

Н.В. ФЕДОРОВА^{1,2}, С.Ю. САВИН^{1,2}, В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2},
В.С. МОСКОВЦЕВА², М.А. АМЕЛИНА³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и
строительных наук, г. Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

КОНСТРУКТИВНАЯ СИСТЕМА БЫСТРОВОВОЗВОДИМОГО ЗДАНИЯ ИЗ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПАНЕЛЬНО-РАМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Приведено новое конструктивное решение сборно-монолитного каркаса для быстровозводимых жилых и гражданских зданий разной этажности из промышленных железобетонных элементов заводского изготовления. Сборные конструкции каркаса включают в себя «L»-образные и перевернутые «П»-образные сборные элементы, устанавливаемые в продольном и поперечном направлениях и образующие стоечно-балочный каркас, многоярусные плиты и обвязочные перфорированные ригели наружного контура, на которые опираются ограждающие не несущие стеновые конструкции в пределах каждого этажа. Расчетная модель сборно-монолитного каркаса здания построена с использованием различной степени дискретизации на разных этапах расчета. Это позволило получить как общую картину деформирования конструктивной системы в предельных и запредельных состояниях, вызванных особыми и аварийными воздействиями, так и детальную картину напряженного состояния в бетоне и арматуре отдельных конструктивных элементов до и после образования трещин. Приведены результаты сопоставительного анализа эффективности применения предложенной конструктивной системы в массовом строительстве по сравнению с применяемыми конструкциями крупнопанельных зданий, показано, что применение предложенных конструкций из панельно-рамных элементов позволяет значительно снизить материалоемкость, стоимость и транспортные расходы железобетонного каркаса здания до 30%, при обеспечении его механической безопасности.

Ключевые слова: конструктивная система, быстрая возводимость, железобетон, промышленное домостроение, панельно-рамные элементы, расчетный анализ, конструктивная безопасность

N.V. FEDOROVA^{1,2}, S.YU. SAVIN^{1,2}, V.I. KOLCHUNOV^{1,2},
V.S. MOSKOVTSOVA², M.A. AMELINA³

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and
Construction Sciences, Moscow, Russia

³South-West State University, Kursk, Russia

BUILDING STRUCTURAL SYSTEM MADE OF INDUSTRIAL FRAME- PANEL ELEMENTS

Abstract. The paper presents a new structural solution of the precast-monolithic frame for prefabricated residential and civil buildings of various storeys manufactured from prefabricated industrial reinforced concrete elements. The precast frame structures include L-shaped and inverted U-shaped precast elements, installed in the longitudinal and transverse directions and forming a frame, hollow-core slabs and bracing perforated beams of the outer contour, on which fencing non-bearing wall structures are supported within each storey. The computational model of the precast-monolithic building frame was developed using different degrees of discretization at different stages of the analysis. This allowed to obtain both a general picture of structural system deformation in the limiting and over limit states caused by special and emergency actions, and a detailed picture of the stressed state in concrete and reinforcement of structural elements before and after cracking.

© Федорова Н.В., Савин С.Ю., Колчунов В.И., Москвцева В.С., Амелина М.А., 2023

The paper provides the results of the comparative analysis of the effectiveness of application of the proposed structural system in the mass construction as compared with the applied constructions of large-panel buildings. It has been shown that the application of the proposed structures of panel-frame elements allows considerably reduce the material capacity, cost and transportation expenses of the reinforced concrete frame by up to 30 %, ensuring the mechanical safety of the building.

Keywords: structural system, fast construction, reinforced concrete, industrial housing construction, frame-panel elements, computational analysis, structural safety

Введение

Создание безопасных быстровозводимых конструктивных систем каркасов жилых и общественных зданий нового поколения для массового строительства в настоящее время приобретает особую актуальность в связи с необходимостью увеличения объемов и снижением стоимости строительства, особенно в связи с необходимостью ускоренного восстановления и возведения новых объектов на новых территориях Российской Федерации. Традиционно применяемые в массовом строительстве конструкции зданий из крупных панелей имеют ряд известных недостатков. Среди них, с позиций обозначенных целей, можно отметить ограниченные возможности архитектурных и объемно-планировочных решений, жесткая планировка помещений с ограничениями их размеров, низкие теплотехнические качества внешнего контура здания, значительная масса панелей, стен и плит перекрытий, высокие транспортные затраты [1-3], незащищенность проектируемых каркасов из крупнопанельных конструкций при особых воздействиях [4-6] и ряд других. В связи с этим, в рассматриваемой статье приведены результаты исследований, направленных на разработку железобетонных быстровозводимых сборно-монолитных конструктивных систем из индустриальных конструктивных элементов заводского изготовления для жилых и общественных зданий массового строительства. В основе создания таких конструктивных систем приняты принципы механической безопасности, экономичности, индустриального производства, быстровозводимости и широкие возможности объемно-планировочных решений. Каркас здания выполнен из сборных панельно-рамных «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов и многопустотных плит массового производства. Особое внимание при разработке предлагаемого решения уделено расчету и конструированию новых сборных конструкций элементов каркаса при особых и аварийных воздействиях с целью повышения живучести таких зданий. При этом был учтен опыт экспериментальных исследований конструктивных систем каркасов зданий на особые воздействия [6-13]

Конструктивное решение

Предлагаемый вариант железобетонного сборно-монолитного каркаса здания (рисунок 1) возводится из двух типов сборных конструктивных панельно-рамных элементов «L»-образных и перевернутых «П»-образных (рисунок 2). Каркас включает в себя рамные элементы, сопрягаемые с ними перевернутые «П»-образные элементы, многопустотные плиты, устанавливаемые на полку ригелей этих элементов. Стойки рамных элементов выполнены с проемами на высоту, равную высоте многопустотных плит, а боковые поверхности и торцы плит, опирающиеся на сборную часть ригелей панельно-рамных элементов (рисунок 3 а), имеют полости, образующие после обетонирования шпонки.

