

ФАН ДИНЬ ГУОК¹, Т.А. ИЛЬЮЩЕНКО^{2,3}, М.А. АМЕЛИНА²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

³Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия

СИЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С КОСВЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ В ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Аннотация. Приведены результаты исследований монолитных железобетонных каркасов многоэтажных зданий и железобетонных рам, моделирующих фрагменты таких каркасов в предельных состояниях, вызванных особыми воздействиями. Рассмотрено два варианта армирования ригелей рам: с двойным армированием, обеспечивающим работу ригеля при изменении в раме силовых потоков и соответственно знака момента; варианта с двойным армированием и установкой дополнительного косвенного армирования в приопорных зонах ригелей на всю высоту сечения. Первичные и вторичные расчетные схемы были построены с использованием объемных конечных элементов для бетона и стержневых элементов арматуры. Полученные расчетные параметры деформаций, картин трещин и схем разрушения рам для всех вариантов сопоставлены между собой и с результатами испытаний физических моделей этих конструкций. Для оценки влияния смешанного армирования на предельные деформации сжатого бетона в предельных состояниях, на основе теории пластичности бетона и железобетона Г.А. Гениева, построены деформационные зависимости для характерного железобетонного элемента, армированного стержнями одного направления и сетками в двух других при одноосном сжатии и объемной деформации.

Установлено, что использование косвенного армирования в сочетании с двойной продольной арматурой в изгибаемых элементах при статико-динамическом режиме нагружения значительно увеличивает предельные деформации. Этот вариант армирования является одним из эффективных способов защиты монолитных железобетонных каркасов многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения при особых воздействиях.

Ключевые слова: железобетонный каркас, особое воздействие, предельное состояние, косвенное армирование, расчет, живучесть.

PHAN DINH QUOC¹, T.A. ILIUSHCHENKO^{2,3}, M.A. AMELINA²

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²South West State University, Kursk, Russia

³Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH INDIRECT REINFORCEMENT IN OVER-EXTREME LIMIT STATES

Abstract. The results of studies of monolithic reinforced concrete frames of multi-storey buildings and reinforced concrete frames simulating fragments of such frames in over-extreme limit states caused by special actions are presented. Two options for reinforcing the beams of the frames are considered: with double reinforcement, which ensures the operation of the beam when the force flows in the frame and, accordingly, the sign of the moment change; option with double reinforcement and

installation of additional indirect reinforcement in the support zones of the beams for the entire height of the section. Primary and secondary design models were built using volumetric finite elements for concrete and reinforcement rods. The obtained design parameters of deformations, crack patterns and frame failure patterns for all options are compared with each other and with the results of testing physical models of these structures. To assess the effect of mixed reinforcement on the limiting deformations of compressed concrete in over-extreme limit states, based on the theory of plasticity of concrete and reinforced concrete G.A. Geniyeva, deformation dependencies are constructed for a typical reinforced concrete element reinforced with rods in one direction and meshes in the other two under uniaxial compression and volumetric deformation.

It has been established that the use of indirect reinforcement in combination with double longitudinal reinforcement in bending elements under static-dynamic loading conditions significantly increases the ultimate deformation of the compressed zone. This reinforcement option can working way to protect monolithic reinforced concrete frames of multi-storey buildings from progressive collapse under special actions

