

Н.Б. АНДРОСОВА^{1,3}, В.И. КОЛЧУНОВ^{2,3}

¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

³ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия

ЖИВУЧЕСТЬ РАМНО-СТЕРЖНЕВОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ В ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Аннотация. Изложены методика и алгоритм расчета параметров живучести длительно деформируемого железобетонного каркаса здания в запредельных состояниях. Аналитические зависимости для определения значения меры ползучести приняты в соответствии с использованием приближенных зависимостей из рекомендаций НИИЖБ. На этой основе предложена методика определения изгибной жесткости поперечного сечения элементов каркаса. Сформулирован деформационный критерий особого предельного состояния с учетом неравновесных процессов длительной деформации элементов конструктивной системы. Приведены результаты численного анализа потенциала живучести длительно деформируемого железобетонного каркаса при внезапном удалении одного из конструктивных элементов с учетом предыстории длительного деформирования рассматриваемого каркаса здания при эксплуатационной нагрузке. Определена экспозиция живучести конструктивной системы с момента ее нагружения до превращения в кинематически изменяемую систему.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, потенциал живучести, железобетонные конструкции, ползучесть, особое воздействие.

N.B. ANDROSOVA^{1,3}, V.I. KOLCHUNOV^{2,3}

¹Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

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

SURVIVABILITY OF THE FRAME-ROD REINFORCED CONCRETE BUILDING FRAMEWORK IN ACCIDENTAL ACTION

Abstract. A methodology and an algorithm for calculating the survivability parameters of a long-term deformable reinforced concrete building frame in extreme states are presented. Analytical dependencies for determining the value of the creep measure are taken in accordance with the use of approximate dependencies from the recommendations of the NIIZHB. On this basis, a method is proposed for determining the cross-section bending stiffness of the frame elements. The deformation criterion of a special limiting state is formulated taking into account the nonequilibrium processes of prolonged deformation of the structural system elements. The numerical analysis results of the long-term deformable reinforced concrete frame survivability potential with a sudden removal of the one structural element, taking into account the long-term deformation prehistory of the considered building frame under an operating load, are presented. The exposure of the structural system survivability from the its loading moment to its transformation into a kinematically variable system has been determined.

Keywords: progressive collapse, survivability potential, reinforced concrete structures, creep, accidental action.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В.О. Проблемы прогрессирующего разрушения // Строительство и реконструкция. 2014. №6. С. 3-10.
2. Бондаренко В.М. Силовое деформирование, коррозионные повреждения и энергосопrotивление железобетона. Курск: Юго-зап. гос. ун-т, 2016. 68 с.
3. Гениев Г.А., Пятикрестовский К.П. Вопросы длительной и динамической прочности анизотропных конструкционных материалов. ГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2000. 38 с.
4. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее обрушение // Вестник НИЦ Строительство. 2019. №2. С. 15-29.
5. Eryshev V.A., Karpenko N.I., Rimshin V.I. The Parameters Ratio in the Strength of Bent Elements Calculations by the Deformation Model and the Ultimate Limit State Method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 753, 022076. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/2/022076>.
6. Трекин Н.Н. Кодыш Э.Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №3. С. 4-9.
7. Радченко А., Радченко П., Батуев С., Плевков В. Моделирование разрушения железобетонных конструкций при ударе // Architecture and Engineering. 2019. Т 4. №3. С. 22-29
8. Travush V.I., Fedorova N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects / В.И. Травуш, Н.В. Федорова // Magazine of Civil Engineering. 2018. №5. p. 73-80. <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8>.
9. Тамразян А.Г. Технология расчета железобетонных конструкций при пожаре после землетрясения // Бетон и железобетон. 2020. № 1. С. 49-56.
10. Shapiro G.I., Smirnov A.V. Calculation model of typical panel building conjugation with large-span frame construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012090>
11. Isobe D. Progressive Collapse Analysis of Structures. In: Progressive Collapse Analysis of Structures. Elsevier. 2018. 260 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812975-3.00001-3>.
12. Stylianidis P.M., Nethercot D.A., Izzuddin B.A., Elghazouli A.Y. Study of the mechanics of progressive collapse with simplified beam models // Engineering Structures. 2016. 117. P. 287-204. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.02.056>
13. Cha E.J., Ellingwood B.R. Seismic risk mitigation of building structures: The role of risk aversion. Structure safety. 2013. 40, P.11–19. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2012.06.004>.
14. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций при аварийных воздействиях. Бетон и железобетон – проблемы и перспективы. // Вестник НИЦ «Строительство». 2018. №1. С.120-125.
15. Клюева Н.В., Шувалов К.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных неразрезных балках с использованием статико-динамических диаграмм // Вестник МГСУ. 2011. №2-2. С. 145-152.
16. Федорова Н.В., Кореньков П.А. Статико-динамическое деформирование монолитных железобетонных каркасов зданий в предельных и запредельных состояниях // Строительство и реконструкция. 2016. №6. С. 90-100.
17. 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 Structure. 2018. 173. P.122–149. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.
18. Fedorova N. The dynamic effect in a structural adjustment of reinforced concrete structural system / Fedorova N., Kolchunov V., Tuyen V.N., Dinh Quoc P., Medyanin M. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Т. 869. С.052078. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/5/052078>.
19. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №2. С. 28-31.
20. Fedorova N.V., Gubanova M.S. Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading // Russian journal of building construction and architecture. 2018. №2. P. 6-18.
21. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete flame at loss of stability / Magazine of civil engineering. 2018. 80. P. 73-80. <https://doi.org/10.18720/MCE.80.7>.
22. Tamrazyan A.G., Mineev T.K., Zhukova L.I. Influence of chloride corrosion on probabilistic assessment of bearing capacity of beamless slabs overlap // IOP conference series: Materials science and engineering. 2019. 012117. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012052>.
23. Kabantsev O., Mitrovic B.: Modeling post-critical deformation processes of flat reinforced concrete elements under biaxial stresses // MATEC Web of Conference. 2017. 117. P. 00071. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700071>.

