

Численное моделирование железобетонных перекрытий
из сборных плит по стальным балкам

Мария Петровна Бергер

Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных многоэтажных зданиях, строящихся из различных материалов, все больше применяется стальной каркас, который обеспечивает гибкость планировочных решений и сокращает сроки строительства. Различные типы перекрытий, такие как монолитные железобетонные плиты и сборные многопустотные плиты, позволяют ускорить монтаж и повысить прочность конструкции, а также обеспечивают передачу горизонтальных нагрузок. Для оптимального проектирования перекрытий из сборных плит, особенно опирающихся на нижнюю полку стальных балок, необходимо использовать численное моделирование методом конечных элементов, чтобы точно учесть особенности работы конструкций и повысить их эффективность.

Материалы и методы. При формировании конечно-элементной модели использованы стержневые элементы для колонн и балок, а также конечные оболочечные элементы для плит перекрытия, что дает возможность точно моделировать их жесткость и поведение под нагрузками. Для учета особенностей работы сборных железобетонных плит рассмотрено несколько подходов: применение жестких вставок и триангуляция контура, а также создание шарниров с расшивкой узлов для моделирования соединений и совместной работы элементов. В расчетах использовались численные параметры жесткости и закрепления, а также учтены особенности опирания и эксцентриситетов, что повышает точность моделирования и позволяет оценить усилия и прогибы в конструкции.

Результаты. Определены максимальные вертикальные перемещения балок для обоих рассмотренных вариантов численного моделирования. Получены изгибающие моменты в балках и выполнено сравнение полученных значений для численного и теоретического расчетов.

Выводы. Численные исследования показали, что вариант с моделированием сборных железобетонных плит с помощью триангуляции контура (без использования жестких вставок) более точно отражает характер работы конструкции перекрытия. Усилия в балках, полученные при этом способе моделирования, оказываются больше, чем при использовании в модели жестких вставок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сборные плиты, стальные балки, численный расчет, железобетонное перекрытие по стальным балкам

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бергер М.П. Численное моделирование железобетонных перекрытий из сборных плит по стальным балкам // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 7. С. 1072–1082. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1072-1082

Автор, ответственный за переписку: Мария Петровна Бергер, bergermp@mgsu.ru.

Numerical modelling of concrete hollow-core slabs on steel beams

Maria P. Berger

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In modern multi-story buildings constructed from various materials, steel frames are increasingly used, which provide flexibility in planning solutions and reduce construction time. Various types of floors, such as reinforced concrete slabs and precast hollow-core slabs, allow faster installation and increase structural strength, and ensure the transfer of horizontal loads. For optimal design of floors made of precast slabs, especially those supported by the bottom flange of steel beams, it is necessary to use numerical modelling using the finite element method to accurately account for the specific features of the structure and improve its efficiency.

Materials and methods. When forming the finite element model, rod elements for columns and beams, as well as finite shell elements for floor slabs, were used, which allows for accurate modelling of their rigidity and behavior under loads. Several approaches were considered to take into account the specific features of precast concrete slabs: the use of rigid rods and contour triangulation, as well as the creation of hinges with joint expansion to model connections and joint operation of elements. The calculations used numerical parameters of rigidity and fixation, and also took into account the features of support and eccentricities, which increases the accuracy of modelling and allows for the evaluation of forces and deflections in the structure.

Results. The maximum vertical displacements of beams for both considered variants of numerical modelling are determined. Bending moments in beams are obtained and a comparison of the obtained values for numerical and theoretical calculations is performed.

Conclusions. Numerical analysis has shown that modelling precast concrete slabs using contour triangulation (without using rigid rods) more accurately reflects the nature of the operation of the floor structure. The forces in the beams obtained with this modelling method are greater than when using rigid rods in the model.

KEYWORDS: hollow-core slabs, steel beams, numerical analysis, concrete floor on steel beams

FOR CITATION: Berger M.P. Numerical modelling of concrete hollow-core slabs on steel beams. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(7):1072-1082. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1072-1082 (rus.).

Corresponding author: Maria P. Berger, bergermp@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В современных городах основу застройки составляют многоэтажные здания. В России они традиционно строятся из кирпича, сборного или монолитного железобетона. В числе перспективных направлений в области строительства является возведение многоэтажных зданий на стальном каркасе [1–5]. Использование стальных конструкций обеспечивает гибкость объемно-планировочных решений, позволяет сократить срок строительства за счет использования унифицированных элементов заводского изготовления, повысить экологичность здания и др. Одним из важных аспектов компоновки каркаса здания служит выбор конструкции перекрытия. Тип перекрытия зависит от многих факторов, включая назначение здания, необходимую высоту этажа, требования к прочности, звукоизоляции, огнестойкости [6, 7]. К наиболее распространенным конструктивным решениям перекрытий по стальным балкам относятся:

- монолитная железобетонная плита по съемной опалубке;
- монолитная железобетонная плита по несъемной опалубке из профилированного настила;
- сборные пустотные или ребристые плиты;
- сталежелезобетонное перекрытие.

В России широко используется модульная система при назначении размеров здания [8, 9]. Несмотря на разнообразие конструктивных решений перекрытий зданий со стальным каркасом, при назначении расстояний между осями колонн и балок следует учитывать требования модульной системы и делать эти размеры кратно укрупненным модулям 300 или 600 мм.

В любом случае при устройстве перекрытия необходимо обеспечить формирование жесткого диска перекрытия, что создает условия для обеспечения жесткости и устойчивости здания в целом. Жесткий диск перекрытия обеспечивает передачу горизонтальных воздействий на вертикальные связи или ядра жесткости, и тем самым создаются условия для нормальной работы колонн, не входящих в связевые блоки.

