

А.С. МАРКОВИЧ¹, М.И. АБУ МАХАДИ¹, Д.А. МИЛОСЕРДОВА¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

ЖЕСТКОСТЬ НАРУЖНОЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ С ПРОЕМОМ ЖИЛОГО ДОМА СЕРИИ I-515/5 ПРИ ПЕРЕКОСЕ

Аннотация. При обследовании типовых панельных домов были обнаружены характерные дефекты и разрушения, такие как крены и перекосы стеновых панелей. В данной статье произведено определение жесткости стеновой панели с проемом панельного дома серии I-515/5 при заданном перекосе панели в своей плоскости. Панель рассчитывалась численно по нелинейной деформационной модели методом конечных элементов и аналитически. Для решения задачи использовался программный комплекс ЛИРА-САПР 2017. Расчет производился с учетом нелинейности и ползучести материала. В результате были получены поля нормальных и касательных напряжений в панели и вычислена сдвиговая жесткость. Произведенный анализ полученных результатов показал, что следует учитывать возможное снижение фактической жесткости панели при перекосе против расчетной, полученной согласно нормам.

Ключевые слова: панельные дома серии I-515/5, перекося стеновых панелей, сдвиговая жесткость, чистый сдвиг, метод конечных элементов.

A.S. MARKOVICH¹, M.I. ABU MAHADI¹, D.A. MILOSERDOVA¹

¹RUDN University, Moscow, Russia

THE RIGIDITY OF THE EXTERNAL WALL PANEL WITH OPENING OF RESIDENTIAL BUILDING I-515/5 SERIES IN CASE BIAS

Abstract. There were a number of characteristic damages and defects in typical panel houses when examine, one of which are tilts and biases of wall panels. The stiffness of the wall panel with the opening of residential building I-515/5 series has been determined at a given bias in its plane. The panel was calculated numerically using a nonlinear deformation model by the finite element method and analytically. The software package, LIRA-SAPR 2017, was used in this investigation. The calculation was carried out taking into account the nonlinearity and material creep. As a result, the fields of normal and shear stresses in the panel were obtained and the shear rigidity was calculated. The analysis of the obtained results showed that a possible decrease of the actual stiffness of the panel should take into account against the calculated stiffness was obtained according to the standards.

Keywords: panel buildings I-515/5 series, bias of wall panels, shear rigidity, direct-shear, finite-element method.

Введение

Объектом исследования является керамзитобетонная стеновая панель (рисунок 1) размером 3185×2680 мм, толщиной 300 мм, с оконным проемом размером 2135×1530 мм, которая использовалась при строительстве домов серии I-515/5.

Серия I-515/5 – это пятиэтажные многосекционные панельные дома, разработанные МНИИТЭП в 1950-х годах (рисунок 2). Домами данной серии массово застраивались города России в период с 1957 г. по 1973 г.

Также дома этой серии включены в программу реновации жилого фонда г. Москвы.

В настоящее время многие из построенных домов рассматриваемой серии имеют ряд характерных повреждений и дефектов несущих конструкций, одними из которых являются крены и перекосы стеновых панелей в своей плоскости, вызванные неравномерными осадками фундамента и просадкой грунтов [1-9, 20] (рисунок 3).

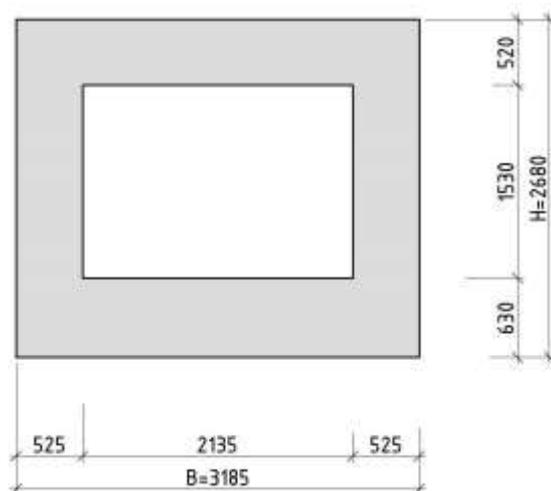


Рисунок 1 - Наружная керамзитобетонная панель с проемом (размеры в мм)



Рисунок 2 - Фотографии дома серии I-515/5



Рисунок 3 - Трещины в наружных стеновых панелях в следствие их перекоса

При оценке технического состояния жилого дома, имеющего такие дефекты, требуется определять сдвиговую жесткость панели при перекосе.