24. Li J., Yao Y. A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete // *Cement and Concrete Research*. 2001. 31. P. 1203–1206. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00539-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00539-7).
25. Vasanelli E., Micelli F., Aiello M.A., Plizzari G. Long term behavior of FRC flexural beams under sustained load // *Engineering Structures*. 2013. 56. P.1858–1867. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.07.035>.
26. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. Москва: Стройиздат, 1982. 287 с.
27. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Издательство харьковского университета, 1968. 323 с.
28. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1988. 120 с.
29. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. О методах решения уравнений ползучести бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2005. №3. С. 55-63.

REFERENCES

1. Almazov V.O. Problemy progressivnykh razrusheniya // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2014. №6. S. 3-10.
2. Bondarenko V.M. Silovoe deformirovanie, korrozionnye povrezhdeniya i energosoprotivlenie zhelezobetona. Kursk: YUgo-zap. gos. un-t, 2016. 68 s.
3. Geniev G.A., Pyatikrestovskij K.P. Voprosy dlitel'noj i dinamicheskoj prochnosti anizotropnykh konstrukcionnykh materialov. GUP CNIISK im. V.A. Kucherenko, 2000. 38 s.
4. Vedyakov I.I., Eremeev P.G., Odesskij P.D., Popov N.A., Solov'ev D.V. Analiz normativnykh trebovanij k raschetu stroitel'nykh konstrukcij na progressivnyy obrushenie // *Vestnik NIC Stroitel'stvo*. 2019. №2. S. 15-29.
5. Eryshev V.A., Karpenko N.I., Rimshin V.I. The Parameters Ratio in the Strength of Bent Elements Calculations by the Deformation Model and the Ultimate Limit State Method // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 753, 022076. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/2/022076>.
6. Trekin N.N., Kodysh E.N. Osoboe predel'noe sostoyanie zhelezobetonykh konstrukcij i ego normirovanie // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. №3. S. 4-9.
7. Radchenko A., Radchenko P., Batuev S., Plevkov V. Modelirovanie razrusheniya zhelezobetonykh konstrukcij pri udare // *Architecture and Engineering*, 2019. T 4. №3. S. 22-29
8. Travush V.I., Fedorova N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects / V.I. Travush, N.V. Fedorova // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. №5. p. 73-80. <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8>.
9. Tamrazyan A.G. Tekhnologiya rascheta zhelezobetonykh konstrukcij pri pozhare posle zemletreseniya // *Beton i zhelezobeton*. 2020. № 1. S. 49-56.
10. Shapiro G.I., Smirnov A.V. Calculation model of typical panel building conjugation with large-span frame construction // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012090>
11. Isobe D. Progressive Collapse Analysis of Structures. In: *Progressive Collapse Analysis of Structures*. Elsevier. 2018. 260 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812975-3.00001-3>.
12. Stylianidis P.M., Nethercot D.A., Izzuddin B.A., Elghazouli A.Y. Study of the mechanics of progressive collapse with simplified beam models // *Engineering Structures*. 2016. 117. P. 287-204. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.02.056>
13. Cha E.J., Ellingwood B.R. Seismic risk mitigation of building structures: The role of risk aversion. *Structure safety*. 2013. 40, P.11–19. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2012.06.004>.
14. Kodysh E.N., Trekin N.N. Osoboe predel'noe sostoyanie zhelezobetonykh konstrukcij pri avarijnykh vozdeystviyah. Beton i zhelezobeton – problemy i perspektivy // *Vestnik NIC «Stroitel'stvo»*. 2018. №1. S.120-125.
15. Klyueva N.V., SHuvalov K.A. Issledovanie dinamicheskikh dogruzenij v zhelezobetonykh nerazreznnykh balkah s ispol'zovaniem statiko-dinamicheskikh diagramm // *Vestnik MGSU*. 2011. №2-2. S. 145-152.
16. Fedorova N.V., Koren'kov P.A. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie monolitnykh zhelezobetonykh karkasov zdaniy v predel'nykh i zapredel'nykh sostoyaniyah // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2016. №6. S. 90-100.
17. 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 Structure*. 2018. 173. P.122–149. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.
18. Fedorova N. The dynamic effect in a structural adjustment of reinforced concrete structural system / Fedorova N., Kolchunov V., Tuyen V.N., Dinh Quoc P., Medyankin M. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. T. 869. S.052078. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/5/052078>.
19. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Koncepciya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovykh i sredovykh vozdeystviyah // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. №2. S. 28-31.

