

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹, Ю.В. МИРОНОВА²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия

ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ШТЕПСЕЛЬНОГО СТЫКА КОЛОНН ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ

Аннотация. Рассмотрена необходимость разработки решений, повышающих сопротивляемость несущих систем прогрессирующему разрушению, приводящему к моментальному или длительному разрушению отдельных конструктивных элементов и узлов. Штепсельный стык колонн в сборных и сборно-монолитных каркасах запроектированный на сжимающие усилия, при аварийном воздействии начинает работать на растяжение. Определены максимальные растягивающие усилия в колоннах и стыках типового сборного каркаса при аварийном воздействии и предложены варианты модернизации конструктивных решений штепсельного стыка. Предложено использование закладной детали для скважины штепсельного стыка сборных колонн, обеспечивающее работу на растягивающие усилия. Проведено многофакторное численное моделирование штепсельного стыка с учетом работы на растяжение, определены прочностные характеристики. Разработаны рекомендации по проектированию штепсельного стыка для несущих систем с учетом их работы при прогрессирующем разрушении, предложены рекомендации по армированию стыка в зависимости от усилий в нем. Результаты могут быть использованы при проектировании штепсельных стыков сборных и сборно-монолитных каркасов.

Ключевые слова: многоэтажные здания, сборный железобетонный каркас, прогрессирующее разрушение, штепсельный стык, напряженно-деформированное состояние.

V.A. LYUBLINSKIY¹, Ju.V. MIRONOVA²

¹National Research Moscow State University of civil engineering, Moscow, Russia

²Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

INCREASING THE RESISTANCE OF THE PLUG JOINT OF COLUMNS TO PROGRESSIVE COLLAPSE

Abstract. The necessity of developing solutions that increase the resistance of load-bearing systems to progressive destruction, leading to instant or prolonged destruction of individual structural elements and assemblies, is considered. The plug joint columns in prefabricated and prefabricated monolithic frames designed for compressive forces, in case of emergency impact, begins to work on tension. The maximum tensile forces in the columns and joints of a typical prefabricated frame in case of emergency impact are determined and options for upgrading the design solutions of the plug joint are proposed. It is proposed to use a plug-in part for the well of the plug joint of the prefabricated columns, which provides work for tensile forces. Multivariate numerical simulation of the plug joint was carried out taking into account the tensile work, strength characteristics were determined. Recommendations have been developed for the design of a plug joint for load-bearing systems, taking into account their work with progressive destruction, recommendations for reinforcing the joint depending on the efforts in it have been proposed. The results can be used in the design of plug joints of prefabricated and prefabricated monolithic frames.

Keywords: multi-storey buildings, precast reinforced concrete frame, progressive destruction, plug joint, stress-strain state.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 4-11.
2. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. 2011. № 2-1. С. 21-27.
3. Кодыш Э.Н. Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом возникновения особого предельного состояния // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 10. С. 95-101.
4. Juliya Mironova. Structural solution of the horizontal joint of floor slabs in girderless frame // *2 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE –2021)*. 2021. Vol. 274. Pp. 1–10. doi:10.1051/e3sconf/202127403017
5. Люблинский В.А. К вопросу о перераспределении напряжений в вертикальных несущих железобетонных конструкциях многоэтажных зданий // *Строительство и реконструкция*. 2021. № 2. С. 39-45. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-94-2-39-45>
6. Люблинский В.А. К испытанию вертикальных сварных стыковых соединений панельных зданий // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 5. С. 17-22. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22>
7. Liu J., Xue Y., Wang C., Nie J., Wu Z. Experimental investigation on seismic performance of mechanical joints with bolted flange plate for precast concrete column // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 216. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110729.
8. Hu J.Y., Hong W.K., Park S.C. Experimental investigation of precast concrete based dry mechanical column–column joints for precast concrete frames // *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2017. Vol. 26. No. 5. doi:10.1002/tal.1337.
9. Ruiz-Pinilla J.G., Cladera A., Pallarés F.J., Calderón P.A., Adam J.M. Joint strengthening by external bars on RC beam-column joints // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 45. doi:10.1016/j.job.2021.103445.
10. Федорова Н.В., Савин С.Ю. Анализ особенностей сопротивления прогрессирующему обрушению конструктивных систем зданий и сооружений при внезапных структурных перестройках: аналитический обзор научных исследований // *Строительство и реконструкция*. 2021. № 3 С. 76-108. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-76-108>.
11. Kiakojouri F. et al. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 206. P. 110061. doi:10.1016/j.engstruct.2019.110061
12. Колчунов В.И., Московцева В.С., Бушова О.Б., Жуков Д.И. Расчетный анализ способов защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения // *Строительство и реконструкция*. 2021. № 4. С. 35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>.
13. Morey P.K., Satone P.S.R. Progressive collapse analysis of building // *International Journal of Optimization in Civil Engineering*. 2012. Vol. 2. No. 4.
14. Yi N.H. et al. Collision capacity evaluation of RC columns by impact simulation and probabilistic evaluation // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2015. Vol. 13. No. 2. Pp. 67–81.
15. Rong Q., Luo Q. Experimental study on seismic performance of an improved precast reinforced concrete column-to-column joint // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2022. Vol. 50. No. 5. doi:10.1080/15397734.2020.1763183.
16. Thai H.T., Ho Q.V., Li W., Ngo T. Progressive collapse and robustness of modular high-rise buildings // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2021. doi:10.1080/15732479.2021.1944226.
17. Sharafi P., Alembagheri M., Kildashti K., Ganji H.T. Gravity-Induced Progressive Collapse Response of Precast Corner-Supported Modular Buildings // *Journal of Architectural Engineering*. 2021. Vol. 27. No. 4. doi:10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000499.
18. Peng J., Hou C., Shen L. Progressive collapse analysis of corner-supported composite modular buildings // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 48. doi:10.1016/j.job.2021.103977.
19. Соколов Б.С. Латыпов Р.Р. Прочность и податливость штепсельных стыков железобетонных колонн при действии статических и сейсмических нагрузок. М. : Изд-во АСВ, 2010. 127 с.
20. Трошков Е.О. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований штепсельных стыков сборных железобетонных колонн с плитами перекрытий // *Жилищное строительство*. 2017. № 7. С. 41-46.
21. Васильев А.П., Матков Н.Г., Мирмуминов М.М. Местное сжатие в стыках колонн каркаса многоэтажных зданий // *Бетон и железобетон*. 1977. № 9. С. 30-32.
22. Абдрахимова Н.С., Миронова Ю.В., Шамсутдинова А.И. Экспериментально-теоретические исследования усиленных штепсельных стыков железобетонных колонн при действии поперечной силы // *Известия КГАСУ*. 2016. № 3(37). С. 118-128.
23. Соколов Б.С., Трошков Е.О. Деформативность штепсельных стыков сборных железобетонных плит перекрытий с колоннами в несущей системе УИКСС // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 3(62). С. 32-39.

