELEMENTS WORKING ON BEND WITH TORSION

S.A. ALKADI, A.I. DEMYANOV, E.V. OSOVSKIH
South-West State University, Kursk, Russia

In the article, the experimental results of deformation, cracking and failure of a reinforced concrete frame when loaded over the designed specifications, or when overloaded by a sudden failure of a pillar are presented. The results of displacements and cracking caused by the load at the main support points, for bending and twisting, give an opportunity to determine the survivability parameters and the dynamic overload values for the construction elements. The results can also provide information about the survivability of a building after being overloaded.

KEYWORDS: experimental studies, vitality, the impact of beyond design basis, progressive collapse, reinforced concrete component, bend with torsion.

Article history: Received: April 13, 2017. Revised: May 20, 2017. Accepted: June 18, 2017.

About the authors:

ALKADI SVETLANA ALEKSEEVNA, assistant of the department of unique buildings and structures, South-West State University. Scientific interests: theoretical and experimental studies of the survivability of buildings and structures, modeling of reinforced concrete structures, testing of reinforced concrete structures with solid and composite element, 305040, Kursk, St.50 Years of October, fortina2008@mail.ru

DEMYANOV ALEKSEJ IVANOVICH, candidate of technical sciences, associate professor of the department of industrial and civil engineering. Scientific interests: the study of composite structures in complex resistance, the study of the survivability of structural systems and reinforced concrete and other non-linearly deformed materials, experimental studies in reinforced concrete structures, computer technologies for computational analysis of buildings and structures, South-West State University, 305040, Kursk, St.50 Years of October, speccompany@gmail.com

OSOVSKIH EVGENIJ VASIL'EVICH, candidate of technical sciences, associate professor of the department unique buildings and structures, South-West State University. Scientific interests: development of research in the field of deformation and destruction of reinforced concrete folded coatings of operating industrial buildings in out-of-state conditions, development of reconstruction projects for such coatings, using along with traditional methods of verification calculations for limit states of analysis of the survivability of these systems, 305040, Kursk, St.50 Years of October, jane_wasp@mail.ru

For citation:

Alkadi S.A., Demyanov A.I., Osovskih E.V. (2017) Experimental researches of survivability fragment of the frame of the building with reinforced concrete composite elements working on bend with torsion. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, No 5, 72—80, DOI: 10.22363/1815-5235-2017-5-72-80.