Зачастую, величина сдвиговой жесткости, определенная согласно нормам проектирования, оказывается завышенной, что приводит к недостоверной оценке технического состояния панели.

В связи с этим, в статье приводится выполненный авторами численный анализ методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния панели при перекосе, затем полученные результаты были сравнены с результатами аналитического расчета по нормам [17, 19, 20].

Модели и методы

В расчетах модуль упругости керамзитобетона марки 75 принимался равным $E = 71700 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$. Граничные условия задавались в перемещениях. Перемещения были заданы в углах панели таким образом, чтобы одна из диагоналей укорачивалась, а другая удлинялась. Величины удлинений и укорочений принимаются равными, что соответствует схеме работы панели при чистом сдвиге. В итоге, составляющая диагонального перемещения по направлению оси x равнялась $0,1339 \text{ мм}$, а по оси z – $0,1127 \text{ мм}$, таким образом, общее диагональное удлинение (укорочение) составило $0,350 \text{ мм}$ (рисунок 4), что отвечает результатам натурного обследования рассматриваемой панели.

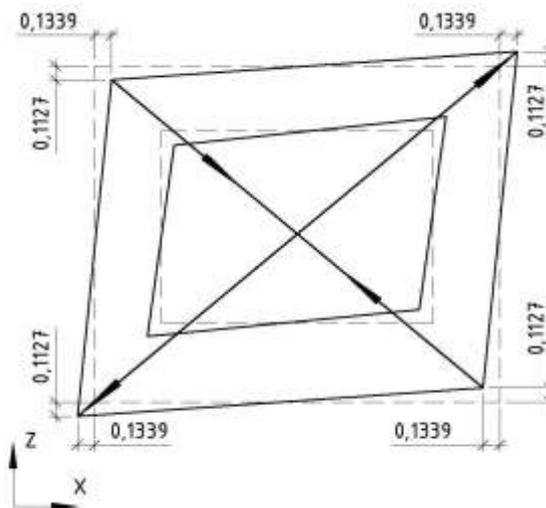


Рисунок 4 - Наружная керамзитобетонная панель с проемом при перекосе (размеры в мм)

Для решения поставленной задачи использовался программный комплекс ЛИРА-САПР 2017 [10-15]. Рассматривалась плоское напряженное состояние панели в нелинейной постановке, для чего использовался соответствующий тип КЭ – «балка-стенка». Шаг сетки КЭ в среднем составлял 25 мм . Для более точной оценки напряженного состояния шаг сетки сгущался до величины $1/1000$ пролета. Расчет производился с учетом нелинейности и ползучести материала согласно указаниям норм [16-19].

Результаты исследования и их анализ

В результате проведенного анализа получены поля нормальных и касательных напряжений в панели.

При заданной величине перекоса поля напряжений σ_x , σ_y и τ_{xz} оказались симметричными (рисунок 5, 6, 7). В углах оконного проема наблюдается концентрация напряжений, где максимальные значения нормальных напряжений достигают величин $\sigma_x = 2,45 \text{ кгс/см}^2$ и $\sigma_z = 2,50 \text{ кгс/см}^2$ соответственно. Касательные напряжения (рисунок 7) также концентрируются около углов проема и составляют $\tau_{xz} = 0,84 \text{ кгс/см}^2$.

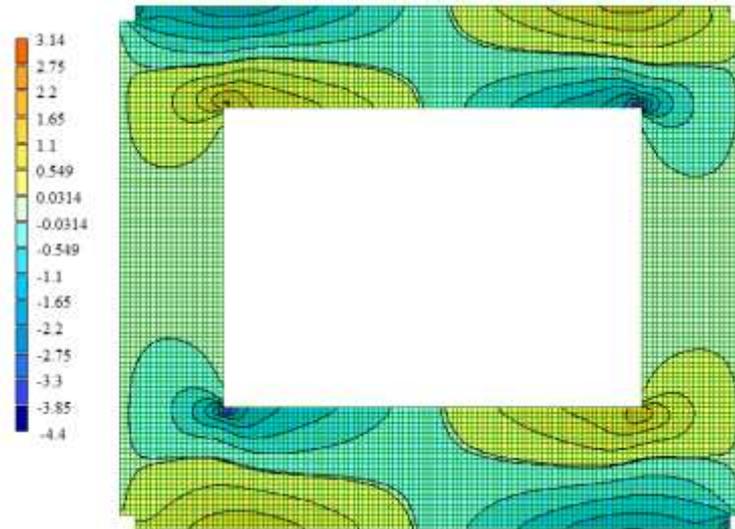


Рисунок 5 - Поля нормальных напряжений σ_x [кгс/см²]