В процессе монтажа каркаса в верхней зоне ригелей рам над выпусками поперечной арматуры устанавливается продольная рабочая арматура, а армированное пространство между торцами плит перекрытия и в проемах стоек замоноличивается бетоном, образуя тем самым во взаимно ортогональных направлениях жесткую рамную систему. Соединение сборных «L»-образных и перевернутых «П»-образных конструктивных элементов между собой по высоте выполняется с помощью так называемого штепсельного стыка [14, 15] (рисунок 3 б). Соединение этих элементов по горизонтали выполняется с помощью

закладных деталей путем опирания ригеля «L»-образного элемента на выступающую консоль «П»-образного элемента. Кроме того, монолитная часть ригеля проходит через проем в колонне, обеспечивая тем самым после замоноличивания жесткое соединение стойки рамного элемента с ригелем.

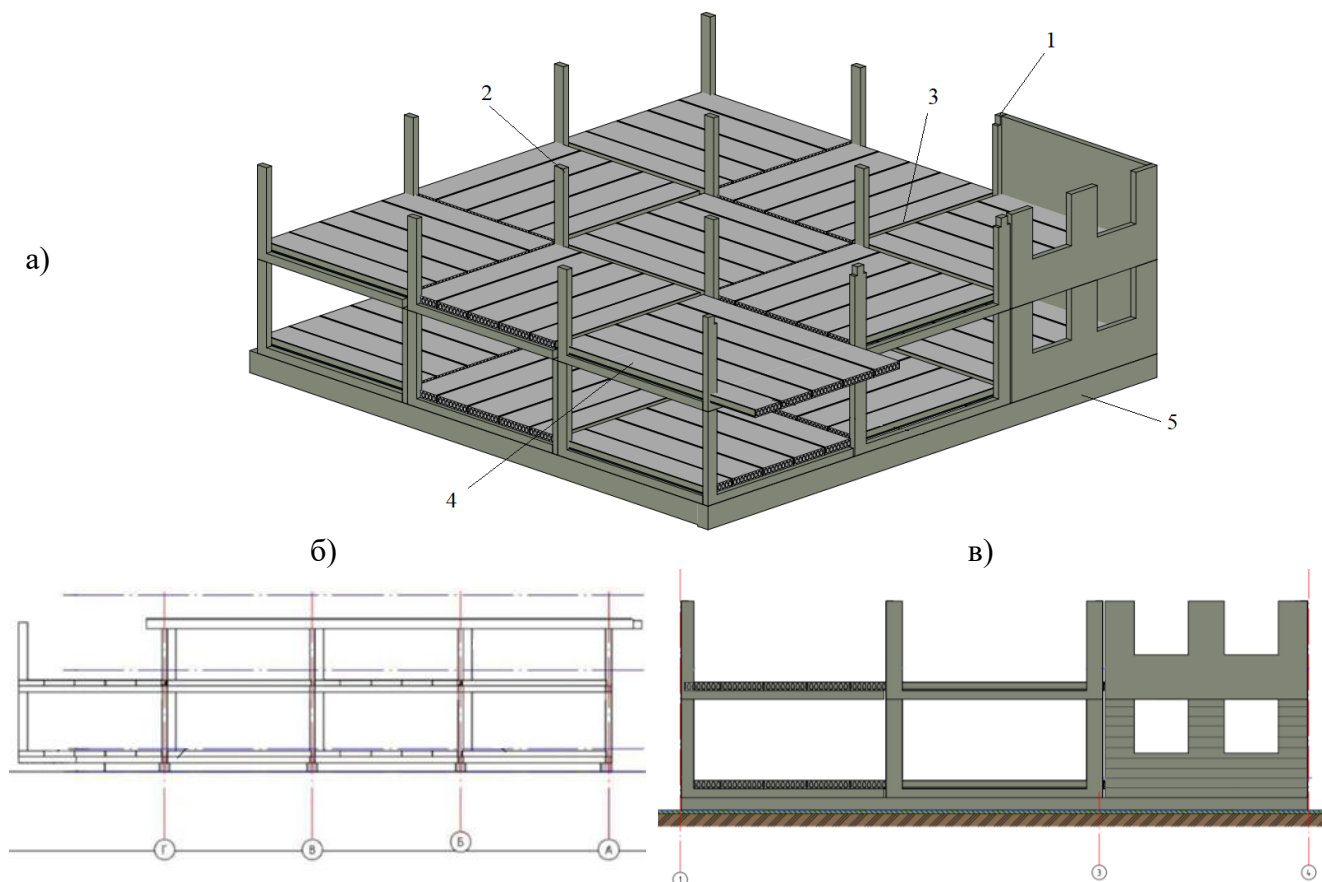
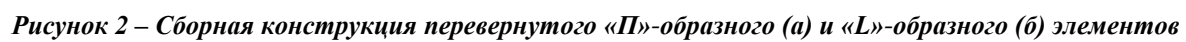


Рисунок 1 – Конструктивная система зданий из «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов: общий вид каркаса (а), продольный разрез (б), фрагмент фасада (в): 1 - перевернутый «П»-образный элемент; 2 - «L»-образный элемент; 3 - ригель; 4 - многоспустотная плита; 5 – цокольный этаж

Предлагаемое техническое решение позволяет в сборно-монолитном железобетонном каркасе здания обеспечить восприятие изменяющихся в нем силовых потоков при особом воздействии, вызванном внезапным удалением одной из несущих колонн [16-18], и, как следствие, обеспечить повышение сопротивляемости каркаса прогрессирующему обрушению. С этой же целью стойки рам каркаса здания, смежные по высоте, дополнительно соединяются специальными накладками (рисунок 3 в). Это обеспечивает восприятие растягивающих усилий «цепочкой» колонн по высоте здания в случае повреждения или удаления колонны первого этажа при особом воздействии.

Анализируя представленное конструктивное решение можно отметить следующее. В традиционном сборном или сборно-монолитном стоечно-балочном каркасе из сборных элементов одна ячейка каркаса, например 6х4,8 м, монтируется из четырех колонн, четырех ригелей. Такая же ячейка сборно-монолитного каркаса из «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов имеет в два раза меньше монтажных элементов и, соответственно, меньшее число стыковых соединений. В отличие же от зданий из крупнопанельных элементов [2], имеющих жесткую архитектурно-планировочную структуру, предлагаемое решение позволяет обеспечить различные возможности объемно-планировочных решений как для жилых зданий различной этажности с широким разнообразием форм в плане, так и для общественных зданий различного назначения (рисунок 4).



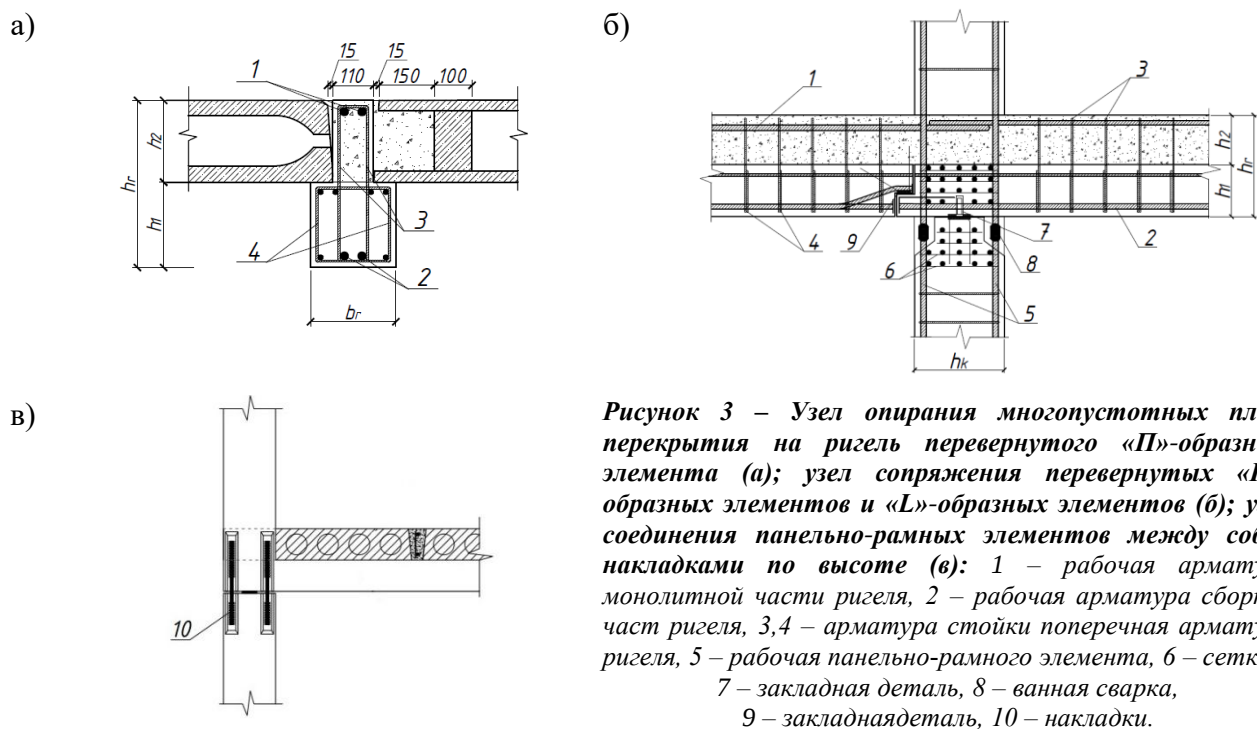


Рисунок 4 – Вариант жилого дома из индустриальных панельно-рамных элементов: общий вид (а); фрагмент плана (б)

Применение в предлагаемом каркасе только двух типов «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов, изготавливаемых на предприятиях стройиндустрии с использованием несложного отечественного оборудования, а также применение дисков перекрытий из многопустотных плит, массово выпускаемых на предприятиях различных регионов страны, а кроме того транспортировка сборных «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов незначительной массы, из которых собирается каркас здания, значительно сокращает грузоподъемность монтажных механизмов и транспортные расходы. Это делает возможным строительство таких зданий в городах и населенных пунктах, удаленных от баз стройиндустрии, в том числе и на территориях новых регионов РФ.