20. Fedorova N.V., Gubanova M.S. Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading // Russian journal of building construction and architecture. 2018. №2. P. 6-18.
21. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete flame at loss of stability / Magazine of civil engineering. 2018. 80. P. 73-80. <https://doi.org/10.18720/MCE.80.7>.
22. Tamrazyan A.G., Mineev T.K., Zhukova L.I. Influence of chloride corrosion on probabilistic assessment of bearing capacity of beamless slabs overlap // IOP conference series: Materials science and engineering. 2019. 012117. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012052>.
23. Kabantsev O., Mitrovic B. Modeling post-critical deformation processes of flat reinforced concrete elements under biaxial stresses // MATEC Web of Conference. 2017. 117, P. 00071. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700071>.
24. Li J., Yao Y. A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete // Cement and Concrete Research. 2001. 31. P. 1203–1206. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00539-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00539-7).
25. Vasanelli E., Micelli F., Aiello M.A., Plizzari G. Long term behavior of FRC flexural beams under sustained load // Engineering Structures. 2013. 56. P.1858–1867. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.07.035>.
26. Bondarenko V.M., Bondarenko S.V. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona. Moskva: Strojizdat, 1982. 287 s.
27. Bondarenko V.M. Nekotorye voprosy nelinejnoj teorii zhelezobetona. Har'kov: Izdatel'stvo har'kovskogo universiteta, 1968. 323 s.
28. Rekomendacii po uchetu polzuchesti i usadki betona pri raschete betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij / NII ZHB Gosstroya SSSR. - Moskva: Strojizdat, 1988. 120 s.
29. Beglov A.D., Sanzharovskij R.S. O metodah resheniya uravnenij polzuchesti betona // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. 2005. №3. S. 55-63.

Информация об авторах:

Андросова Наталия Борисовна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой строительных конструкций и материалов. ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия, старший научный сотрудник.
E-mail: ramia84@rambler.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций. ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия, главный научный сотрудник.
E-mail: asiorel@mail.ru

Information about authors:

Androsova Natalia B.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, candidate of technical science, docent, head of the department of building constructions and materials. Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, starshiy nauchnyy sotrudnik.
E-mail: ramia84@rambler.ru

Kolchunov Vitaly I.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, doctor of Technical Sciences, professor of the department of reinforced concrete and stone structures. Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, glavniy nauchnyy sotrudnik.
E-mail: asiorel@mail.ru