

Анализ исторического развития архитектуры многоэтажных жилых зданий с металлическим каркасом: опыт США



**Енуленко
Надежда
Владимировна**

магистрант, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: enulenkonn@mail.ru

В статье выполнен анализ трех временных периодов развития архитектуры жилых зданий с металлическим каркасом в США: вторая половина XIX века, 1950-е и 1960-е годы и начало XXI века. Рассматривается, существует ли проблема архитектурного формообразования жилых зданий с металлическим каркасом на протяжении разных исторических периодов развития металлоконструкций и на современном этапе. В 2023 году этот вопрос становится актуальным для России благодаря взятому Минстроем РФ в 2022 году курсу на повышение доли металлоконструкций в строительной отрасли. Исторически в России не сложилась практика широкого применения стальных каркасов в жилищном строительстве, поэтому для рассмотрения выбраны зарубежные аналоги одной из стран-лидеров в этой области. Зарубежный опыт может стать ориентиром для российских архитекторов, проектировщиков, застройщиков и девелоперов.

Ключевые слова: архитектура, архитектура жилых зданий, жилые здания, жилищное строительство, металлический каркас, ЛСТК, легкие металлические конструкции, модульное строительство, металлические конструкции, стальное строительство.

Enulenko N. V., Belyaeva Z. V.

Analysis of the historical development of the architecture of multi-storey residential buildings with a steel frame: the USA experience



**Беляева
Зоя
Владимировна**

кандидат технических наук, заведующая кафедрой, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: z.v.belyaeva@urfu.ru

The article analyzes three time periods in development of the residential buildings architecture with a metal frame in the USA: the second half of the 19th century, the 1950s and 1960s and the beginning of the 21st century. The question is considered whether there is a problem in architectural shaping of residential buildings with a metal frame throughout different historical periods of the development of metal structures and at the present stage. In 2023, this issue becomes relevant for Russia, thanks to the course taken by the Ministry of Construction of the Russian Federation in 2022 to increase the share of metal structures in the construction industry. Historically, the practice of widespread use of steel frames in housing construction has not developed in Russia, therefore, foreign analogues of one of the leading countries in this field have been selected for consideration. Foreign experience can become a guide for Russian architects, designers, builders and developers.

Keywords: architecture, architecture of residential buildings, residential buildings, housing construction, steel frame, LGSF, light steel structures, modular construction, steel structures, steel construction.

Введение

Жилые здания с металлическим каркасом — это объекты, в которых все вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются и передаются на фундамент металлическим каркасом. Архитектура удовлетворяет потребности общества конкретного временного периода — от решения проблем по оздоровлению крупных городов районно-регионального уровня в последней трети XIX в. до реализации стратегии устойчивого развития в начале XXI в. [1].

Развитие науки и техники предлагает архитектору различные конструктивные решения

зданий. История применения металлических конструкций берет начало в XII в. в виде затяжек и скреп для каменной кладки [3], а в дальнейшем развитии металлических конструкций и возникновение современных металлических каркасных систем жилых зданий тесно связано с развитием металлургии и поиском новых архитектурных методов рационализации конструктивно-технологических решений [5]. Здания, представленные в статье, отражают три этапа развития металлических конструкций в США, соответствующие общемировым тенденциям рассматриваемых периодов:

- первые попытки массового использования металлического каркаса в архитектуре жилых зданий — вторая половина XIX в.;
- применение в архитектуре классического металлического каркаса, высотное жилищное строительство — начиная с 1940-х гг.;
- развитие легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) и модульная архитектура на основе стали — XXI в.

Как же обстоят дела в отечественном стальном домостроении? До настоящего времени стальные каркасы применялись в основном в промышленных зданиях, торгово-выставочных и спортивных объектах. В жилых зданиях стальной каркас используется очень редко. В июне 2022 г. Минстрой России подготовил план мероприятий по расширению доли применения металла в строительной отрасли и совершенствованию технического регулирования в области строительства и пожарной безопасности с использованием стальных конструкций. Он включает в себя три блока мер: оперативные (рассчитаны на эффект в 2022 г.), среднесрочные (2023–2024 гг.) и долгосрочные (2025–2026 гг.). Они связаны прежде всего с возникшим на фоне политических событий снижением экспорта металла Россией и последовавшим профицитом отечественного металла.

