



УДК 624.014.2:69.032.2

Т. В. НАЗМЕЕВА, канд. техн. наук, эксперт АРСС¹; **В. А. БЕЛЫЙ**, соискатель кафедры теоретической механики и сопротивления материалов¹; **С. В. КЛЮЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической механики и сопротивления материалов¹, проф. кафедры технологий строительства и конструкционных материалов²

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

¹ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. Тел.: (921) 545-15-45; эл. почта: naztv@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. Тел.: +7 (499) 936-87-87; эл. почта: information@rudn.ru

Ключевые слова: стальной каркас, перекрытие, профилированный настил, геометрическая нелинейность.

Предложено применение стальных конструкций для строительства жилых многоэтажных зданий в целях повышения экономической эффективности жилищного строительства. Произведены расчеты конструктивной системы здания из стальных конструкций, приведены основные предпосылки внедрения стали в жилищное строительство.

Текущая ситуация на строительном рынке в стране в части кадрового голода строительных специальностей и постоянного роста цен на традиционные строительные материалы (цемент, кирпич, газоблок, щебень и т. д.) [1] диктует необходимость перехода при реализации программы жилого домостроения на другие неклассические строительные технологии, такие как стальное строительство, которое до этого времени применялось только для оборонного и промышленного строительства.

Жилые здания в отличие от промышленных требуют иного подхода к формированию конструктивной схемы жилого здания, что обусловлено архитектурными, объемно-планировочными и продуктовыми требованиями к жилью, а также учитывая, что жилье возводится, как правило, в стесненной городской застройке, то требует еще разработки и специальных методов монтажа. Также на объемно-планировочные и конструктивные решения жилого здания на стальном каркасе существенное влияние оказывает и необходимость применения огнезащиты в отделке.

В 1947–1957 годах в Москве был реализован комплекс высотных зданий с применением стальных конструкций, получивший название «сталинские высотки», но в целом в настоящее время в России нет практики применения стальных конструкций для возведения жилых многоэтажных зданий массовой застройки, школа проектирования таких зданий не сформирована, нет типовых решений узлов, серий [2]. Таким образом, необходима разработка конструктивных и технических решений для внедрения стальных конструкций в



массовое жилое строительство в целях обеспечения устойчивого роста жилого домостроения в существующей экономической ситуации.

На основании проведенного анализа строящихся жилых многоэтажных зданий на территории Новой Москвы и Московской области и в других крупных регионах России за основу разработки конструктивной системы жилого многоэтажного здания на стальном каркасе был принят многоквартирный 17-этажный жилой дом массовой застройки башенного типа с подвалом и нежилыми помещениями общественного назначения на первом этаже; подземный паркинг отсутствует; подвал используется для технических целей. Уровень ответственности здания – II (нормальный); степень огнестойкости здания – II; размеры здания в осях: 21,04 × 33,3 м.

Основное требование маркетологов: обеспечить гладкие поверхности межкомнатных и межквартирных стен и перекрытий, без выступов, пилястр, выступающих балок для обеспечения продаваемости жилых квартир и во избежание случаев демонтажа выступающих частей конструкций внутри жилого помещения жильцами в процессе эксплуатации здания, а также наличие балконов. Также к требованиям продуктологов и отдела продаж застройщиков при проектировании относится: обеспечение показателей эффективной («продаваемой») площади; соблюдение утвержденной квартирографии и планировочных решений в соответствии с архитектурной концепцией застройщика; обеспечение высоких показателей энергоэффективности здания в целом. Данные показатели не зависят от технологии строительства и должны быть обеспечены в любом случае. При использовании стальных конструкций в каркасе дополнительно требуется обеспечить огнезащиту каркаса, эффективную скорость монтажа, минимизировав монтажную сварку, а главное – обеспечить оптимальную металлоемкость каркаса, в том числе за счет применения современных марок сталей.

Конструктивная система здания с применением стальных конструкций, рис. 1, представляет собой рамно-связевой каркас, состоящий из колонн, балок, связей и дисков перекрытий. Пространственная жесткость и устойчивость конструктивной схемы обеспечивается совместной работой каркаса и связей за счет объединения их жесткими дисками перекрытия. Перекрытие композитное с заливкой монолитного железобетона по профилированному листу (профлист) в качестве несъемной опалубки, рис. 2.

Требования маркетологов накладывают определенные ограничения на проектировщиков при разработке конструктивной схемы здания. Наиболее сложным требованием при проектировании стального каркаса в жилом здании является сохранение толщины перекрытия равнозначно толщине традиционного железобетонного перекрытия 180–220 мм, обеспечивая при этом его гладкость без выступающих балок. Толщина классического перекрытия по профлисту, как правило, составляет 350–600 мм и применяется при строительстве общественных зданий [4, 5, 6, 7]. В данном случае для обеспечения минимальной толщины перекрытия было применено решение с опиранием профлиста на нижний пояс сварной балки, при этом нижняя полка балки выполняется шире для удобства опирания профлиста на монтаже. Также в стальном здании возникает необходимость вписать связи, обеспечивающие пространственную жесткость и устойчивость здания, в заданные планировки, обеспечив пространство на путях эвакуации.

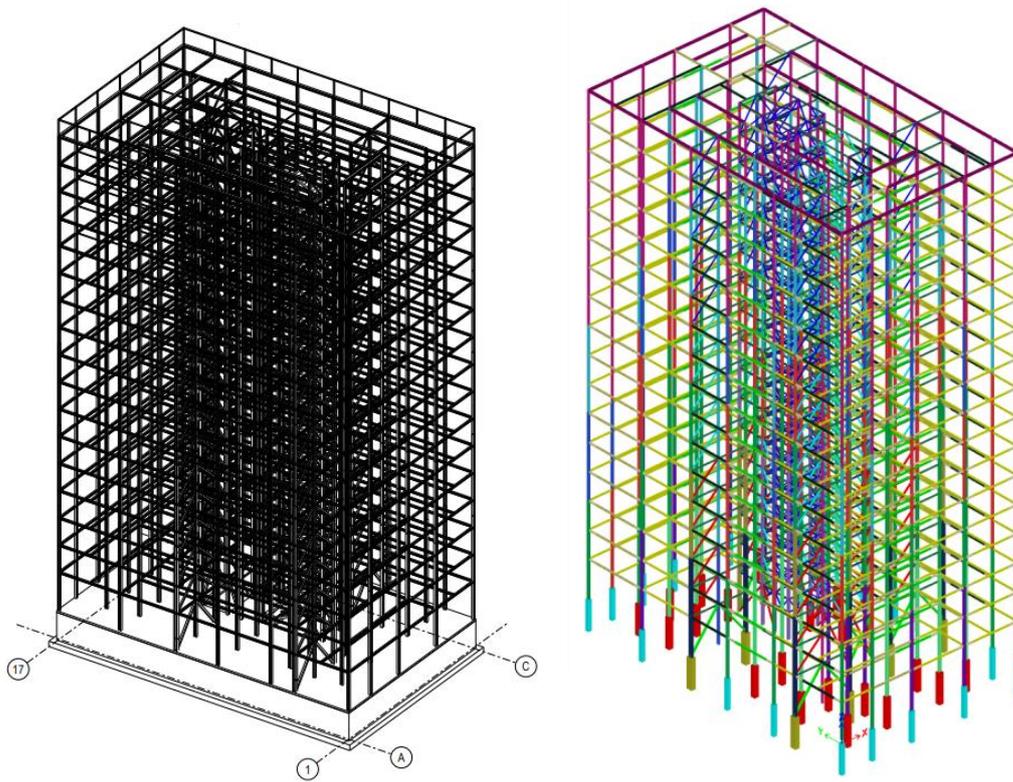


Рис. 1. Стальной каркас 17-этажного жилого здания: конструктивная система (слева) и расчетная схема

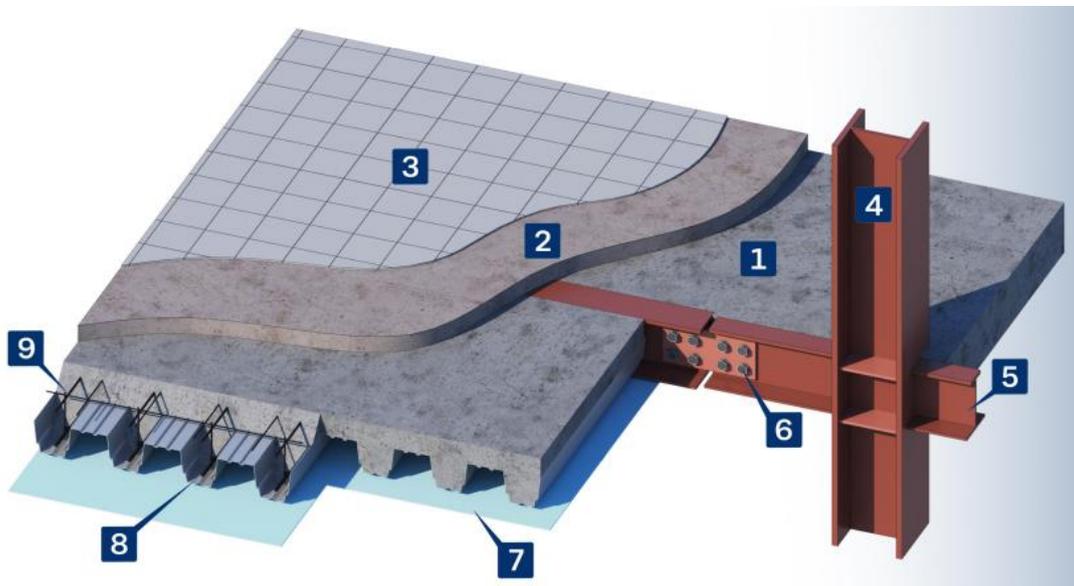


Рис. 2. Композитное перекрытие в здании на стальном каркасе: 1 – монолитная плита по профилированному настилу; 2 – стяжка пола; 3 – пол; 4 – колонна; 5 – балка; 6 – узел на болтах; 7 – натяжной потолок; 8 – профилированный лист; 9 – армирование

Также в здании узлы сопряжения конструкций должны быть без выступающих частей узлов фасонок и деталей, чтобы обеспечить гладкие поверхности помещений и удобство выполнения внутренней отделки. Для решения этой задачи конструкторами были применены шарнирные узлы, что в итоге увеличило сроки монтажа, но обеспечило требования к поверхностям. Жесткие узлы намного функциональнее с точки зрения монтажа позволяют выполнить монтаж укрупненными блоками и сократить срок монтажа здания в целом, но такое решение, подходящее для общественных и промышленных зданий, неприменимо для жилья, так как содержит много выступающих частей и дополнительных элементов.

Итого мы имеем три фактора, влияющие на архитектурные и конструктивные решения и, следовательно, на сроки и стоимость строительства: толщина перекрытия, наличие связей и невозможность применить жесткие узлы. Для решения поставленных вопросов были разработаны специальные технические решения и узлы, применены современная марка стали и сварные конструкции. Колонны выполнены из стальных сварных двутавров габаритами сечения от 180×180 мм до 320×320 мм, сталь *Powerweld* 420 по СТО 00186217-572-2020. Толщина листа от 6 до 30 мм. Балки выполнены из стальных сварных двутавров габаритами сечения 160×140 , 160×160 мм, сталь С355 по ГОСТ 27772-2015. Толщина листа от 6 до 14 мм. Связи выполнены из квадратных гнутосварных профилей по ГОСТ 32931-2015, сталь С355 по ГОСТ 27772-2015, сечение от 100×8 мм до 180×8 мм. Шаг колонн в среднем – 6×3 м. Пролет балок от 1,8 до 7,0 м. Вертикальные связи расположены вдоль наружных стен здания и в плоскости стен лестнично-лифтового узла, рис. 3. Плиты перекрытия выполнены из бетона класса В25 по ГОСТ 26633-2012 по несъемной опалубке из профилированного настила Н75-750-0,9 по ГОСТ 24045-2016, уложенного узкими полками вниз.

В качестве ограждающих конструкций в здании на стальном каркасе применены каркасно-обшивные стены (КОС) по ГОСТ Р 58774-2019. Стены навесные, крепятся к балкам каркаса здания при помощи специально разработанных кронштейнов.



Рис. 3. Архитектурные планы 2-го и типовых этажей

Для принятой конструктивной системы был выполнен расчет пространственной расчетной схемы, определены основные усилия, перемещения и коэффициенты использования сечений, рис. 4. Принятые сечения отвечают требованиям двух групп предельных состояний, несущая способность элементов и конструкций обеспечена. Дополнительно был выполнен расчет по первой группе предельных состояний с учетом геометрической нелинейности для учета остаточных напряжений в стали и других эффектов, приводящих к развитию не учитываемых в расчетах напрямую пластических деформаций в элементах. Для этого был введен коэффициент 0,8 к жесткостям всех элементов. По результатам расчета с учетом геометрической нелинейности, усилия в элементах схемы превышают усилия при линейном расчете более чем на 10 %, рис. 5, что привело к увеличению принятых сечений элементов. Соединения конструкций также были рассчитаны на усилия, полученные при нелинейном расчете.

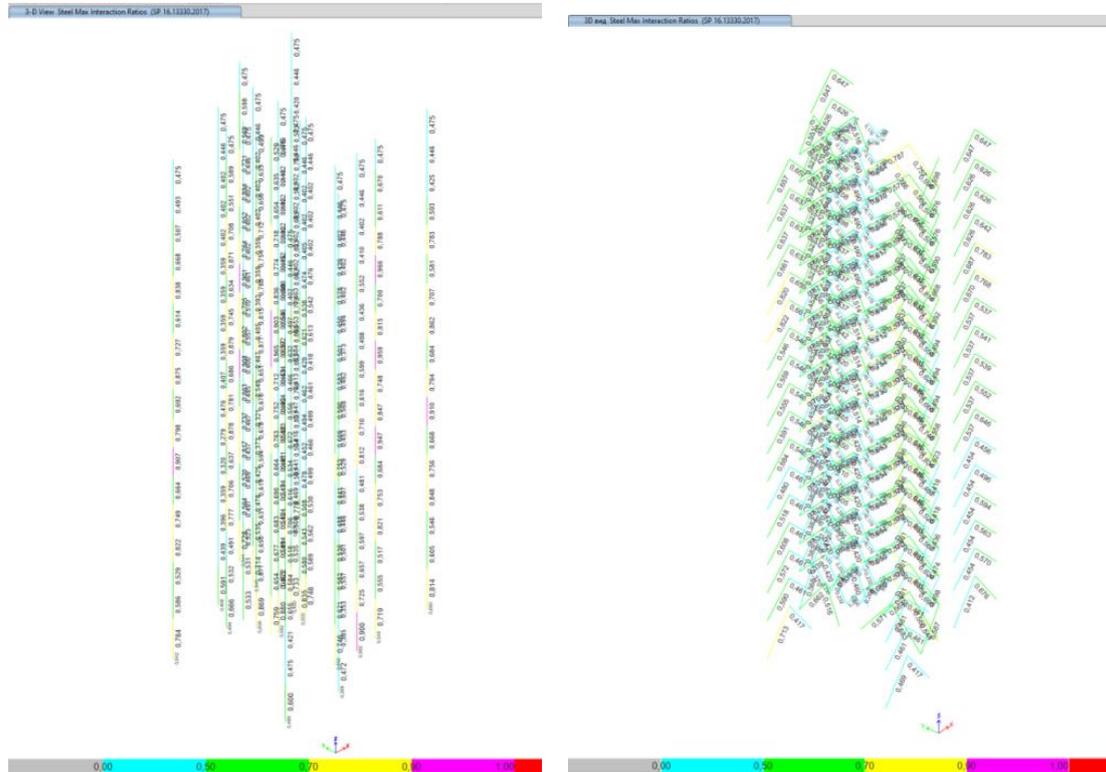


Рис 4. Коэффициенты использования балок (слева) и связей в стандартном расчете

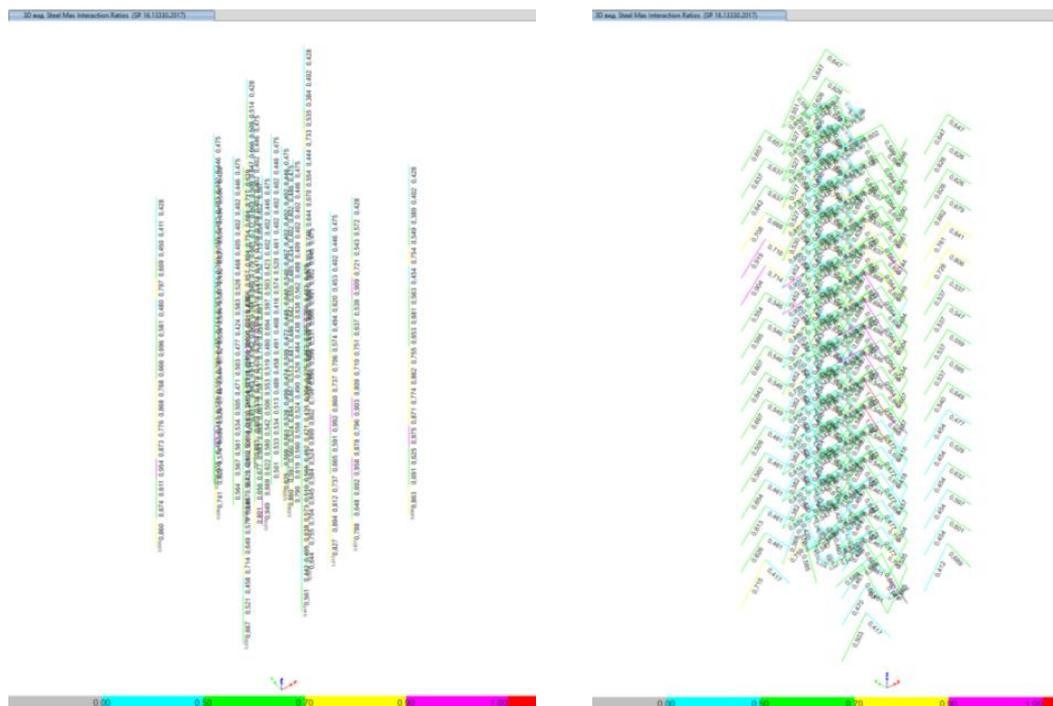


Рис. 5. Коэффициенты использования колонн (слева) и связей при расчете с учетом геометрической нелинейности

Выводы:

1. В ходе выполнения работы была разработана конструктивная система жилого многоэтажного здания на стальном каркасе для реализации в массовой жилой застройке. Конструктивная система была разработана с учетом ограничений, накладываемых на здание для обеспечения продаваемости квартир, была уменьшена толщина перекрытия до минимально требуемой, выполнена компоновка связей и применены адаптированные узлы.

2. Для принятых технических решений был выполнен статический расчет здания в пространственной поставке, ряд факторов, не учитываемых при стандартном расчете, но приближающий расчетную схему к поведению реального здания, был учтен путем выполнения расчета с учетом геометрической нелинейности. После этого были откорректированы сечения элементов и уточнена фактическая металлоемкость здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (kinematic method) / O. G. Novoselov, L. S. Sabitov, K. E. Sibgatullin and others // Construction Materials and Products. – 2023. – 6 (3). – P. 5–17.

2. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (parametric equations of the strength surface) / O. G. Novoselov, L. S. Sabitov, K. E. Sibgatullin and others // Construction Materials and Products. – 2023. – 6(2). P. 104–120.

3. Zharov, A. N. Analysis of international experience in the construction of high-rise buildings and justification of organizational and technological solutions for high-rise construction / A. N. Zharov // Construction materials and products. – 2023. – 6 (4.). – P. 69–85.

4. Feyissa, A. Performance of shear connector in composite slab and steel beam with



reentrant and open through profiled steel sheeting / A. Feyissa, G. Kenea // *Advances in Civil Engineering*. – 2022. – P. 1–14.

5. Rehman, N. Experimental study on demountable shear connectors in composite slabs with profiled decking / N. Rehman, D. Lam, X. Dai, A. F. Ashour // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2016. – Vol. 122. – P. 178–189.

6. Кулешов, В. В. Натурные испытания стального профилированного настила, работающего по двухпролетной схеме, с усиленной опорной зоной на средней опоре / В. В. Кулешов, Н. В. Капырин, Д. П. Попоудин. – Текст : непосредственный // *Вестник науки : международный научный журнал*. – 2023. – № 6 (63). – С. 481–488.

7. Бондарь, В. Т. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния профилированных листов с-44-1.5, с-21-1.5, смс-d02-01a 1.6. / В. Т. Бондарь, Т. В. Назмеева. – Текст : непосредственный // *Неделя науки ИСИ : материалы Всероссийской конференции / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого*. – Санкт-Петербург, 2021. – Часть 2. – С. 417–419.

8. Degtyarev, V. V. Finite element modeling of cold-formed steel deck in bending / V. V. Degtyarev // *Magazine of Civil Engineering*. – 2020. – № 94(2). – С. 129–144.

NAZMEEVA Tatiana Vilsovna, candidate of technical sciences, expert of SCDA¹; BELY Valentin Anatolyevich, applicant of the chair of theoretical mechanics and resistance of materials¹; KLYUEV Sergey Vasilyevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of theoretical mechanics and resistance of materials¹, professor of the chair of Struction Technologies and Structural Materials²

THE USE OF STEEL STRUCTURES FOR THE CONSTRUCTION OF MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS

¹Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia. Tel.: +7 (921) 545-15-45;
e-mail: klyuyev; naztv@mail.ru

²Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia. Tel.: +7 (499) 936-87-87;
e-mail: information@rudn.ru

Key words: steel frame, overlap, profiled flooring, geometric nonlinearity.

The article proposes the use of steel structures for the construction of residential multi-storey buildings in order to increase the economic efficiency of residential construction. Calculations of the structural system of a building constructed with steel structures are made; the main prerequisites for the introduction of steel into housing construction are given.

REFERENCES

1. Novoselov O. G., Sabitov L. S., Sibgatullin K. E., Sibgatullin E.S., Klyuev A. S., Klyuev S. V., Shorstova E. S. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (kinematic method) // *Construction Materials and Products*. – 2023. – № 6. (3). P. 5–17.

2. Novoselov O. G., Sabitov L. S., Sibgatullin K. E., Sibgatullin E.S., Klyuev A. V., Klyuev S.V., Shorstova E.S. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (parametric equations of the strength surface) // *Construction Materials and Products*. – 2023. – № 6 (2). P. 104–120.

3. Zharov A. N. Analysis of international experience in the construction of high-rise



buildings and justification of organizational and technological solutions for high-rise construction // Construction materials and products. – 2023. – № 6 (4). P. 69–85.

4. Feyissa A., Kenea G. Performance of shear connector in composite slab and steel beam with reentrant and open through profiled steel sheeting // Advances in Civil Engineering. – 2022. P. 1–14.

5. Rehman N., Lam D., Dai X., and Ashour A. F. Experimental study on demountable shear connectors in composite slabs with profiled decking // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 122, 2016. P. 178–189.

6. Kuleshov V. V., Капырин N. V., Popoudin D. P. Naturnye ispytaniya stalnogo profilirovannogo nastila, rabotayushchego po dvukhproletnoy skheme, s usilennoy opornoj zonoj na sredney opore [Full-scale tests of steel profiled flooring operating according to a two-span scheme with a reinforced support zone on an average support] // Vestnik nauki [Bulletin of science]. – 2023. – № 6 (63). P. 481–488.

7. Bondar V. T., Nazmeeva T. V. Sravnitelnyy analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya profilirovannykh listov s-44-1.5, s-21-1.5, cimc-d02-01a 1.6. [Comparative analysis of the stress-strain state of profiled sheets c-44-1.5, c-21-1.5, cimc-d02-01a 1.6.] // Nedelya nauki ISI : materialy vsrossiyskoy konferentsii [ISI Science Week : Proceedings of the All-Russian Conference]. Sankt-Peterburg. politekhnich. un-t Petra Velikogo. Saint Petersburg, 2021. P. 417–419.

8. Degtyarev V. V. Finite element modeling of cold-formed steel deck in bending / Magazine of Civil Engineering. – 2020. – № 94(2). P. 129–144.

© Т. В. Назмеева, В. А. Белый, С. В. Клюев, 2024

Получено: 30.07.2024 г.