

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, В.С. МОСКОВЦЕВА¹, О.Б. БУШОВА², Д.И. ЖУКОВ²

¹Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

²НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ МОНОЛИТНЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ПЛОСКИМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Аннотация. В работе приведены новые конструктивные решения для защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения. При этом рассмотрено два варианта усиления приопорных зон - зон сопряжения плиты с колонной, обеспечивающие восприятие пиковых изгибающих моментов при внезапном изменении силовых потоков конструктивной системы, вызванном удалением одной из несущих колонн: 1-й вариант - усиление с применением металлических пластин-вставок, 2-й вариант – усиление с применением приопорных каркасов с наклонными арматурными стержнями. Численными исследованиями фрагмента рассматриваемого монолитного каркаса здания по первичной расчетной схеме на действие проектной нагрузки и по вторичной расчетной схеме на запроектное воздействие показана эффективность предложенных конструктивных решений усиления зон сопряжения плит плоских перекрытий с колонными для защиты монолитных каркасов зданий от прогрессирующего обрушения. Установлено, что в рассмотренном численном примере расход стали при применении варианта армирования приопорной зоны каркасами с наклонными стержнями, при прочих равных условиях, снижается до 46%.

Ключевые слова: железобетон, многоэтажные здания, плоские перекрытия, прогрессирующее обрушение, расчетный анализ.

V.I. KOLCHUNOV^{1,2}, V.S. MOSKOVITSEVA¹, O.B. BUSHOVA², D.I. ZHUKOV²

¹South-Western State University", Kursk, Russia

²NRU "Moscow State University of Civil Engineering", Moscow, Russia

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF METHODS FOR PROTECTING MONOLITHIC FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH FLAT FLOORS FROM PROGRESSIVE COLLAPSE

Abstract. The paper presents new design solutions for the protection of monolithic frames of multi-storey buildings with flat floors from progressive collapse. At the same time, two variants of strengthening the support zones - the zones of coupling of the plate with the column, providing the perception of peak bending moments in the event of a sudden change in the force flows of the structural system caused by the removal of one of the supporting columns, are considered: the 1st variant-reinforcement with the use of metal insert plates, the 2nd variant - reinforcement with the use of support frames with inclined reinforcing rods. Numerical studies of a fragment of the considered monolithic frame of a building according to the primary design scheme for the effect of the design load and according to the secondary design scheme for the out-of-design impact show the effectiveness of the proposed design solutions for strengthening the interface zones of flat slabs with columns to protect the monolithic frames of buildings from progressive collapse. It is established that in the considered numerical example, the steel consumption when using the option of reinforcing the support zone with frames with inclined rods, other things being equal, is reduced to 46%.

Keywords: reinforced concrete, multi-storey buildings, flat floors, progressive collapse, computational analysis.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В.О., Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.: АСВ, 2013. 128 с.
2. S.Yu. Fialko, O.V. Kabantsevb, A.V. Perelmuter Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion // Magazine of Civil Engineering. 2021. 102(2). Article No. 10214.
3. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С.8–13.
4. Федорова Н. В., Фан Динь Гуок, Нгуен Тхи Чанг. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. № 1. С. 92-100.
5. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. (1).С. 74-84.
6. Федорова Н.В., Кореньков П.А., Ву Н.Т. Методика экспериментальных исследований деформирования монолитных железобетонных каркасов зданий при аварийных воздействиях // Строительство и реконструкция. 2018. Т. 4. № 78. С.42–52.
7. 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.
8. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. T. 753. C.032037.
9. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. T. 1425. C.012033.
10. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Engineering Structures. 2018. T. 173. C.122–149.
11. Yu J., Tan K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages // Engineering Structures. 2013. T. 55. C.90–106.
12. Deng X.-F., Liang S.-L., Fu F., Qian K. Effects of high-strength concrete on progressive collapse resistance of reinforced concrete frame // Journal of Structural Engineering. 2020. Vol. 146. Issue 6. P. 04020078. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x. 0002628
13. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2019/2354931
14. Alogla K., Weekes L., Augusthus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures // Magazine of Concrete Research. 2017. T. 69. № 3. C.145–162.
15. Shan S. et al. Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls // Eng. Struct. 2016. Vol. 111. Pp. 80–92.
16. Ву Нгок Туен Исследование живучести железобетонной конструктивно нелинейной рамно-стержневой системы каркаса многоэтажного здания в динамической постановке // Строительство и реконструкция. 2020. Т. 90. № 4. С.73–84.
17. Федорова Н. В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 8. С. 32-36.
18. Бондаренко В.М. Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
19. Бондаренко В.М., Ключева Н.В. К расчёту сооружений, меняющих расчетную схему в следствии коррозионных изменений // Известия вузов. 2008. №1. С.4-12.
20. СП 385. 1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.