Расчетный анализ

Расчет предлагаемого каркаса жилого здания, собираемого из рамно-панельных «L»-образных и перевернутых «П»-образных элементов выполнен по двум вариантам расчетных схем: первичной – на действие эксплуатационной нагрузки; вторичной – на особое воздействие в виде гипотетического удаления одной из несущих колонн первого этажа. При построении расчетных схем использована методика двухуровневого моделирования на основе подконструкций [6, 17]. Расчетная схема первого уровня, построена по принятой конструктивной схеме для всего каркаса здания (рисунок 5). Расчетные схемы второго и третьего уровней, с целью детализации напряженного состояния в конструктивных элементах и определения параметров предельных состояний второй группы, строились для фрагментов или отдельных конструктивных элементов каркаса здания.

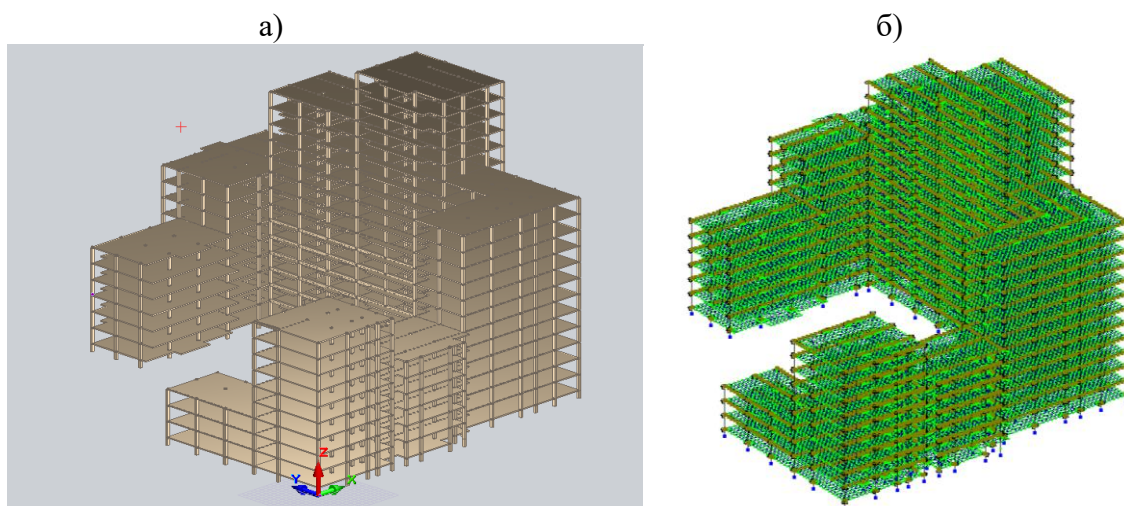


Рисунок 5 – Конструктивная (а) и расчетная (б) схема каркаса здания первого уровня

Для рассматриваемого конструктивного решения несущей системы жилого здания из сборных железобетонных панельно-рамных элементов выполнены расчеты девятиэтажной секции на основное сочетание нагрузок для подбора требуемого армирования и проверки прочности сечений, а также на особое сочетание по СП 385.132580.2018 (Изм. №1, 2, 3), соответствующее расчетной ситуации при проверке устойчивости к прогрессирующему обрушению. При этом рассмотрены три варианта начального локального разрушения: отказ угловой стойки рамного элемента (1), стойки крайнего ряда (2) и стойки среднего ряда (3).

Конструкции сборных элементов рам с учетом принятых размеров поперечных сечений моделировались стержневыми конечными элементами. Для сборных многопустотных плит использовались конечные элементы оболочки с учетом конструктивной ортотропии [19]. Опираение плит на ригели панелей-рам и работа межплитного шва моделировались объединением линейных перемещений (рисунок 6).

Расчеты производились в два этапа. На первом этапе выполнялся расчет в линейной постановке для принятых конструктивных и объемно-планировочных решений с учетом

следующих параметров материалов конструирования: бетон В60 ($R_{bn} = 43$ МПа, $\varepsilon_{b2} = 0.0035$, $R_{bt1} = 2,75$ МПа, $\varepsilon_{bt2} = 0.00015$, $E_b = 39500$ МПа), продольная арматура А500 ($R_{sn} = 500$ МПа, $\varepsilon_{s2} = 0.033$, $E_s = 200000$ МПа), поперечная арматура А240 ($R_{sw} = 170$ МПа). На основании результатов расчета было подобрано симметричное армирование стоек рам четырьмя стержнями $d = 28$ мм. Несимметричное армирование ригелей включало 4 стержня $d = 25$ мм в два ряда у верхней грани ригелей и 2 стержня $d = 25$ мм у нижней грани. На втором – выполнялась проверка устойчивости к прогрессирующему обрушению (особое предельное состояние) в физически, конструктивно и геометрически нелинейной постановке. Рассматривался сценарий внезапного отказа несущего элемента для каждой из рассматриваемых аварийных расчетных ситуаций. При этом в соответствии с экспериментально полученными значениями в исследованиях Хосе Адама и др. Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов был использован квазистатический метод с учетом различных значений коэффициента динамических догрузений при упругопластическом деформировании железобетонных элементов с трещинами в пределах $\theta=1,25-1,6$. [7, 20].