REFERENCES

1. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. No. 3. P. 4–11.
2. Tamrazyan A.G. Recommendations to working out of requirements to robustness of buildings and constrictions // *Vestnik MGSU*. 2011. No. 2-1. Pp. 21-27.
3. Kodysh E.N. Designing the protection of buildings and structures against progressive collapse in view of the emergence of a special limiting state // *Promyshlennoye i grazhdanskoye Stroitel'stvo*. 2018. No. 10. P. 95–101.
4. Juliya Mironova. Structural solution of the horizontal joint of floor slabs in girderless frame // 2 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE –2021). 2021. Vol. 274. Pp.1–10. doi:10.1051/e3sconf/202127403017
5. Lyublinskiy V.A. To the question of redistribution of stress in vertical bearing RC structures multi-story buildings // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 2. Pp. 39-45. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-94-2-39-45>
6. Lyublinskiy V.A. To test vertical welded butt joints of panel buildings // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. No. 5. P. 17-22. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22>
7. Liu J., Xue Y., Wang C., Nie J., Wu Z. Experimental investigation on seismic performance of mechanical joints with bolted flange plate for precast concrete column // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 216. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110729.
8. Hu J.Y., Hong W.K., Park S.C. Experimental investigation of precast concrete based dry mechanical column–column joints for precast concrete frames // *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2017. Vol. 26. No. 5. doi:10.1002/tal.1337.
9. Ruiz-Pinilla J.G., Cladera A., Pallarés F.J., Calderón P.A., Adam J.M. Joint strengthening by external bars on RC beam-column joints // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 45. doi:10.1016/j.job.2021.103445.
10. Fedorova N.V., Savin S. Yu. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage - an analytical review // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 3. Pp. 76-108. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-76-108>
11. Kiakojouri F. et al. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 206. P. 110061. doi:10.1016/j.engstruct.2019.110061
12. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S., Bushova O.B., Zhukov D.I. Computational analysis of methods for protecting monolithic frames of multi-storey buildings with flat floors from progressive collapse // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 4. Pp. 35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>
13. Morey P.K., Satone P.S.R.. Progressive collapse analysis of building // *International Journal of Optimization in Civil Engineering*. 2012. Vol. 2. No. 4.
14. Yi N.H. et al. Collision capacity evaluation of RC columns by impact simulation and probabilistic evaluation // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2015. Vol. 13. No. 2. Pp. 67–81.
15. Rong Q., Luo Q. Experimental study on seismic performance of an improved precast reinforced concrete column-to-column joint // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2022. Vol. 50. No. 5. doi:10.1080/15397734.2020.1763183.
16. Thai H.T., Ho Q.V., Li W., Ngo T. Progressive collapse and robustness of modular high-rise buildings // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2021. doi:10.1080/15732479.2021.1944226.
17. Sharafi P., Alembagheri M., Kildashti K., Ganji H.T. Gravity-Induced Progressive Collapse Response of Precast Corner-Supported Modular Buildings // *Journal of Architectural Engineering*. 2021. Vol. 27. No. 4. doi:10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000499.
18. Peng J., Hou C., Shen L. Progressive collapse analysis of corner-supported composite modular buildings // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 48. doi:10.1016/j.job.2021.103977.
19. Sokolov B.S. Latypov R.R. Strength and pliability of plug joints of reinforced concrete columns under the action of static and seismic loads. Moscow: Izdatelstvo Associatsiyi Stroitel'nykh Vuzov, 2010. 127 p.
20. Troshkov E.O. Comparison of the results of computer modeling and experimental studies of plug joints of precast reinforced concrete columns with floor slabs // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No. 7. P.41-46.
21. Vasiliev A.P., Matkov N.G., Mirmuminov M.M. Local compression at the joints of the columns of the frame of multi-storey buildings // *Beton i zhelezobeton*. 1977. No. 9. P. 30-32.
22. Abdrakhimova N.S., Mironova Yu.V., Shamsutdinova A.I. Experimental and theoretical studies of reinforced plug joints of reinforced concrete columns under the action of transverse force // *Izvestiya KGASU*. 2016. No. (37). P. 118-128.
23. Sokolov B.S., Troshkov E.O. Deformability of plug joints of precast reinforced concrete floor slabs with columns in the bearing system of UICSS // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 3(62). P. 32-39.

Информация об авторах:

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: lva_55@mail.ru

Миронова Юлия Викторовна

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru

Information about authors:

Lyublinskiy Valery A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, professor, professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: lva_55@mail.ru

Mironova Juliya V.

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia,

candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru