

П.А. КОРЕНЬКОВ¹, С. С. ФЕДОРОВ²¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия,² ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ЖИВУЧЕСТЬ СБОРНО-МОНОЛИТНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ПРИ ОСОБЫХ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. В работе получены и проанализированы результаты численного анализа живучести новой индустриальной конструктивной системы жилых и общественных зданий, отвечающая современным требованиям защиты от прогрессирующего обрушения, улучшенными объемно-планировочными, архитектурными и теплозащитными решениями. Наличие значительного количества предприятий с технологическими линиями по производству конструкций для крупнопанельного домостроения и их доля на рынке, в сочетании с рядом недостатков применяемых технических и объемно-планировочных решений свидетельствует о необходимости модернизации этих предприятий, для выпуска ими продукции, отвечающей современным требованиям. Целью настоящего исследования являлось качественное и количественное изучение параметров напряженно-деформированного состояния предложенной авторами индустриальной конструктивной системы гражданских зданий с повышенной стойкостью к прогрессирующему обрушению, производство которой не требовало бы дорогостоящей модернизации предприятий стройиндустрии. На основе уровневых расчетных схем предложен алгоритм расчета такой системы на особое аварийное воздействие. Численными исследованиями установлено соответствие разработанной конструктивной системы требованиям особого предельного состояния при проектных нагрузках и аварийных воздействиях, вызванных выключением из работы вертикального несущего элемента.

Ключевые слова: живучесть, сборно-монолитный каркас, особое предельное состояние, физическая нелинейность

P.A. KORENKOV¹, S.S. FEDOROV²¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia,²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

RESISTANCE OF THE PRECAST - CAST-IN-SITU REINFORCED CONCRETE FRAMES OF CIVIL BUILDINGS UNDER SPECIAL EMERGENCY IMPACT

Abstract. The paper obtained and analyzed the results of a numerical analysis of the survivability of a new industrial structural system of residential and public buildings that meets modern requirements for protection against progressive collapse, improved space-planning, architectural and thermal protection solutions. The presence of a significant number of enterprises with technological lines for the production of structures for large-panel housing construction and their market share, combined with a number of disadvantages of the applied technical and space-planning solutions, indicates the need to modernize these enterprises in order to produce products that meet modern requirements. The purpose of this study was to qualitatively and quantitatively study the parameters of the stress-strain state of the industrial structural system of civil buildings proposed by the authors with increased resistance to progressive collapse, the production of which would not require expensive modernization of the construction industry enterprises. On the basis of multi-level design schemes, an algorithm for calculating such a system for a special emergency effect is proposed. Numerical studies have established the compliance of the developed structural system with the requirements of a special limiting state under design loads and emergency effects caused by the sudden removal of a vertical load-bearing element.