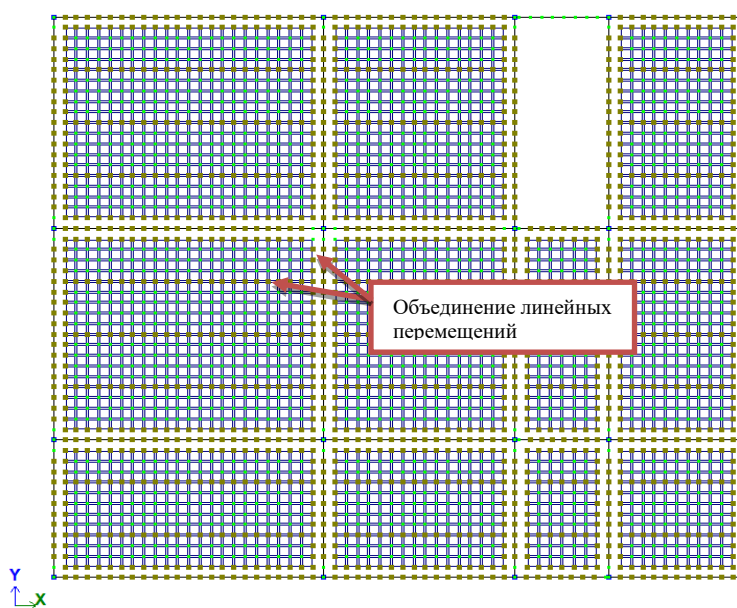


Рисунок 6 – Фрагмент конечно-элементной модели

В связи с тем, что гибкость стоек панелей-рам составляла $\lambda_i \approx 10$, особое внимание уделялось оценке устойчивости их деформированного состояния в результате произошедшей структурной перестройки для каждого из вариантов аварийной расчетной ситуации. В качестве критерия потери устойчивости было принято условие достижения нулевой отпорности $\frac{dP}{df} = 0$, где dP – приращение продольной силы, df – приращение смещения сечения элемента.

Деформированное состояние фрагмента несущей системы здания в результате внезапной структурной перестройки по трем вариантам аварийной расчетной ситуации показано на рисунке 7. По результатам расчета критерий предельных деформаций согласно СП 385.132580.2018 (Изм. №1, 2, 3) не был превышен ни для одной из рассмотренных аварийных расчетных ситуаций. При этом наибольшие относительные деформации в элементах несущей системы были получены при отказе стойки среднего ряда, наименьшие – при отказе угловой стойки. Это обусловлено особенностями изменения расчетных пролетов и грузовых площадей при структурной перестройке несущей системы.

На рисунках 8 а, б приведены графики зависимости перемещений верхних сечений стоек первого этажа вдоль осей X и Y от величины действующей в них продольной силы.