Жесткий диск перекрытия при устройстве монолитной железобетонной плиты по съемной опалубке или по несъемной опалубке из профилированного настила формируется за счет анкеровки монолитной плиты к балкам. Преимущество использования профилированного настила в качестве несъем-

ной опалубки — отсутствие временных монтажных опор, что дает возможность сократить срок возведения здания. При устройстве плиты перекрытия по нижней полке двутавровой балки на восприятие вертикальной нагрузки плита перекрытия и стальные балки работают раздельно. Особенности совместной работы стальных балок и монолитных плит перекрытий рассмотрены в ряде работ [10]. Если плита располагается над верхней полкой балки, а анкеры обеспечивают восприятие сдвигающих усилий между плитой и балкой, то образуется сталежелезобетонная система. Преимущество сталежелезобетонной конструкции заключается в более высокой несущей способности и жесткости перекрытия [11].

Применение сборных пустотных плит позволяет ускорить монтаж здания. В то же время не нужны второстепенные балки, однако в районе колонн стоит предусматривать монолитные участки. После замоноличивания стыков плиты образуют горизонтальный жесткий диск, таким образом обеспечивая совместную работу несущих конструкций каркаса. При этом в зависимости от расположения сборных плит (на нижней или верхней полке двутавровой балки) и способа анкерования плиты могут работать на вертикальную нагрузку независимо от стальных балок или сформировать сталежелезобетонную конструкцию [12]. Сталежелезобетонная система с применением сборных пустотных плит обладает более высокой прочностью и жесткостью [13]. Для уменьшения строительной высоты перекрытия пустотные плиты возможно опирать на нижние полки балок. В этом случае необходимо использование несимметричных сварных двутавров или прокатных двутавров, у которых к нижней полке приварена более широкая, чем полка, стальная пластина. Особенности совместной работы сталежелезобетонных перекрытий из сборных железобетонных плит со стальными балками исследованы в трудах [14–16].

Сталежелезобетонная конструкция с применением сборных плит позволяет уменьшить сечение балок и сократить расход стали на перекрытие, но при этом высота перекрытия складывается из суммарной высоты балок и плиты перекрытия. Опираемые сборные плиты на нижнюю полку ведут к некоторому росту металлоемкости балок, но дают возможность ограничить высоту перекрытия высотой балки. Нагрузка при этом в основном передается

При проектировании зданий с перекрытиями из сборных пустотных плит используются вычислительные комплексы, реализующие метод конечных элементов. Численное моделирование, отражающее особенности работы перекрытий из сборных плит, опертых на нижнюю полку, представляет значительный научный и практический интерес. В статье рассмотрены рекомендации численного моделирования перекрытия из сборных плит, опирающихся на нижнюю полку стальной балки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным планировочным компонентом данного здания является ячейка размерами в плане $6,8 \times 4,3$ м. По углам ячейки расположены колонны, по контуру балки. Каркас связевой, опирание балок на колонны

На балки пролетом 4,3 м опираются сборные многопустотные железобетонные плиты ПК-66-12, выполненные по ГОСТ 9561–91. Плиты имеют толщину 220 мм, пролет — 6,6 м, ширина одной плиты — 1,2 м. Пролет плит 6,6 м выбран с учетом возможности монтажа плит между балок. Класс бетона плит и монолитных участков В20. После монтажа плит выполнялось замоноличивание стыков между плитами и устраивались монолитные участки шириной 350 мм у продольных балок.

Расчетная модель разрабатывалась в ПК ЛИРА-САПР 2022. Балки и колонны моделировались стержневыми элементами, плиты перекрытий — конечными элементами оболочки. Жесткость плиты перекрытия была определена по приведенной толщине и составляет 110 мм. Модуль упругости бетона принимался длительный в соответствии

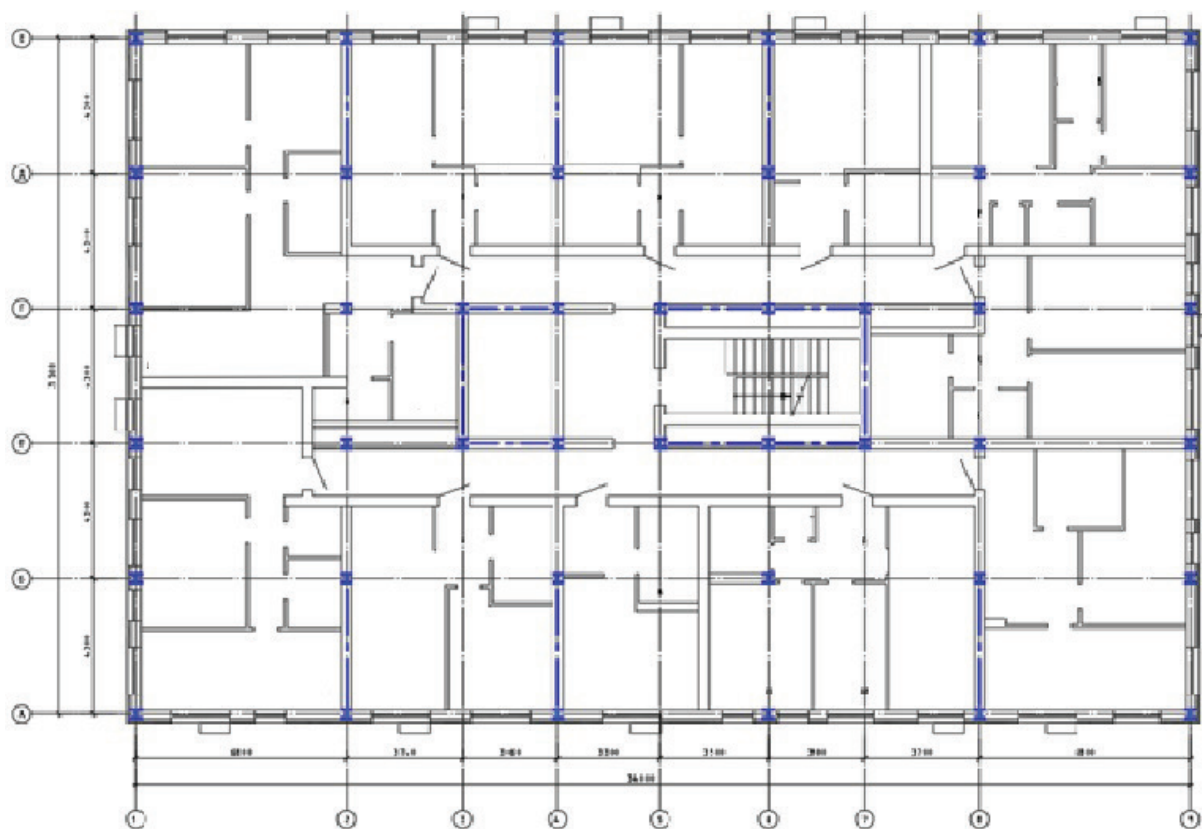


Fig. 1. Typical floor plan of the building

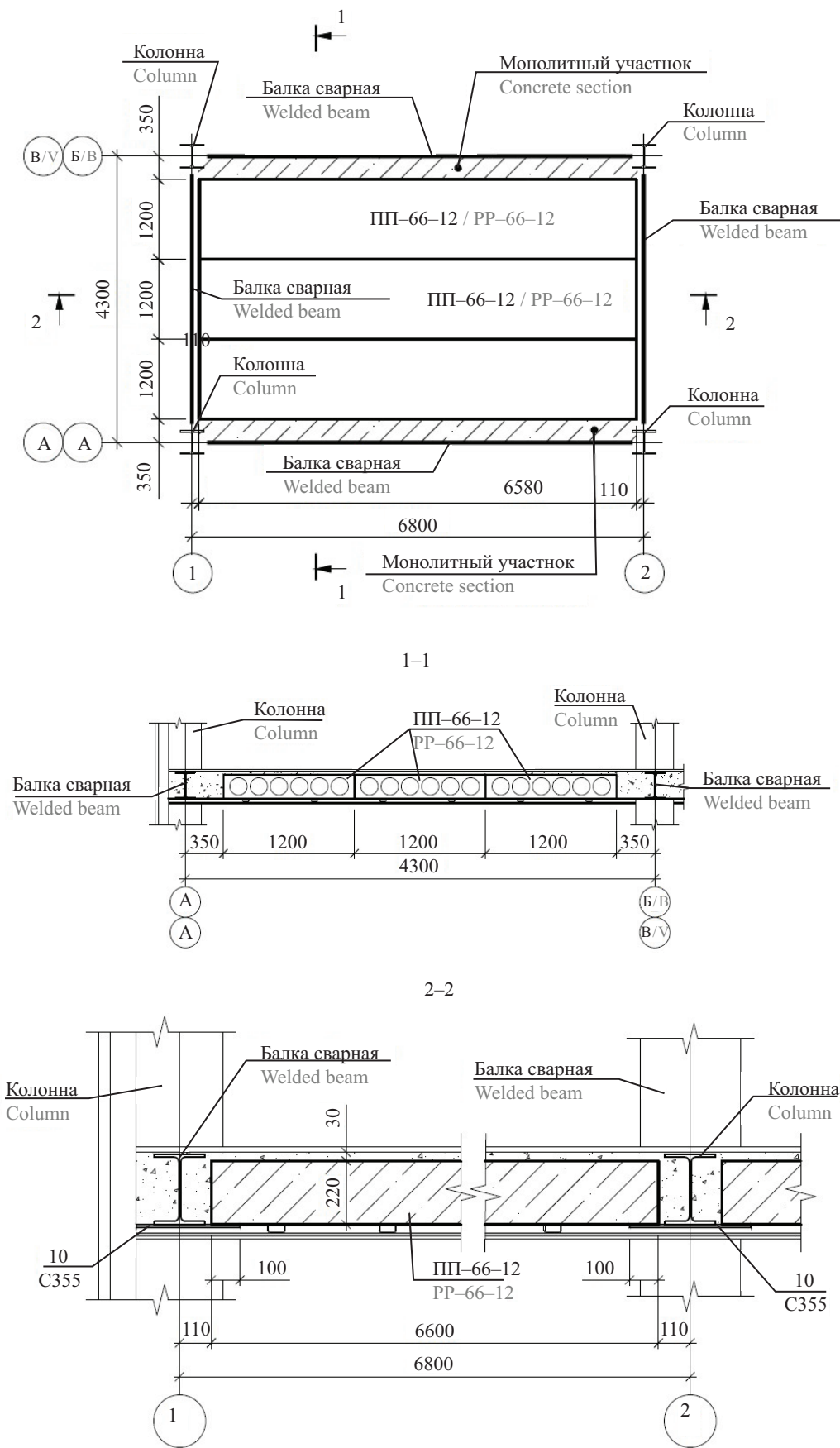


Рис. 2. Схема расположения элементов перекрытия
Fig. 2. Layout of the floor elements

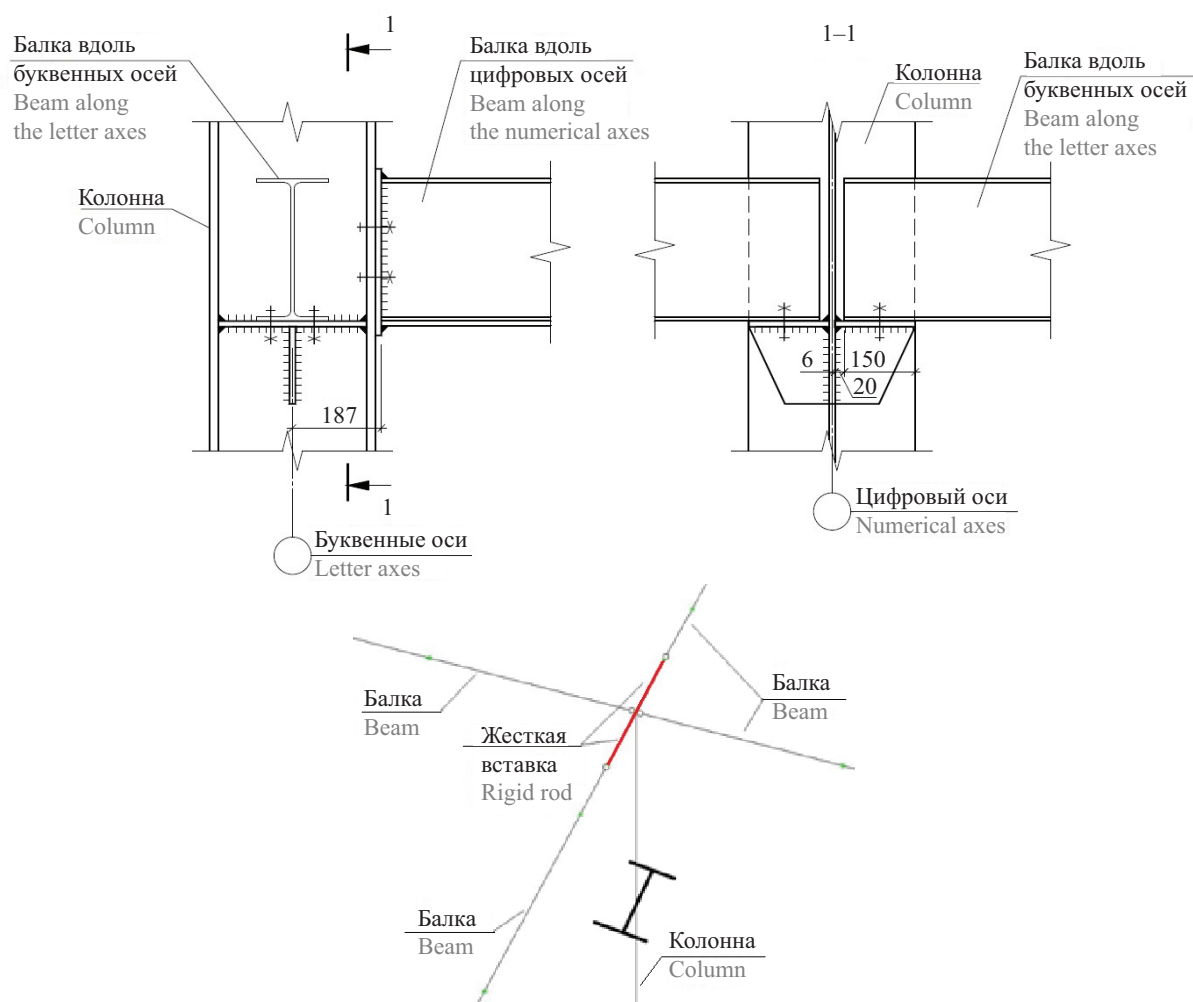


Рис. 3. Фрагмент расчетной модели в месте опирания балок на колонну

Fig. 3. Fragment of the numerical model at the beam to column connection

с п. 6.1.15 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции». При разработке расчетной модели дополнительной жесткой вставкой был учтен эксцентриситет опирания балки пролетом 4,3 м на полку колонны (рис. 3).

Перед формированием пространственной конечно-элементной схемы всего здания исследовано влияние особенностей моделирования сборных железобетонных плит перекрытия на усилия и прогибы балок. Для этого выполнены тестовые расчеты только перекрытия без включения в работу колонн. Рассмотрено два варианта моделирования перекрытия:

- использование жестких вставок для моделирования монолитных участков и эксцентриситета опирания плит на стальную балку (рис. 4, а);
- триангуляция контура перекрытия на всей ячейке (рис. 4, б).

Жесткий диск перекрытия раскрепляет балки из плоскости и препятствует возникновению кручения. Однако в расчетной схеме на крайних балках, на которые плиты опираются только по одной стороне, могут возникать крутящие моменты. Поэтому рекомендуется установить связи на углы поворота

относительно соответствующих глобальных осей. Балки, расположенные вдоль оси Y , следует закрепить от поворота вокруг оси Y ; балки, расположенные вдоль оси X , — закрепить от поворота вокруг оси X .

Особенности совместной работы стальных балок с конструкциями перекрытия удобно реализовать в расчетной модели с помощью команды «создание шарнира с расшивкой узлов». В первом варианте в местах стыка плит друг с другом были введены шарниры, обеспечивающие одинаковые линейные перемещения по осям X , Y , Z . При этом жесткие вставки крепятся жестко к стальным балкам и шарнирно к плитам. Жесткость вставок задана численно. Значение продольной жесткости принято $EA = 1\,000\,000$ кН, изгибная жесткость в вертикальной и горизонтальной плоскостях — $EI = 1\,000\,000$ кН·м².

Для второго варианта предусматривалось обеспечение одинаковых линейных перемещений по трем осям (X , Y , Z) на границах между плитами и в местах стыка плит с продольными монолитными участками. В местах контакта плит и монолитных участков с балками для смежных узлов обеспечи-

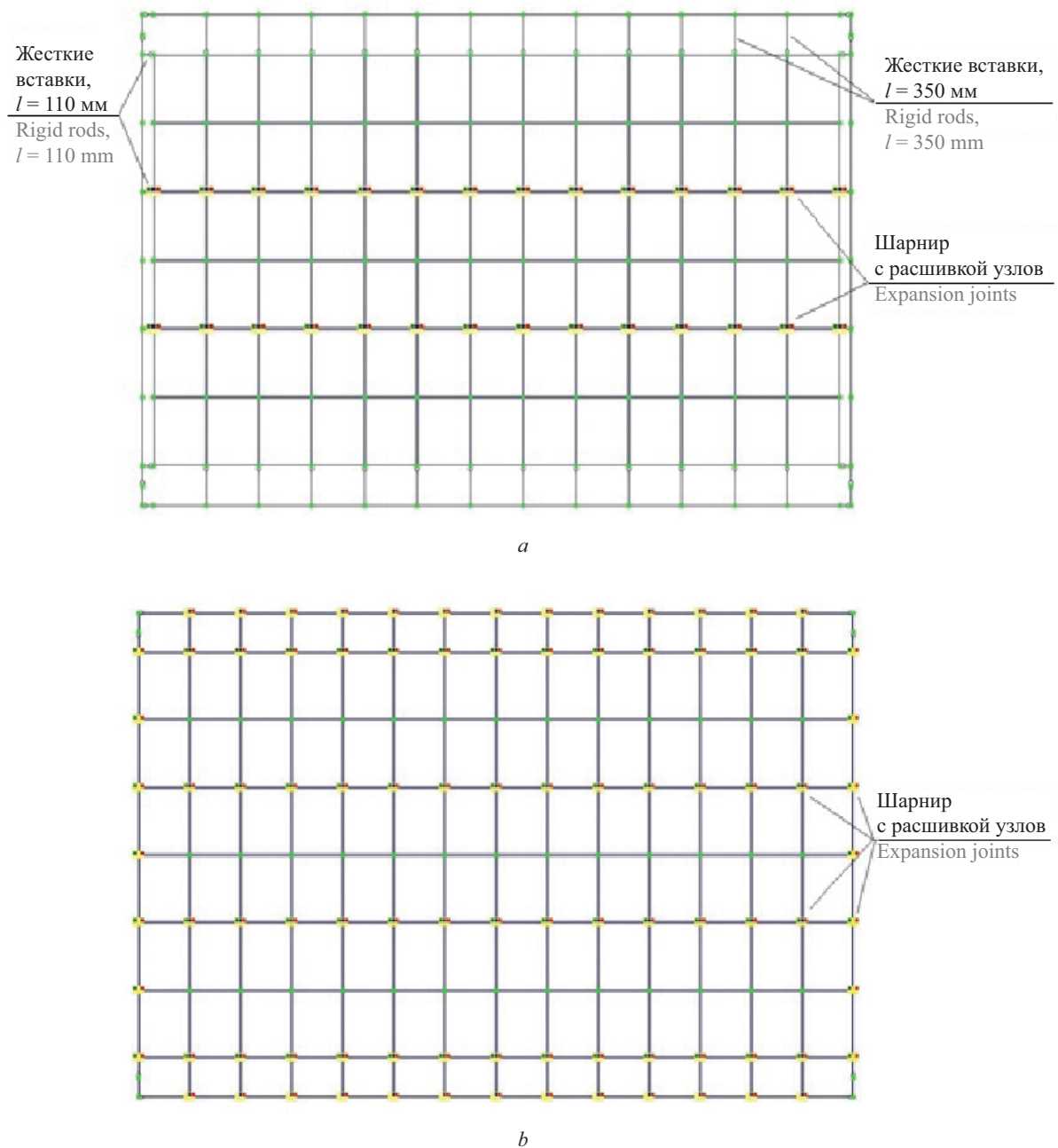


Рис. 4. Расчетная модель перекрытия: *a* — с использованием жестких вставок; *b* — с триангуляцией контура по всей ячейке

Fig. 4. Numerical model of the floor: *a* — using rigid rods; *b* — with triangulation over the entire floor

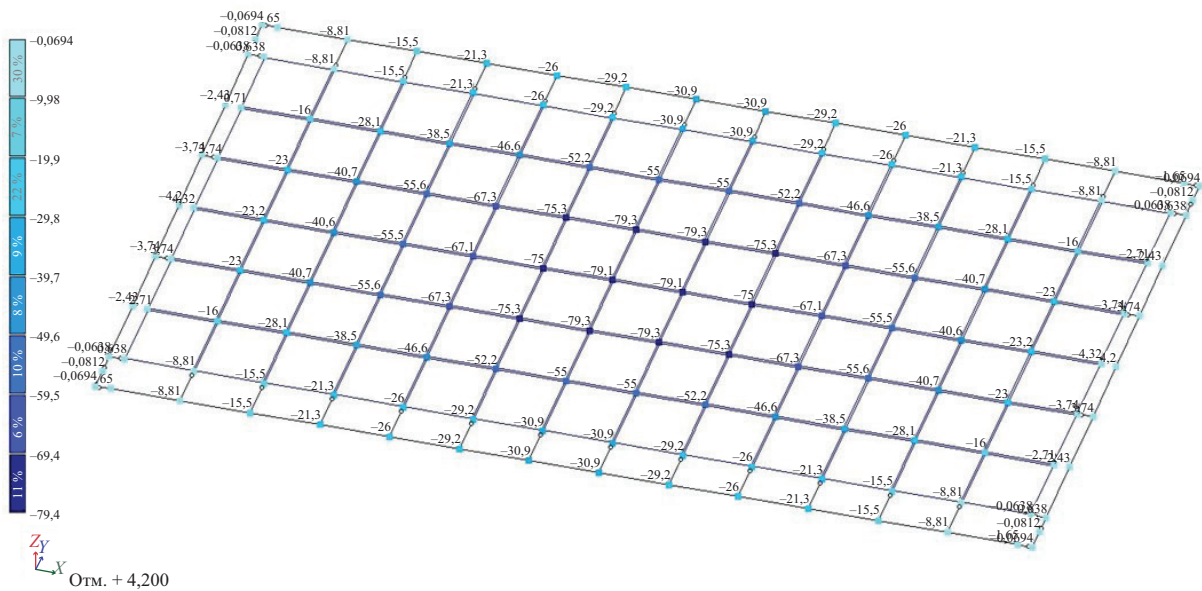
ваются одинаковые линейные перемещения по осям *Z* и *X* (для балок, расположенных вдоль цифровых осей) и по осям *Z* и *Y* (для балок, расположенных вдоль буквенных осей).

Расчетное значение нагрузки, действующей на перекрытие с учетом веса перекрытия, составляет 10 кПа.

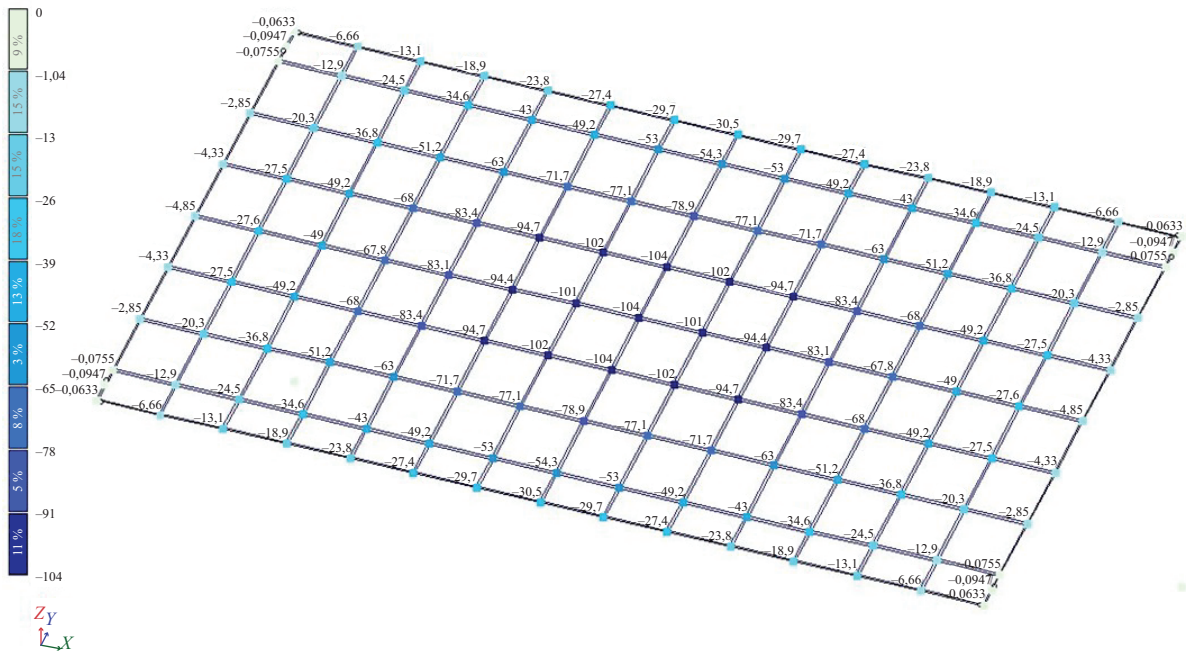
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно принятому конструктивному решению, сборные многопустотные плиты опираются

на нижнюю полку стальных балок без использования специальных анкерных креплений, что делает возможным сдвиг плит в горизонтальном направлении вдоль продольных осей балок. Таким образом, при работе на изгиб балка и плита не образуют сталежелезобетонной конструкции. Кроме этого, в стыках плит, в швах примыкания плит к монолитным участкам и швах между балками, плитами и монолитными участками не передаются изгибающие моменты. После замоноличивания стыков и устройства продольных монолитных участков ис-



a



b

Рис. 5. Вертикальные перемещения: *a* — расчетная модель с жесткими вставками, мм; *b* — расчетная модель без жестких вставок, мм

Fig. 5. Vertical displacements: *a* — numerical model with rigid rods, mm; *b* — numerical model without rigid rods, mm

ключаются взаимные линейные перемещения в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси балки, а также кручение балок относительно продольных осей.

На рис. 5 показаны прогибы перекрытия, а на рис. 6 — изгибающие моменты в балках для двух вариантов расчетной схемы.

В таблице представлены прогибы и изгибающие моменты в балках для двух вариантов расчетной схемы.

В таблице, кроме определенных численным расчетом изгибающих моментов, представлены теоретические значения этих усилий. Теоретические усилия определены в предположении, что именно балки пролетом 4,3 м, на которые и опираются эти плиты, будут воспринимать практически всю нагрузку, действующую на перекрытие. При этом балки, параллельные плитам, должны работать только на нагрузку с монолитных участков. Теоретические значения моментов установлены как в шарнирно опертых балках, загру-