Keywords: survivability, precast-monolithic frame, special limiting state, material nonlinearity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В., Шапиро Г.И., Гасанов А.А. Расчеты крупнопанельных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения методами предельного равновесия и конечного элемента // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2016. №4. С. 109-111.
2. Травуш В.И., Пономарев В.Н., Бондаренко В.М., Еремин К.И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений // Архитектура. Строительство. Образование. 2014. №2. С. 7-16.
3. Соколов Б.С., Трошков Е.О. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния штепсельных стыков железобетонных колонн с плитами перекрытия при косом внецентренном сжатии // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. № 3. С. 126-135.
4. Трошков Е.О., Соколов Б.С. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований штепсельных стыков сборных железобетонных колонн с плитами перекрытий // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 41-46.
5. Коянкин А.А., Митасов В.М. Напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного здания // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 6(74). С. 175–184.
6. Николаев С.В. Обновление жилищного фонда страны на базе крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2018. №3. С. 3-8.
7. Ключева Н.В., Колчунов В.И., Рыпаков Д.А., Бухтиярова А.С. Жилые и общественные здания из железобетонных панельно-рамных элементов индустриального производства // Жилищное строительство. 2015. №5. С. 69-76.
8. Пат. № 2506385 Российская Федерация, МПК E04H 1/00. Здание из панельных элементов / В.А. Ильичёв, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева, А.С. Бухтиярова, заявл. 1.08.2012, опубл. 10.12.2014, Бюл. №4. 8 с.
9. Пат. № 2627524. Российская Федерация, МПК E02B1/61. Платформенный сборно-монолитный стык / Н.В. Ключева, П.А. Кореньков, заявл. 11.12.2015; опубл. 8.08.2017, Бюл. № 22. – 8 с
10. Пушкарёв Б.А., Кореньков П.А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции. Сферы применения и особенности расчёта // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 46. С. 30-35.
11. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтушенко Е.И., Нарцев В.М., Сергеев С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. 2013. №6. С.849-854
12. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования». М.: ЭС НТИ "Техэксперт", 2017. 35 с.
13. Методическое пособие «Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения» М.: ЭС НТИ "Техэксперт", 2018. 158 с.
14. Савин С.Ю., Федорова Н.В., С.Г. Емельянов С.Г. Анализ живучести сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий из железобетонных панельно-рамных элементов при аварийных воздействиях, вызванных потерей устойчивости одной из колонн // Жилищное строительство. 2018. № 12. С. 3-7.
15. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Ковалев В.В., Ильющенко Т.А. Моделирование разрушения железобетонного каркаса многоэтажного здания с предварительно напряженными ригелями // Инженерно - строительный журнал. 2019. № 8(92). С. 155–162. DOI: 10.18720/MSE.92.13
16. Емельянов С.Г., Федорова Н.В., Колчунов В.И. Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 23–27.
17. Колчунов В.И., Мартыненко Д.В. Деформирование и трещинообразование конструкции платформенного стыка в сборно-монолитном каркасе здания // Строительство и реконструкция. 2020. № 4 (90). С. 38-47.
18. Колчунов В.И., Мартыненко Д.В. Прочность и деформативность сборно-монолитных платформенных стыков панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2 (82). С. 26-34.
19. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Изд-во АСВ, 2014. 208 с.
20. Федорова Н.В., Кореньков П.А. Анализ деформирования и трещинообразования многоэтажных железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем зданий в предельных и запредельных состояниях // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №11. С.8-13.
21. Fedorova N., Tamrazyan A., Korenkov P. Industrial constructive system of civil buildings of increased survivability // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P.04003
22. Колчунов В.И., Осовских Е.В., Фомичев С.И. Прочность железобетонных платформенных стыков жилых зданий с перекрестно-стеновой системой из панельных элементов // Жилищное строительство. 2009. №12. С.12-16

23. Bournas D.A., Negro P., Molina F.J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Behavior of the mechanical connections and floor diaphragms // *Engineering Structures*. 2013 Volume 57. Pp. 609-627

24. Трошков Е.О. Экспериментальные исследования штепсельных стыков второго типа на сдвиг // Долговечность, прочность и механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов: Сборник докладов IX Академических чтений РААСН – Международной научной конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 85–90.

25. Любомирский Н.В., Родин С.В., Кореньков П.А., Абселямов Р.С. Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 19-тиэтажного жилого дома в г. Евпатория // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 5 (55). С. 38-46.

REFERENCES

1. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V., Shapiro G.I., Gasanov A.A. Raschety krupnpanel'nykh zdaniy na ustoychivost' protiv progressiruyushchego obrusheniya metodami predel'nogo ravnesiya i konechnogo elementa [Calculations of large-panel buildings for stability against progressive collapse by the methods of limiting equilibrium and finite element]. *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2016. No. 4. Pp. 109-111. (in Russian)

2. Travush V.I., Ponomarev V.N., Bondarenko V.M., Eremin K.I. O neobkhodimosti sistemnogo podkhoda k nauchnym issledovaniyam v oblasti kompleksnoy bezopasnosti i predotvrashcheniya avariyn zdaniy i sooruzheniy [On the need for a systematic approach to scientific research in the field of integrated safety and prevention of accidents in buildings and structures]. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovaniye*. 2014. No. 2. Pp. 7-16. (in Russian)