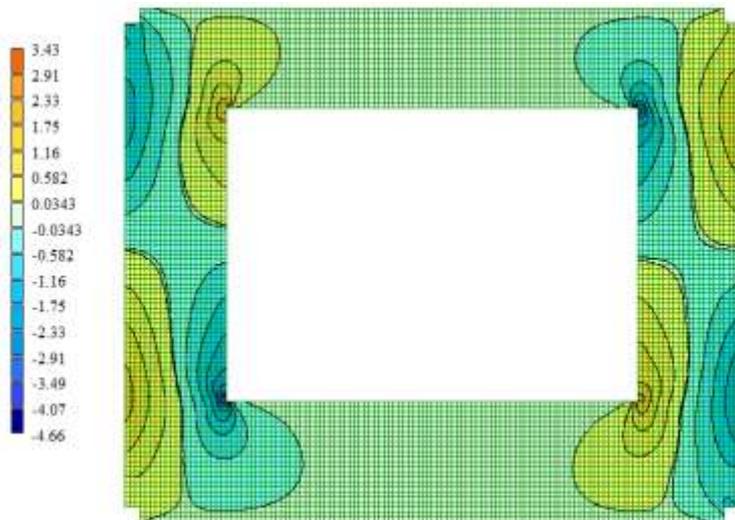


Рисунок 6 - Поля нормальных напряжений σ_z [кгс/см²]

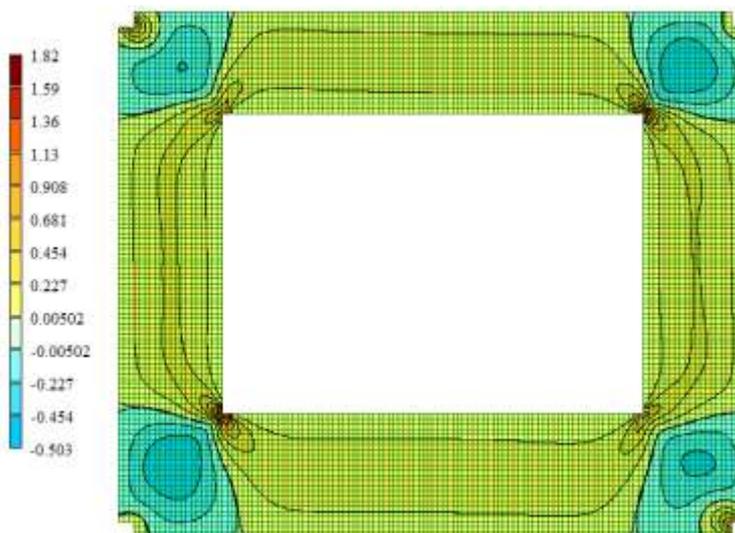


Рисунок 7 - Поля касательных напряжений τ_{xz} [кгс/см²]

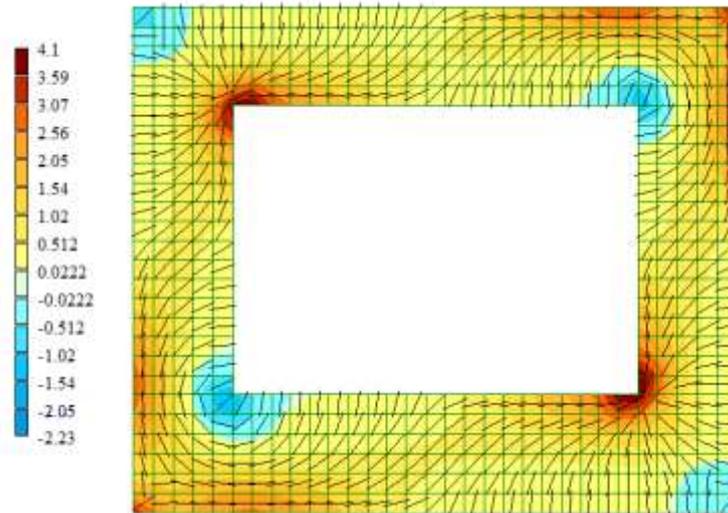


Рисунок 8 - Поля главных растягивающих напряжений σ_1 [кгс/см²]

На рисунке 8 приведены поля главных растягивающих напряжений σ_1 и направление площадок, на которых они действуют. Ориентация этих площадок совпадает с направлением трещин в наружных панелях.