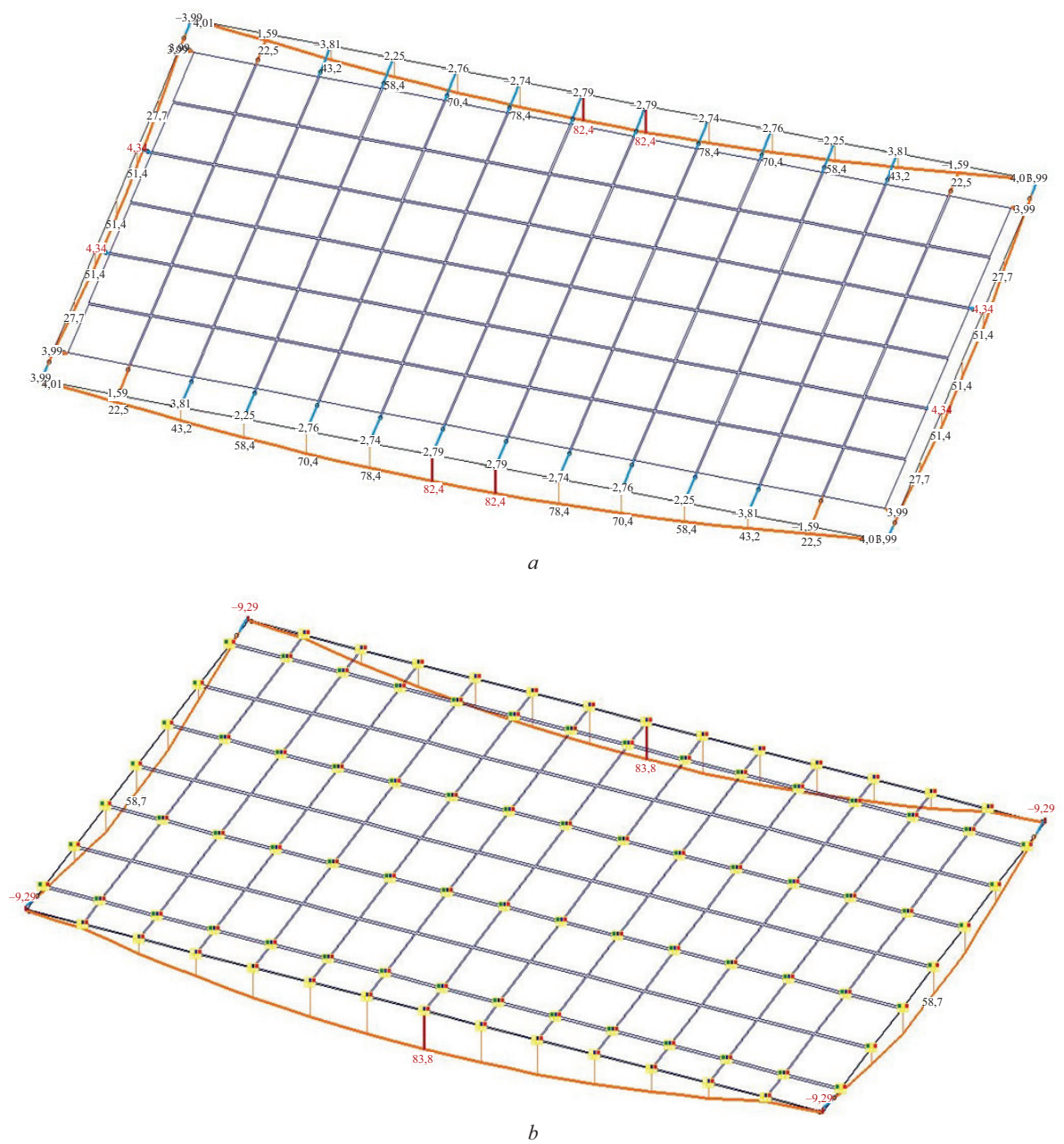


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов: *a* — расчетная модель с жесткими вставками, кН·м; *b* — расчетная модель без жестких вставок, кН·м

Fig. 6. Bending moment diagram: *a* — numerical model with rigid rods, кН·м; *b* — calculation model without rigid inserts, кН·м

Прогибы и перемещения балок перекрытия
Deflections and displacements of floor beams

Вариант Version	Прогибы балок, мм Vertical displacements of beams, mm		Изгибающие моменты в балках, кН·м Bending moments of beams, кН·м			
	Пролет 4,3 м Span 4.3 m	Пролет 6,8 м Span 6.8 m	Пролет 4,3 м Span 4.3 m		Пролет 6,8 м Span 6.8 m	
			Метод конечных элементов Finite element method	Теория Theory	Метод конечных элементов Finite element method	Теория Theory
1	4,2	30,9	51,4	55,1	82,4	20,2
2	4,85	30,5	58,7	55,1	83,8	20,2

женных равномерно распределенной нагрузкой. Нагрузка на балки определена следующим образом:

- для балок пролетом 4,3 м: $2,15 \cdot 10 = 21,5$ кН/м;
- для балок пролетом 6,8 м: $0,35 \cdot 10 = 3,5$ кН/м.

Прогибы балок и изгибающие моменты в них по рассмотренным вариантам моделирования при пролете балок 4,3 м отличались друг от друга до 13 %, при пролете 6,8 м до 2 %. При этом большие значения прогибов и моментов получены при втором варианте моделирования.

Надо отметить, что прогибы балок и усилия в них отличались от теоретических значений. Проведенными расчетами установлено, что балки пролетом 4,3 м действительно воспринимают значительную часть нагрузки, действующей на плиты. Максимальный момент в этих балках при первом варианте моделирования оказался меньше теоретического на 7 %, при втором варианте больше теоретического на 6 %. Заметно отличались теоретические и численные моменты в балках пролетом 6,8 м, расположенных параллельно плитам. Оказалось, что на них распределяется существенно большая часть нагрузки с перекрытия, чем представлялось теоретически. Это привело к появлению в балках пролетом 6,8 м моментов, превышающих теоретические до 4,1 раза. Моменты в балках пролетом 6,8 м по второму варианту моделирования оказались больше, чем по первому варианту на 2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов расчета двух вариантов численного моделирования перекрытия из сборных плит, опирающихся на нижние полки стальных балок, можно сформулировать следующие выводы.

Моделирование с использованием жестких вставок усложняет приложение нагрузки в модели. Требуется отдельно собирать нагрузку с монолитных участков и прикладывать ее в виде погонной нагрузки к продольным балкам. Вариант с триангуляцией контура по всей площади перекрытия является более оптимальным с точки зрения численного моделирования.

Значения усилий, полученные при втором варианте моделирования, оказываются немного больше по сравнению с первым вариантом, что идет в запас несущей способности.

Теоретические представления о том, что при использовании сборных плит нагрузка передается только на балки, на которые опираются плиты, и при отсутствии нагрузки от плит — на параллельно расположенные балки, неверны. Необходимо более точно включать в совместную работу все несущие элементы перекрытия при формировании конечно-элементных моделей.

Для практических расчетов рекомендуется использовать второй вариант моделирования, более точно отражающий характер включения в совместную со стальными балками работу сборных железобетонных плит перекрытия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Lawson R.M., Ogden R.J., Rackham J.W.* Steel in multi-storey residential buildings. Steel Construction Institute, 2004. 68 p.
2. *Туснин А.Р., Вараксин П.А.* Типовой стальной каркас пятиэтажного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 45–49. EDN SKGHNZ.
3. *Карасев Д.О., Шипилова Н.А., Арутюнян М.С.* Малоэтажное строительство. Виды строительных материалов для возведения зданий // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 3 (34). С. 121. EDN WIRKDJ.
4. *Сазонова Т.В., Казаков Д.С.* Малоэтажное строительство. Проблемы и решения // Вестник УГУЭС. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2014. № 1 (7). С. 194–198. EDN SJNAPJ.
5. *Павлов А.Б., Айрумян Э.Л., Камынин С.В., Каменщиков Н.И.* Быстровозводимые малоэтажные жилые здания с применением легких стальных тонкостенных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 9. С. 51–53. EDN HVAZXX.
6. *Туснин А.Р.* Перекрытия многоэтажных зданий со стальным каркасом // Промышленное и гражданское