3. Sokolov B.S., Troshkov E.O. Komp'yuternoye modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya shtepsel'nykh stykov zhelezobetonnykh kolonn s plitami perekrytiya pri kosom vnestsentrennom szhatii [Computer modeling of the stress-strain state of plug joints of reinforced concrete columns with floor slabs under oblique eccentric compression]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018. No 3. Pp. 126-135. (in Russian)

4. Troshkov E.O., Sokolov B.S. Sravneniye rezul'tatov komp'yuternogo modelirovaniya i eksperimental'nykh issledovaniy shtepsel'nykh stykov sbornykh zhelezobetonnykh kolonn s plitami perekrytiy [Comparison of the results of computer modeling and experimental research of plug joints of precast concrete columns with floor slabs]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No 7. Pp. 41-46. (in Russian)

5. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 6 (74). Pp. 175-184.

6. Nikolaev S.V. Obnovleniye zhilishchnogo fonda strany na baze krupnpanel'nogo domostroyeniya [Renovation of the country's housing stock on the basis of large-panel housing construction]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2018. No. 3. S. 3-8. (in Russian)

7. Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Bukhtiyarova A.S. Zhilyye i obshchestvennyye zdaniya iz zhelezobetonnykh panel'no-ramnykh elementov industrial'nogo proizvodstva [Residential and public buildings from reinforced concrete panel-frame elements of industrial production]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. No. 5. S. 69-76. (in Russian)

8. Pat. No. 2506385 Russian Federation, IPC E04H 1/00. Zdaniye iz panel'nykh elementov [A building made of panel elements] / V.A. Ilyichev, V.I. Kolchunov, N.V. Klyueva, A.S. Bukhtiyarova, app. 1.08.2012, publ. 10.12.2014, Bul. No. 4. 8 p. (in Russian)

9. Pat. No. 2627524. Russian Federation, IPC E02B1 / 61. Platformennyy sborno-monolitnyy styk [Platform precast-monolithic joint] / N.V. Klyueva, P.A. Korenkov, declared. 12/11/2015; publ. 08.08.2017, Bul. No. 22. - 8 s (in Russian)

10. Pushkarev B.A., Korenkov P.A. Sbornomonolitnyye zhelezobetonnyye konstruksii. Sfery primeneniya i osobennosti raschota [Precast monolithic reinforced concrete structures. Spheres of application and calculation features]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2013. No. 46. Pp. 30-35. (in Russian)

11. Minko N.I., Puchka O.V., Evtushenko E.I., Nartsev V.M., Sergeev S.V. Penosteklo – sovremennyy effektivnyy neorganicheskiy teploizolyatsionnyy material [Foam glass is a modern effective inorganic heat-insulating material]. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2013. No. 6. Pp. 849-854 (in Russian)

12. Building Code of Russian Federation SP 385.1325800.2018 "Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements ". Moscow: ES NTI "Techexpert", 2017. 35 p. (in Russian)

13. Methodological manual "Proyektirovaniye meropriyatiy po zashchite zdaniy i sooruzheniy ot progressiruyushchego obrusheniya" ["Designing measures to protect buildings and structures from progressive collapse"] Moscow: ES STI "Techexpert", 2018. 158 p. (in Russian)

14. Savin S.Yu., Fedorova N.V., S.G. Emelyanov S.G. Analiz zhivuchesti sborno-monolitnykh karkasov mnogoetazhnykh zdaniy iz zhelezobetonnykh panel'no-ramnykh elementov pri avariynnykh vozdeystviyakh, vyzvannykh poterey ustoychivosti odnoy iz kolonn [Survivability Analysis of Reinforced Concrete Frameworks of Multi-storey Buildings Made of Frame-panel Elements Using Combination of Prefabricated and Monolithic Concrete in Case of Accidental Impacts Caused by Loss of Stability of One of the Columns]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2018. No. 12. Pp. 3-7. (in Russian)

15. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kovalev V.V., Ilyushchenko T.A. Failure simulation of a RC multi-storey building frame with prestressed girders. *Magazine of Civil Engineering*. 2019.No. 8 (92). Pp. 155-162. DOI: 10.18720 / MCE.92.13.
16. Emelyanov S.G., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Osobennosti proyektirovaniya uzlov konstruktivnykh zhilykh i obshchestvennykh zdaniy iz panel'no-ramnykh elementov dlya zashchity ot progressivnykh obrusheniya [Features of design of units of structures of residential and public buildings from panel-frame elements for protection against progressive collapse]. *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 3. Pp. 23–27. (in Russian)
17. Kolchunov V.I., Martynenko D.V. Deformation and cracking of the platform joint of the prefabricated-monolithic building frame. *Building and Reconstruction*. 2020;(4):38-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-90-4-38-47>. (in Russian)
18. Kolchunov V.I., Martynenko D.V. The strength and deformability of precast-monolithic platform joints of panel buildings. *Building and Reconstruction*. 2019;(2):26-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-82-2-26-34>. (in Russian)
19. Kolchunov V.I., Androsova N.B., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproyektnykh vozdeystviyakh [Survivability of buildings and structures under beyond design basis impacts]. Moscow: Publishing house ASV, 2014. 208 p. (in Russian)
20. Fedorova N.V., Korenkov P.A. Analiz deformirovaniya i treshchinoobrazovaniya mnogoetazhnykh zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevyykh konstruktivnykh sistem zdaniy v predel'nykh i zapredel'nykh sostoyaniyakh [Analysis of deformation and cracking of multi-storey reinforced concrete frame-rod structural systems of buildings in limiting and out-of-limit states]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014, no. 2016. No. 11. S.8-13. (in Russian)
21. Fedorova N., Tamrazyan A., Korenkov P. Industrial constructive system of civil buildings of increased survivability. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. P.04003
22. Kolchunov V.I., Osovskikh E.V., Fomichev S.I. Prochnost' zhelezobetonnykh platformennykh stykov zhilykh zdaniy s perekrestno-stenovoy sistemoy iz panel'nykh elementov [Strength of reinforced concrete platform joints of residential buildings with a cross-wall system of panel elements]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2009. No. 12. Pp.12-16 (in Russian)
23. Bournas D.A., Negro P., Molina F.J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Behavior of the mechanical connections and floor diaphragms. *Engineering Structures*. 2013 Volume 57. Pp. 609-627.
24. Troshkov E.O. Eksperimental'nyye issledovaniya shtepsel'nykh stykov vtorogo tipa na sdvig [Experimental studies of plug joints of the second type for shear]. *Dolgovechnost', prochnost' i mekhanika razrusheniya betona, zhelezobetona i drugikh stroitel'nykh materialov: Sbornik dokladov IX Akademicheskikh chteniy RAASN – Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Durability, strength and fracture mechanics of concrete, reinforced concrete and other building materials: Collection of reports of the IX Academic Readings of the RAACS - International Scientific Conference]. Saint Petersburg : SPbGASU, 2016. Pp. 85–90. (in Russian)
25. Lyubomirsky N.V., Rodin S.V., Korenkov P.A., Abselyamov R.S. Hazard analysis progressive collapse of monolithic reinforced concrete frame 19-storey residential building in the city of Evpatoria. *Building and Reconstruction*. 2014. No. 5 (55). Pp. 38-46. (in Russian)

Информация об авторах:

Кореньков Павел Анатольевич

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: kpa_gbk@mail.ru

Федоров Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.

E-mail: FedorovSS@mgsu.ru

Information about authors:

Korenkov Pavel An.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia, candidate of technical science, docent, associate professor of the building structures.

E-mail: kpa_gbk@mail.ru

Fedorov Sergey S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department of information systems, technologies and automation in construction.

E-mail: FedorovSS@mgsu.ru