REFERENCES

1. Almazov V.O., Kao Zui Khoi. Dynamics of progressive destruction of monolithic multi-storey frames. Moscow: DIA, 2013. 128 p.
2. S.Yu. Fialko, O.V. Kabantsevb, A.V. Perelmuter Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion // Magazine of Civil Engineering. 2021. 102(2). Article No. 10214
3. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Protection of multi-storey buildings from progressive collapse // Industrial and civil construction. 2016. No. 6. P. 8-13.
4. Fedorova N.V., Fan Dinh Guok, Nguyen Thi Chang. Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement // Construction and reconstruction. 2020. No. 1. Pp. 92-100.

5. Ilyushchenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-rod structures under special influences. *Construction and reconstruction*. 2021. (1). P. 74-84.
6. Fedorova N.In., Koren'kov P.A., Wu N.T. Methods of experimental studies of the deformation of monolithic reinforced concrete frame of a building during emergency effects // *Construction and reconstruction of the* 2018. Vol. 4. No. 78. Pp. 42–52.
7. Kodish E.N. The protection design of buildings and structures against progressive collapse, given the emergence of limit state // *Industrial and civil construction*. 2018. No. 10. Pp. 95-101.
8. Kolcunov V.I., Tuyen N.V., Korenkov P. A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. T. 753. S. 032037.
9. Fedorova N.V., Ngoc T.V. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. T. 1425. P. 012033.
10. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta, J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // *Engineering Structures*. 2018. Vol. 173. S. 122–149.
11. Yu J., Tan K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages // *Engineering Structures*. 2013. T. 55. Pp. 90–106.
12. Deng X.-F., Liang S.-L., Fu F., Qian K. Effects of high-strength concrete on progressive collapse resistance of reinforced concrete frame // *Journal of Structural Engineering*. 2020. Vol. 146. Issue 6. P. 04020078. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x. 0002628
13. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // *Shock and Vibration*. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2019/2354931
14. Alogla K., Weekes L., Augusthus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures // *Magazine of Concrete Research*. 2017. Vol. 69 No. 3. Pp. 145-162.
15. Shan S. et al. Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls // *Eng. Struct.* 2016. Vol. 111. Pp. 80–92.
16. Wu Ngoc Tuen. Study of the survivability of a structurally nonlinear reinforced concrete frame-rod system of a multi-storey building frame in a dynamic formulation // *Construction and reconstruction*. 2020. Vol. 90. No 4. Pp. 73-84.
17. Fedorova N.V., Khalina T.A. Investigation of dynamic reloading in reinforced concrete structural systems during sudden structural rearrangements // *Industrial and civil construction*. 2017. No. 8. Pp. 32-36.
18. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Computational models of the force resistance of reinforced concrete. M.: DIA, 2004. 472 p.
19. Bondarenko V.M., Klyueva N.V. On the calculation of structures that change the design scheme as a result of corrosion changes // *Izvestiya vuzov*. 2008. No. 1. P. 4-12.
20. SP 385. 1325800.2018 Protection of buildings and structures from progressive collapse.

Информация об авторах:

Колчунов Виталий Иванович

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск, Россия,
 Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
 академик РААСН, профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
 E-mail: asiorel@mail.ru

Московцева Виолетта Сергеевна

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск, Россия,
 аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ.
 E-mail: lyavetka1@mail.ru

Бушова Олеся Борисовна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
 аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
 E-mail: bushova96@mail.ru

Жуков Дмитрий Игоревич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
 аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.
 E-mail: izhukovdmitry@mail.ru

Information about authors:

Kolchunov Vitaly I.

Southwest State University (SWSU), Kursk, Russia,

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,

academician of RAASN, professor, Dr. sciences, head. Department of Unique Buildings and Structures of South-Western State University, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MGSU.

E-mail: asiorel@mail.ru

Moskovtseva Violetta S.

Southwest State University (SWSU), Kursk, Russia,

Post-graduate student of the Department of Unique Buildings and Structures of South-Western State University,

E-mail: lyavetka1@mail.ru

Bushova Olesya B.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,

Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MSUCE.

E-mail: bushova96@mail.ru

Zhukov Dmitry I.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia,

Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, NRU MSUCE.

E-mail: izhukovdmitry@mail.ru