- данское строительство. 2015. № 8. С. 10–14. EDN SGGTOM.
7. *Туснин А.Р.* Облегченные перекрытия многоэтажных зданий со стальным каркасом // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 99–103. EDN WWMTNV.
8. *Конструкции гражданских зданий / под ред. М.С. Туполева. М. : Архитектура-С, 2007. 239 с. EDN OWONHR.*
9. *Соловьёв А.К., Туснина В.М.* Архитектура зданий : учебник. М. : Академия, 2014. 334 с.
10. *Трофимов Д.С., Суходолов М.В.* Исследование численной модели монолитного перекрытия по металлическим балкам в ПК Ansys // Молодой ученый. 2022. № 21 (416). С. 70–73. EDN TRYJMQ.
11. *Pari M., Van de Graaf A.V., Hendriks M.A.N., Rots J.G.* A multi-surface interface model for sequentially linear methods to analyse masonry structures // Engineering Structures. 2021. Vol. 238. P. 112123. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112123
12. *Туснин А.Р., Коляго А.А.* Конструкция и работа сталежелезобетонного перекрытия с использованием сборных пустотных железобетонных плит // Современная наука и инновации. 2016. № 3 (15). С. 141–147. EDN YPKUYB.

13. Конин Д.В. Напряжения и сдвиг сталежелезобетонных перекрытий со сборными элементами и стальными балками // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 4. С. 98–115. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-98-115. EDN RFDPNF.

14. Way A.G.J., Cosgrove T.C., Brett M.E. Precast concrete floors in steel framed buildings. Steel Construction Institute, 2007. 101 p.

15. Lam D. Designing composite beams with precast hollowcore slabs to Eurocode 4 // Advanced Steel Construction. 2007. Vol. 3. Issue 2. Pp. 594–606. DOI: 10.18057/IJASC.2007.3.2.5

16. Alqawzai S., Chen K., Shen L., Ding M., Yang B., Elchalakani M. Load-Bearing Capacity of Steel Beams with Precast Concrete Slabs: Numerical and Experimental Study // Journal of Constructional Steel Research. 2020. Vol. 170. P. 106115. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106115

Поступила в редакцию 22 мая 2025 г.

Принята в доработанном виде 24 мая 2025 г.

Одобрена для публикации 29 мая 2025 г.

ОБ АВТОРЕ: **Мария Петровна Бергер** — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 927136, Scopus: 57192100982, ResearcherID: AAG-2520-2022, ORCID: 0000-0001-8906-9298; bergermp@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Lawson R.M., Ogden R.J., Rackham J.W. *Steel in multi-storey residential buildings*. Steel Construction Institute, 2004; 68.

2. Tusnin A.R., Varaksin P.A. Standard steel frame of a 5-story building. *Industrial and Civil Engineering*. 2018; 10:45-49. EDN SKGHNZ. (rus.).

3. Karasev D.O., Shipilova N.A., Arutunyan M.S. Low-rise construction. Types of structural materials for construction of buildings. *Naukovedenie*. 2016; 8(3):(34):121. EDN WIRKDJ. (rus.).

4. Sazonova T.V., Kazakov D.S. Low-rise construction. Problems and solutions. *Bulletin of UGUES. Science. Education. Economics. Series: Economics*. 2014; 1(7):194-198. EDN SJNAPJ. (rus.).

5. Pavlov A.B., Airumyan E.L., Kamynin S.V., Kamenshikov N.I. Fast erection of low-rise residential buildings making use of light-weight steel thin-walled structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2006; 9:51-53. EDN HVAZXX. (rus.).

6. Tusnin A.R. Floors of multi-storey buildings with steel frames. *Industrial and Civil Engineering*. 2015; 8:10-14. EDN SGGTOM. (rus.).

7. Tusnin A.R. Lightweight slabs of multistory buildings with a steel frame. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 10:99-103. EDN WWMTNV. (rus.).

8. *Civil Building Structures* / edited by Tupoleva M.S. Moscow, Architecture-S, 2007; 240. EDN OWONHR. (rus.).

9. Solovyov A.K., Tusnina V.M. *Architecture of Buildings : textbook*. Moscow, Academy, 2014; 334. (rus.).

10. Trofimov D.S., Sukhodolov M.V. Numerical Model Study of Monolithic Floor on Steel Beams in Ansys. *Young Scientist*. 2022; 21(416):70-73. EDN TRYJMQ. (rus.).

11. Pari M., Van de Graaf A.V., Hendriks M.A.N., Rots J.G. A multi-surface interface model for sequentially linear methods to analyse masonry structures. *Engineering Structures*. 2021; 238:112123. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112123

12. Tusnin A.R., Kolyago A.A. The construction and operation of the composite beams using the prefabricated reinforced concrete slab hollow core. *Modern Science and Innovations*. 2016; 3(15):141-147. EDN YPKUYB. (rus.).

13. Konin D.V. Stress and shear of steel reinforced floors with prefabricated units and steel beams. *Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25(4):98-115. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-98-115. EDN RFDPNF. (rus.).

14. Way A.G.J., Cosgrove T.C., Brett M.E. *Precast concrete floors in steel framed buildings*. Steel Construction Institute, 2007; 101.

15. Lam D. Designing composite beams with precast hollowcore slabs to Eurocode 4. *Advanced Steel Construction*. 2007; 3(2):594-606. DOI: 10.18057/IJASC.2007.3.2.5

16. Alqawzai S., Chen K., Shen L., Ding M., Yang B., Elchalakani M. Load-Bearing Capacity of Steel Beams with Precast Concrete Slabs: Numerical and Experimental Study. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020; 170:106115. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106115

Received May 22, 2025.

Adopted in revised form on May 24, 2025.

Approved for publication on May 29, 2025.

B I O N O T E S : **Maria P. Berger** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 927136, Scopus: 57192100982, ResearcherID: AAG-2520-2022, ORCID: 0000-0001-8906-9298; bergermp@mgsu.ru.