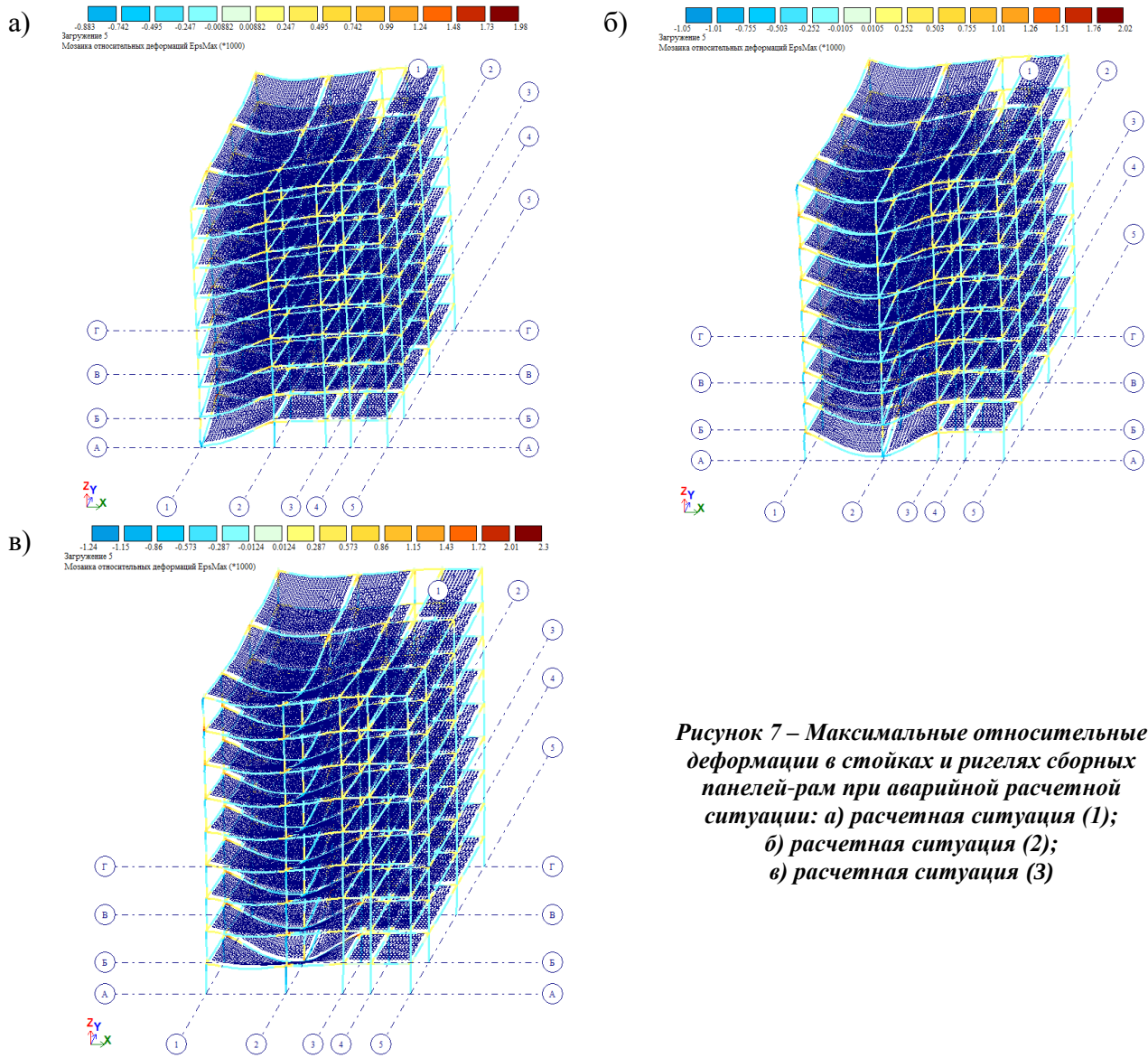


Рисунок 7 – Максимальные относительные деформации в стойках и ригелях сборных панелей-рам при аварийной расчетной ситуации: а) расчетная ситуация (1); б) расчетная ситуация (2); в) расчетная ситуация (3)

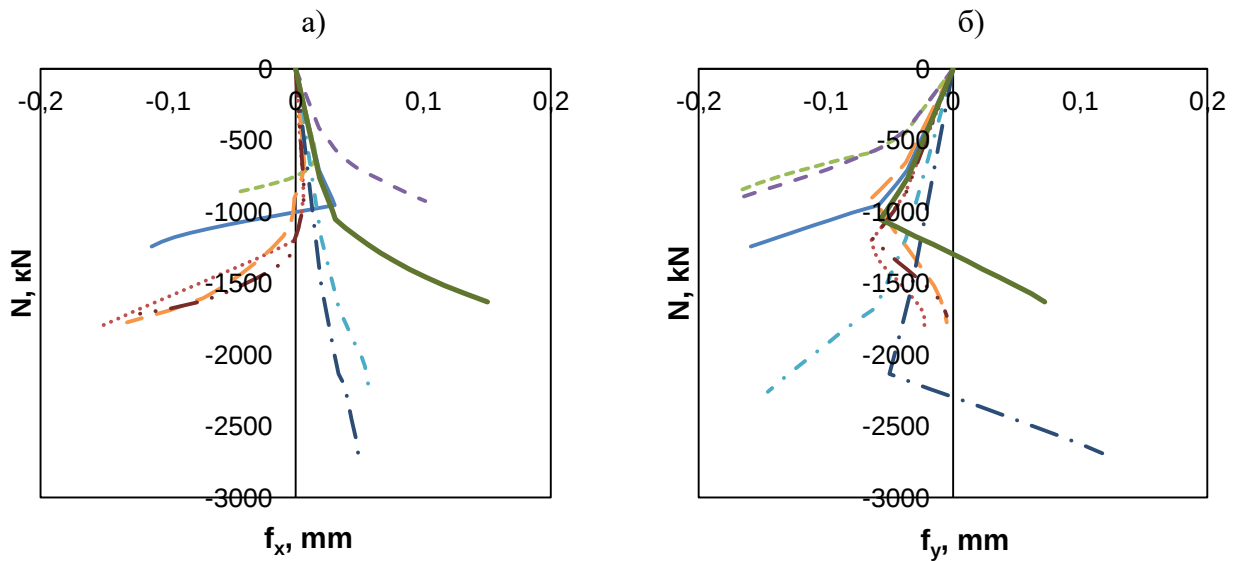


Рисунок 8 – Графики зависимости поперечных смещений верхних сечений стоек первого этажа от величины действующей в них продольной силы: а) вдоль X, б) вдоль Y

— A2(1) B1(1) - - - A1(2) - - - A3(2) - - - B2(1) - - - A2(3) - - - B2(3) - - - B1(3) — B3(3)

Анализ этих графиков позволяет сделать следующие выводы о результатах расчета:

- для принятых аварийных расчетных ситуаций критерий нулевой отпорности не был достигнут ни в одном из рассмотренных несущих элементов, что согласуется с результатами оценки особого предельного состояния по деформационным критериям;
- наименьшей отпорностью при структурной перестройке несущей системы обладали угловые стойки панелей-рам, а также стойки по периметру несущей системы при отказе стойки среднего ряда. Это обусловлено действием мембранных усилий в диске перекрытия в результате структурной перестройки несущей системы и отсутствием дополнительных раскрепляющих элементов, которые могли бы воспринимать эти усилия.