Keywords: *reinforced concrete frame, special action, over-extreme limit states, indirect reinforcement, calculation, survivability.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И., Воробьев Е.Д., Осовских Е.В., Доценко В.Н. Конструкционная безопасность каркасов жилых зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2004. №. 1. С. 8-11.
2. Бондаренко В. М., Ключева Н. В., Колчунов В. И., Андросова Н. Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. №. 4. С. 3-16.
3. Травуш В.И., Колчунов В. И., Леонтьев Е. В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №. 2. С. 46-54.
4. Fedorova N.V., Savin S.Y. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage-an analytical review // Build. Reconstr. 2021. Т. 95. №. 3. С. 76-108.
5. Травуш В.И., Шапиро Г.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В., Федорова Н.В. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // Жилищное строительство. 2019. №. 3. С. 40-46.
6. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения / 385.1325800.2018. СП – М.: Минстрой России, 2018.– 33с. (Building Code of RF SP 385.1325800.2018 Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements. Moscow: Ministry of Construction of RF, 2018. 26 p. (in Russian)
7. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009
8. CEN Comité Européen de Normalisation. EN 1991-1-7: eurocode 1 – actions on structures – part 1–7: general actions – accidental actions. Brussels (Belgium): CEN, 2006
9. Australian Building Codes Board (ABCB). National construction code (NCC). Council of Australian Governments. 2016
10. China Association for Engineering Construction Standardization (CECS). Code for anti-collapse design of building structures, CECS 392: 2014. Beijing (China), 2014
11. Y.-L. Fan, J. Wang, and H.-L. Wang, Experimental study on collapse performance of one-story reinforced concrete frames using external prestressing tendons // Journal of Central South University. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 1244–1253.
12. Kang S.B., Tan K.H. Progressive collapse resistance of precast concrete frames with discontinuous reinforcement in the joint // Journal of Structural Engineering. 2017. Т. 143. №. 9. С. 04017090.
13. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column // Advances in Civil Engineering. 2020. Т. 2020.
14. Ключева Н.В., Кореньков П.А. Методика экспериментального определения параметров живучести железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2016. No2. С. 44-48.
15. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. (1425). С. 012033.
16. Федорова Н.В., Фан Д.К., Нгуен Т.Ч. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. №. 1. С. 92-100.

17. Kolchunov V., Iliushchenko T., Savin S. Deformation and Failure of Prestressed Reinforced Concrete Frames in Ultimate States // *Proceedings of MPCPE 2021*. Springer, Cham, 2022. С. 41-53.
18. Расторгуев Б.С., Ванус Д.С. Расчет изгибаемых железобетонных элементов с косвенным сетчатым армированием сжатой зоны // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. №. 12. С. 58.
19. Krishan A.L., Sabirov R.R., Krishan M.A. Strength calculation of compressed reinforced concrete elements with indirect reinforcement with nets // *Architecture Building Education*. 2014. Т. 1. №. 3. С. 215-224.
20. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. №. 7. С. 41-44.
21. Vu N. S., Yu B., Li B. Stress-strain model for confined concrete with corroded transverse reinforcement // *Engineering Structures*. 2017. Т. 151. С. 472-487.
22. Демьянов А.И., Алькади С.А. Статико-динамическое деформирование железобетонных элементов пространственной рамы при их сложном сопротивлении // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2018. №. 11. С. 20-33.
23. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. 1974.
24. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I., Vorob'ev E.D., Osovskih E.V., Docenko V.N. Konstrukcionnaya bezopasnost' karkasov zhilyh zdaniy [Structural safety of residential building frames] // *BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. 2004. №. 1. S. 8-11 (rus)
2. Bondarenko V.M., Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Androsova N.B. Nekotorye rezul'taty analiza i obobshcheniya nauchnyh issledovaniy po teorii konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti [Some results of the analysis and generalization of scientific research on the theory of constructive safety and survivability] // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2012. №. 4. S. 3-16 (rus)
3. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya v ramkah zakonodatel'nyh i normativnyh trebovanij [Protection of buildings and structures from progressive collapse within the framework of legislative and regulatory requirements] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. №. 2. S. 46-54 (rus)
4. Fedorova N.V., Savin S.Y. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage-an analytical review // *Build. Reconstr.* 2021. Т. 95. №. 3. С. 76-108.
5. Travush V.I., Shapiro G.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V., Fedorova N.V. Proektirovanie zashchity krupnopanel'nyh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Design of protection of large-panel buildings against progressive collapse] // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2019. №. 3. S. 40-46 (rus)
6. SP 385.1325800. 2018. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozheniya [Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. The main provisions.]. М.: Standartinform, 2018. S. 19 (rus)
7. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009.
8. CEN Comité Européen de Normalisation. EN 1991-1-7: eurocode 1 – actions on structures – part 1–7: general actions – accidental actions. Brussels (Belgium): CEN, 2006.
9. Australian Building Codes Board (ABCB). National construction code (NCC). Council of Australian Governments. 2016.
10. China Association for Engineering Construction Standardization (CECS). Code for anti-collapse design of building structures, CECS 392: 2014. Beijing (China), 2014.
11. Y.-L. Fan, J. Wang, and H.-L. Wang, Experimental study on collapse performance of one-story reinforced concrete frames using external prestressing tendons // *Journal of Central South University*. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 1244–1253.
12. Kang S.B., Tan K.H. Progressive collapse resistance of precast concrete frames with discontinuous reinforcement in the joint // *Journal of Structural Engineering*. 2017. Т. 143. №. 9. С. 04017090.
13. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column // *Advances in Civil Engineering*. 2020. Т. 2020.
14. Klyueva N.V., Koren'kov P.A. Metodika eksperimental'nogo opredeleniya parametrov zhivuchesti zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevyyh konstruktivnyh system [Method of experimental determination of parameters of survivability of reinforced concrete frame-bar structural systems] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No2. S.44-48. (rus)
15. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. (1425). С. 012033.