Для оценки сдвиговой жесткости панели вычислим горизонтальное сдвигающее усилие по формуле:

$$T = \tau \delta \Delta x = 0,84 \cdot 30 \cdot 7,62 = 192,0 \text{ кгс,}$$

где δ – толщина стеновой панели, Δx – размер сетки КЭ на рассматриваемом участке. Сдвиговая жесткость стеновой панели при перекосе определяется уравнением

$$\eta = GF = \frac{T}{\gamma} = \frac{192,0}{1,710 \cdot 10^{-4}} = 1,12 \cdot 10^6 \text{ кгс,}$$

где γ – заданный угол перекоса.

$$\gamma \approx \tan \gamma = \frac{\Delta x}{0,5H} + \frac{\Delta y}{0,5B} = \frac{0,134}{0,5 \cdot 2680} + \frac{0,113}{0,5 \cdot 3185} = 1,710 \cdot 10^{-4},$$

где B и H – ширина и высота стеновой панели.

Далее, мы приводим результаты аналитического расчета сдвиговой жесткости рассматриваемой панели в соответствии с конструктивной схемой (рисунок 9) и указаниями [18, 19].

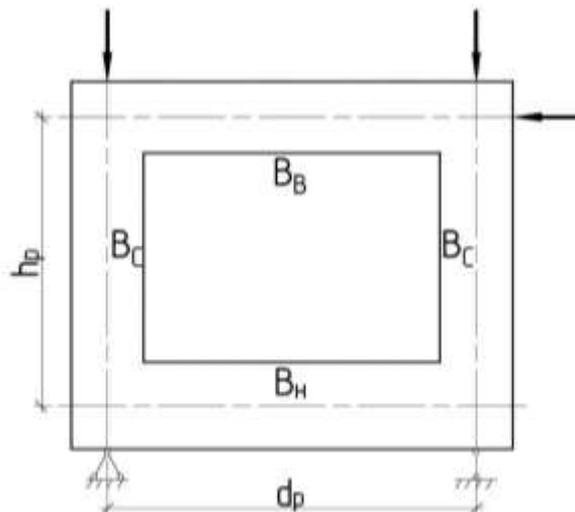


Рисунок 9 - Конструктивная схема панели

Так, сдвиговая жесткость панели равна

$$\eta = \frac{12}{h_p n} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ кгс.}$$

В приведенной выше формуле:

$$n = i_B m^2 + i_H (1-m)^2 + 2i_C (1-3m+3m^2) = 35,67 \cdot 10^{-9};$$

$$m = \frac{3i_C + i_H}{6i_C + i_H + i_B} = 0,477;$$

$$i_B = \frac{d_p}{B_B} = 57,20 \cdot 10^{-9}; \quad i_H = \frac{d_p}{B_H} = 47,08 \cdot 10^{-9}; \quad i_C = \frac{d_p}{B_C} = 19,44 \cdot 10^{-9};$$

$$B_B = EJ_B = 4,65 \cdot 10^9 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2; \quad B_H = EJ_H = 5,65 \cdot 10^9 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2;$$

$$B_C = EJ_C = 13,68 \cdot 10^9 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2;$$

где B_B, B_H, B_C – изгибные жесткости верхней, нижней перемычек и простенков панели, i_B, i_H, i_C – погонные податливости верхней, нижней перемычек и простенков соответственно, h_p – расстояние между осями надоконной и подоконной перемычек, d_p – расстояние между осями простенков.

В соответствии с [16] в расчетах принимался модуль деформации бетона при продолжительном действии нагрузки $E = E_{b,\tau} = 39735 \text{ кгс/см}^2$ с коэффициентом ползучести для легких бетонов $\varphi_{b,cr} = 0,812$.