Анализ эффективности применения конструктивной системы

Для оценки эффективности применения предложенной конструктивной системы был определен расход материалов и стоимость каркаса здания с применением быстровозводимых конструкций индустриального изготовления для двух вариантов 17-ти этажного здания: здание из крупнопанельных конструкций (вариант 1) и здание из индустриальных панельно-рамных элементов. При сопоставлении фундамент зданий в обоих вариантах принят в виде монолитной железобетонной плиты высотой 600 и 500 мм, соответственно. В расчет были включены расход железобетона, легкого железобетона для конструкций наружного контура и легкого бетона для межкомнатных и межквартирных перегородок, применяемых для второго варианта. Анализ полученных результатов показал, что расход конструкционного железобетона в предлагаемом варианте каркаса в среднем снижен на 0,070 на $\text{м}^3/\text{м}^2$ или на 29 %, масса каркаса здания и соответственно, транспортные расходы снижаются до 30%. Общая стоимость каркаса здания из панельно-рамных элементов (вариант 2) сокращается до 23 %. При этом значительно улучшаются звукоизоляционные показатели в квартирах и теплоизоляция наружного контура здания.

Выводы

1. Предложено новое конструктивное решение сборно-монолитного каркаса для быстровозводимых жилых и гражданских зданий разной этажности из железобетонных индустриальных элементов заводского изготовления. Сборные конструкции каркаса включают в себя «L»-образные и перевернутые «П»-образные несущие элементы в виде рам, устанавливаемые в продольном и поперечном направлениях, многопустотные плиты и обвязочные ригели наружного контура, на которые оперты ограждающие не несущие стеновые конструкции внешнего контура здания в пределах каждого этажа. После монтажа названных конструктивных элементов и замоноличивания верхней зоны ригелей рам совместно со стойками образуется жесткий сборно-монолитный каркас здания.
2. Проведенный расчетный анализ конструктивной системы на основное и особое сочетание нагрузок подтвердил, что предложенное техническое решение сборно-монолитного каркаса здания обеспечивает требуемую нормативными документами механическую безопасность и защиту от прогрессирующего обрушения при особых расчетных ситуациях.
3. Конструктивная система сборно-монолитного каркаса здания позволяет обеспечить быструю возводимость, высокое качество индустриально изготавливаемых элементов, различные возможности объемно-планировочных решений как для жилых зданий разной этажности с широким разнообразием форм в плане, так и для общественных зданий различного назначения, снижение расхода материалов, транспортных затрат и общей стоимости строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 69-75.
2. Николаев С.В. Инновационная замена КПД на панельно-монолитное домостроение (ПМД) // Жилищное строительство. 2019. № 3. С. 3-10.
3. Николаев С.В. Новые подходы к развитию индустриального домостроения // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2019. № 12. С. 73-79.
4. Савин С.Ю. Устойчивость внецентренно сжатых железобетонных элементов при особых воздействиях с учетом деформаций сдвига // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 1. С. 49-58.
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. Савин С.Ю., Федорова Н.В., 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.
7. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю. Динамические эффекты в статически неопределимых физически и конструктивно нелинейных системах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С. 42-51.
8. Демьянов А.И., Алькади С.А. Статико-динамическое деформирование железобетонных элементов пространственной рамы при их сложном сопротивлении // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 11 (719). С. 20-33.
9. Parisi F., Scalvenzi M. Progressive collapse assessment of gravity-load designed European RC buildings under multi-column loss scenarios // Engineering Structures. 2020. Vol. 209. Pp.110001.
10. Zhang W.X., Wu H., Zhang J.Y., Hwang H., Jong, Yi W.J. Progressive collapse test of assembled monolithic concrete frame spatial substructures with different anchorage methods in the beam-column joint // Advances in Structural Engineering. 2020. Vol. 23. No. 9. Pp.1785-1799.
11. Zhou. Y., Hu X., Pei Y., Hwang H.J., Chen T., Yi W., Deng L. Dynamic load test on progressive collapse resistance of fully assembled precast concrete frame structures // Engineering Structures. 2020. Vol. 214. Pp. 110675.
12. 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
13. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390–407.
14. Соколов Б.С. Теоретические основы методики расчета штепсельных стыков железобетонных конструкций зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2016. № 3. С. 60-63.
15. 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.
16. Savin S, Kolchunov V, Fedorova N, Tuyen Vu N. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // Buildings. 2023. Vol. 13(4). Pp. 908. <https://doi.org/10.3390/buildings13040908>
17. Savin S.Y., Kolchunov V.I., Emelianov S.G. Modelling of resistance to destruction of multi-storey frame-connected buildings at sudden loss of bearing elements stability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Novosibirsk. 2018. Pp. 012089.
18. Feng. F.F., Hwang H.J., Yi W.J. Static and dynamic loading tests for precast concrete moment frames under progressive collapse // Engineering Structures. 2020. Vol. 213. Pp.110612.
19. Кончковский З. Плиты. Статические расчеты. М.: Стройиздат, 1984. 480 с.
20. Adam J. M., Buitrago M., Bertolesi E., Sagaseta J., Moragues J.J. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // Engineering Structures. 2020. Vol. 210. Pp. 110414. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110414>

REFERENCES

1. Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Buhtiyarova A.S. Zhilye 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]. Housing Construction. 2015. No. 5. Pp. 69-75. (rus).
2. Nikolaev S.V. Innovacionnaya zamena KPD na panel'no-monolitnoe domostroenie (PMD) [Innovative replacement of large-panel housing construction by panel-monolithichousing construction (PMHC)]. Housing Construction. 2019. No. 3. Pp. 3-10. (rus).