16. Fedorova N.V., Fan D.K., Nguen T.CH. Eksperimental'nye issledovaniya zhivuchesti zhelezobetonnyh ram s rigelyami, usilennymi kosvennym armirovaniem [Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement] // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2020. № 1. S. 92-100 (rus)
17. Kolchunov V., Iliushchenko T., Savin S. Deformation and Failure of Prestressed Reinforced Concrete Frames in Ultimate States // *Proceedings of MPCPE 2021*. Springer, Cham, 2022. C. 41-53.
18. Rastorguev B.S., Vanus D.S. Raschet izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s kosvennym setchatym armirovaniem szhatoy zony [Calculation of bending reinforced concrete elements with indirect mesh reinforcement of the compressed zone] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. № 12. S. 58 (rus)
19. Krishan A.L., Sabirov R.R., Krishan M.A. Strength calculation of compressed reinforced concrete elements with indirect reinforcement with nets // *Architecture Building Education*. 2014. Т. 1. № 3. С. 215-224.
20. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K. K raschetu izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s kosvennym armirovaniem szhatoy zony [To the calculation of bending reinforced concrete elements with indirect reinforcement of the compressed zone] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. № 7. S. 41-44 (rus)
21. Vu N.S., Yu B., Li B. Stress-strain model for confined concrete with corroded transverse reinforcement // *Engineering Structures*. 2017. Т. 151. С. 472-487.
22. Dem'yanov A.I., Al'kadi S.A. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie zhelezobetonnyh elementov prostranstvennoj ramy pri ih slozhnom soprotivlenii [Static-dynamic deformation of reinforced concrete elements of a spatial frame with their complex resistance] // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2018. № 11. S. 20-33 (rus)
23. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [The theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. М.: Strojizdat, 1974. 316 s. (rus)
24. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Basic Provisions.]. М.: Standartinform, 2018. S. 152 (rus)

Информация об авторах:

Фан Динь Гуок

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: D2nucevn@gmail.com

Ильющенко Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
кандидат технических наук, преподаватель кафедры уникальных зданий и сооружений.
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия,
инженер.
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Амелина Маргарита Андреевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
студент кафедры уникальных зданий и сооружений.
E-mail: margo.dremova@mail.ru

Information about authors:

Phan Dinh Quoc

National Research Moscow State Construction University, Moscow, Russia,
postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: D2nucevn@gmail.com

Iliushchenko Tatiana A.

Southwest State University, Kursk, Russia,
candidate of technical sciences, teacher of unique buildings and structures.
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,
engineer.
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Amelina Margarita A.

Southwest State University, Kursk, Russia,
student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: margo.dremova@mail.ru