Выводы

Проведенный анализ напряженного состояния стеновой панели с проемом при перекосе численными и аналитическими методами позволил сделать следующие выводы:

1. Наиболее напряженными участками панелей с проемами при их перекосе являются зоны, примыкающие к углам проемов.
2. Горизонтальная сдвиговая жесткость панели, определенная согласно нормам, оказалась на 40% выше жесткости панели, полученной при анализе напряженного состояния панели методом конечных элементов.
3. При оценке технического состояния стеновых панелей с проемами жилых домов серии I-515/5 следует учитывать возможное снижение фактической жесткости панели при перекосе до 40% против расчетной, полученной согласно действующих норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарина А.А., Манасян В.С.. Исследование напряженного состояния наружной стеновой панели с проемом при перекосе, "Строительная механика и расчет сооружений" №5, 1969, г. Москва.
2. Гагарина А.А., Манасян В.С., Борисов М.В. Работа наружных стеновых панелей на вертикальные нагрузки. М.: Стройиздат, 1971.
3. Alexander C.M., Heidberecht, A.C., Tso, W.K. Cyclic Load Test on Shear Wall Panels. *Proc. V WCEE*. 1973.
4. Герасимов Е.П. К определению нормативной надежности по деформациям железобетонных изгибаемых элементов. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. №3. С. 77-81.
5. Грановский А.В., Доттуев А.И., Смирнов В.А. Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности контактно-платформенных стыков крупнопанельных зданий. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 12. С. 65-70.
6. Кошелева Ж.В. Расчет надежности железобетонных конструкций в стадии эксплуатации. Сборник статей XVIII Международной научно-технической конференции; под редакцией Н.Н. Ласькова. Пенза, 2018. С. 64-68.
7. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Хаюгин Ю.Г. Инновационные системы каркасно-панельного домостроения. Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 3–5.

8. Galishnikova V.V., Tamrazyan A.G., Dekhtere, D.S. Assessment of Ponderability of Parameters of Platform Joint on Reliability by Method of Linearization. *J.Mech.Cont. & Math. Sci.*, Special Issue -1. 2019. Pp. 271-281.
9. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КПД. Жилищное строительство. 2015. No 2. С. 3–7.
10. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа ДМК Пресс. 2011. Москва. 709 с.
11. Городецкий А.С., Назаров Ю.П., Жук Ю.Н. Повышение качества расчетов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА/Информационный вестник ГУ МО Мособлгосэкспертизы. 2005, №1(8). С. 42-49.
12. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. Программный комплекс Лира-Сапр 2013. Учебное пособие. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание. 2013. Москва. 376 стр. URL: <https://www.liraland.ru/files/lira2013/format-pdf/>
13. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций. Учебное пособие. Изд. 2-е. Изд-во Ассоц. строит. вузов. 2004, Москва. 247 с.
14. Agarov V.P. Nonlinear static and buckling analysis of thin plates and shells by finite element method. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2007. No. 3(2). Pp. 13-19.
15. Агапов В.П., Бардышева Ю.А., Минаков С.А. Учет физической и геометрической нелинейности в расчете железобетонных плит и оболочек переменной толщины методом конечных элементов. Строительная механика и расчет сооружений. 2010. №5. С. 62-66.
16. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Изд. официальное: Минрегион России. Москва. 2018. 155 с.
17. Пособие по расчету крупнопанельных зданий. Выпуск 1. Характеристики жесткости стен, элементов и соединений крупнопанельных зданий. Стройиздат, г. Москва, 1974.
18. ВСН 32-77. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий. М.: Стройиздат, 1978.
19. СП 335.1325800.2017 Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования. Изд. официальное: Минрегион России. Москва. 2017.
20. Добромыслов А.Н. Дефекты в конструкциях при строительстве. Издательство АСВ. Москва. 2009. 192 с.