3. Nikolaev S.V. Novye podhody k razvitiyu industrial'nogo domostroeniya [New approaches to the development of industrial housing construction]. Construction: new technologies - new equipment. 2019. No 12. Pp. 73-79. (rus).
4. Savin S.YU. Ustojchivost' vnecentrenno szhatyh zhelezobetonnykh elementov pri osobykh vozdeystviyakh s uchetom deformatsiy sdviga [Stability of eccentrically compressed reinforced concrete elements under special impacts with account taken of shear deformations]. Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16. No. 1. Pp. 49-58. (rus).
5. Travush V.I., SHapiro G.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V., Fedorova N.V. Proektirovanie zashchity krupnopanel'nykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Design of protection of large-panel buildings against progressive collapse]. Housing Construction. 2019. No. 3. Pp. 40-46. (rus).
6. Savin S.YU., Fedorova N.V., Emel'yanov S.G. Analiz zhivuchesti sborno-monolitnykh karkasov mnogoetazhnykh zdaniy iz zhelezobetonnykh panel'no-ramnykh elementov pri avariynnykh vozdeystviyakh, vyzvannykh poterej ustojchivosti odnoj 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]. Housing Construction. 2018. No. 12. Pp. 3-7. (rus).
7. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.YU. Dinamicheskie efekty v staticheski neopredelimyykh fizicheskikh i konstruktivno nelineynykh sistemakh [Dynamic effects in statically indeterminate physically and structurally nonlinear structural systems]. Industrial and Civil engineering. 2022. No. 9. Pp. 42-51. (rus).
8. Dem'yanov A.I., Al'kadi S.A. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie zhelezobetonnykh elementov prostranstvennoy ramy pri ih slozhnom soprotivlenii [Static-dynamic deformation of reinforced concrete elements of the spatial frame at their complex resistance]. News of higher educational institutions. Construction 2018. No. 11 (719). Pp. 20-33. (rus).
9. Parisi F., Scalvenzi M. Progressive collapse assessment of gravity-load designed European RC buildings under multi-column loss scenarios // Engineering Structures. 2020. Vol. 209. Pp.110001.
10. Zhang W.X., Wu H., Zhang J.Y., Hwang H., Jong, Yi W.J. Progressive collapse test of assembled monolithic concrete frame spatial substructures with different anchorage methods in the beam-column joint. Advances in Structural Engineering. 2020. Vol. 23. No. 9. Pp. 1785-1799.
11. Zhou. Y., Hu X., Pei Y., Hwang H.J., Chen T., Yi W., Deng L. Dynamic load test on progressive collapse resistance of fully assembled precast concrete frame structures. Engineering Structures. 2020. Vol. 214. Pp. 110675.
12. 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
13. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390–407.
14. Sokolov B.S. Teoreticheskie osnovy metodiki rascheta shtepsel'nykh stykov zhelezobetonnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy [Theoretical basis of calculation methods of plug joints of reinforced concrete structures of buildings and constructions]. Housing Construction. 2016. No. 3. Pp. 60-63. (rus).
15. Kolchunov V.I., Martynenko D.V. Deformirovanie i treshchinoobrazovanie konstruktsii platformennogo styka v sborno-monolitnom karkase zdaniya [Deformation and cracking of the platform joint of the prefabricated-monolithic RC building frame] // Building and Reconstruction. 2020. No. 4 (90). Pp. 38-47. (rus).
16. Savin S, Kolchunov V, Fedorova N, Tuyen Vu N. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario. Buildings. 2023. Vol. 13(4). Pp. 908. <https://doi.org/10.3390/buildings13040908>
17. Savin S.Y., Kolchunov V.I., Emelianov S.G. Modelling of resistance to destruction of multi-storey frame-connected buildings at sudden loss of bearing elements stability. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Novosibirsk, 2018. Pp. 012089.
18. Feng. F.F., Hwang H.J., Yi W.J. Static and dynamic loading tests for precast concrete moment frames under progressive collapse. Engineering Structures. 2020. Vol. 213. Pp.110612.
19. Konchkovskij Z. Plity. Staticheskie raschety. [Plates. Static calculations] Moscow: Strojizdat, 1984. 480 p. (rus).
20. Adam J.M., Buitrago M., Bertolesi E., Sagaseta J., Moragues J.J. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario. Engineering Structures. 2020. Vol. 210. Pp. 110414. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110414>

Информация об авторах:

Федорова Наталья Витальевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, Советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой архитектурно-строительного проектирования, директор филиала НИУ МГСУ в г. Мытищи.

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

E-mail: fenavit@mail.ru

Савин Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

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

E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, 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

Московцева Виолетта Сергеевна

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

E-mail: lyavetka1@mail.ru

Амелина Маргарита Андреевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ), г. Курск, Россия, студент кафедры уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ.

E-mail: margo.dremova@mail.ru

Information about authors:

Fedorova Natalia V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, Advisor to RAACS, doctor of technical sciences, professor, Head of the Department of Architectural and Construction Design, Director of the branch of Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) in Mytishchi.

Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, leading researcher.

E-mail: fenavit@mail.ru

Savin Sergey Yu.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical science, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, senior researcher.

E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Kolchunov Vitaly Iv.

Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, chief researcher.

E-mail: asiorel@mail.ru

Moskovtseva Violetta S.

Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, Moscow, Russia, engineer.

E-mail: lyavetka1@mail.ru

Amelina Margarita A.

South-West State University (SWSU), Kursk, Russia, student of the Department of Unique Buildings and Structures of South-Western State University.

E-mail: margo.dremova@mail.ru