REFERENCES

1. Gagarina A.A., Manasyan V.S. Issledovanie napryazhennogo sostoyanya naryzhnoy stenovoy paneli s proemom pri zadannom perekose [Investigation of the stress state of an external wall panel with an opening in case given bias]. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 1969. No. 5. (rus)
2. Gagarina A.A., Manasyan V.S., Borisov M.V. Rabota naryzhnyh stenovyh panelei na vertikalnye nagryzki [Operation of external wall panels for vertical loads]. М.: Stroyizdat, 1971. 111 p. (rus)
3. Alexander C.M., Heidbrecht A.C., Tso W.K. Cyclic Load Test on Shear Wall Panels. *Proc. V WCEE*. 1973.
4. Gerasimov E.P. To the definition of normative reliability by deformations reinforced concrete bending elements. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2018. No. 3. Pp. 77-81. (rus)
5. Granovsky A.V., Dottuev A.I., Smirnov V.A. Experimental and theoretical research in strength and deformability of contact-platform joints of large-panel buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2016. No. 12. Pp 65-70. (rus)
6. Kosheleva Zh.V. Determination the reliability of reinforced concrete structures during exploitation. Collection of articles of the XVIII International Scientific and Technical Conference. Penza, 2018. Pp. 64-68. (rus)
7. Nikolaev S.V., Shrejber, A.K., Hautin, U.G. Innovative systems of frame-panel housing construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 5. Pp. 3-5. (rus)
8. Galishnikova V.V., Tamrazyan A.G., Dekhtere D.S. Assessment of Ponderability of Parameters of Platform Joint on Reliability by Method of Linearization. *J.Mech.Cont. & Math. Sci.*, Special Issue -1. 2019. Pp. 271-281.
9. Nikolaev S.V., Shrejber A.K., Etenko V.P. Panel and frame house building is a new stage of large-panel construction development. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 2. Pp. 3-7. (rus)
10. Perelmutter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza [Calculation models of structures and the possibility of their analysis]. Moscow: DMK Press, 2011. 709 p.
11. Gorodeckij A.S., Nazarov, YU.P., ZHuk, YU.N. Improving the quality of calculations of building structures based on the joint use of STARK ES and LIRA software systems. *Information bulletin GU MO Mособlgosexpertiza*. 2005. No. 1(8). Pp. 42-49. (rus)

12. Gorodetskij D.A., Barabash M.S., Vodopyanov R.Y., Titok, V.P., Artamonova, A.E. The program complex LIRA-SAPR 2013. Textbook. Edited Gorodetskij A.S.. Electronic edition, Moscow. URL: <https://www.liraland.ru/files/lira2013/format-pdf/>
13. Agapov V.P. Finite Element Method in Static, Dynamics and Stability of Structures. Textbook. 2nd, Edition. Publishing House of Educational Civil Engineering Institutions. Moscow, 2004. 376 p.
14. Agapov V.P. Nonlinear static and buckling analysis of thin plates and shells by finite element method. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2007. No. 3(2). Pp. 13-19.
15. Agapov, V.P., Bardysheva, Y.A., Minakov, S.A. Accounting for physical and geometric nonlinearity in the calculation of reinforced concrete slabs and shells of variable thickness by the finite element method. *Construction mechanics and calculation of structures*. 2010. No. 5. Pp. 62-66.
16. Code of Practice 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Design requirements. The Research Center of Construction. 2018, Moscow. 155 p.
17. Posobie po raschetu krupnopanel'nyh zdaniy. Vypusk 1. Harakteristiki zhestkosti sten, elementov i soedinenij krupnopanel'nyh zdaniy [Guide to calculating large-panel buildings. Issue 1. Characteristics of the stiffness of walls, elements and joints of large-panel buildings]. Strojizdat. Moscow, 1974.
18. VSN 32-77. Instrukciya po proektirovaniyu konstrukcij panel'nyh zhilyh zdaniy [Instructions for the design of structures for panel residential buildings]. Strojizdat. Moscow, 1978
19. Code of Practice 335.1325800.2017. Large-panel construction system. Design rules. The Research Center of Construction. 2017, Moscow. 155 p.
20. Dobromyslov A.N. Defekty v konstrukciyah pri stroitel'stve. [Defects in structures during construction]. Izdatel'stvo ASV. Moscow. 2009. 192 p. (rus)

Информация об авторах:

Маркович Алексей Семенович

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент департамента строительства.
E-mail: markovich-as@rudn.ru

Абу Махади Мохаммед Ибрагим

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент департамента строительства.
E-mail: abu-makhadi-mi@rudn.ru

Милосердова Дарья Александровна

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
аспирантка, ассистент департамента строительства.
E-mail: miloserdova-da@rudn.ru

Information about authors:

Markovich Aleksey S.

RUDN University, Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, associated professor, associated professor of the department of construction.
E-mail: markovich-as@rudn.ru

Abu Mahadi Mohammed I.

RUDN University, Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, associated professor, associated professor of the department of construction.
E-mail: abu-makhadi-mi@rudn.ru

Miloserdova Darya Al.

RUDN University, Moscow, Russia,
PhD student, assistant of the department of construction.
E-mail: miloserdova-da@rudn.ru