Данный план предполагает нивелировать те самые, известные строителям, недостатки стальных конструкций [12], которых не имеет их конкурент — железобетон. Это корректировка требований к огнезащите и оценке огнестойкости стальных конструкций, а также актуализация требований к защите таких конструкций от коррозии.

План содействует увеличению доли зданий промышленного и гражданского назначения, возводимых с применением металлоконструкций, включая использование крупногабаритных строительных блок-модулей, сталебетонных конструкций, внедрение в широкое использование современных сталей с повышенными характеристиками прочности, огнестойкости и т. д. В перспективе эти мероприятия должны дать эффект в виде масштабных проектов строительства с использованием металлического каркаса [4]. Будет ли этот план успешно реализован с учетом того, что Россия, в отличие от некоторых других стран мира, не имеет обширного опыта в применении металлического каркаса в архитектуре жилых зданий?

Методология исследования

Исторически в России не сложилась практика использования металлического каркаса в архитектуре жилых зданий по причине подхода к применению стали преимущественно на нужды военно-промышленного комплекса в СССР. Этого нельзя сказать про Японию, где использование стали в жилищном строительстве составляет 16,6%, Великобританию и Китай, где этот показатель 15% и США — 12% (по данным на 2022 г.). В России же эта цифра не достигает и одного процента. Похожие объемы использования стальных каркасов в жилых зданиях наблюдаются в странах Юго-Восточной Европы, где сильны традиции строительства домов из каменных материалов и железобетонных конструкций [13].

Для увеличения объема стальных каркасов в жилищном строительстве в России целесообразно рассмотреть опыт мировых лидеров в этом вопросе [7]. В статье осуществлен анализ исторического развития архитектуры жилых зданий на металлическом каркасе в США второй половины XIX в., 1950-х и 1960-х гг. и начала XXI в.

Под каким углом можно анализировать архитектуру? Ответ могут дать многие авторы. Согласно книге И. Шевелева, архитектуру характеризуют такие понятия, как



Иллюстрация 1. Жилые дома в Сохо — историческом квартале Нью-Йорка. Постройки второй половины XIX в. Нью-Йорк, США. Арх. не известен. Источник: <http://fotki.yandex.ru/users/nemirovskaya-izabella/view/1074208? p=2>

пропорция и симметрия, геометрическое подобие и средние отношения [9]. Согласно современным тенденциям, архитектуру следует рассматривать под углом концепции устойчивого развития. Цели устойчивого развития состоят в том, чтобы удовлетворить основные потребности людей и улучшить качество их жизни, одновременно гарантируя сохранение и улучшение природных систем, ресурсов и биоразнообразия, от которых они зависят, как сегодня, так и для будущих поколений. Непосредственно строительство и весь последующий жизненный цикл объекта также связаны с более широкими вопросами влияния объекта на окружающую среду, включая глобальное потепление, изменение климата, загрязнение и истощение природных ресурсов. Наряду с термином «устойчивая архитектура» часто употребляют такие понятия, как «зеленая архитектура», «энергоэффективное и умное строительство», «экологическая архитектура», «архитектура высоких технологий» и др. [14].

Одним из способов достижения устойчивости является внедрение устойчивых методов проектирования и строительства, таких как энергоэффективное проектирование и сокращение строительных отходов на протяжении всего жизненного цикла здания.

Первые попытки массового использования металлического каркаса в архитектуре жилых зданий

Сохо является историческим кварталом Нью-Йорка, знаменитым своими «чугунными» домами, часть из которых являются жилыми, часть — коммерческими. Большинство зданий относится ко второй половине XIX в. В их архитектуре прослеживаются черты неоклассицизма и даже барокко, например, лучковый фронтон, колонны коринфского ордера, богато орнаментированные карнизы (Иллюстрация 1). Характерно, что металл используется не только в качестве несущего каркаса, но и для декорирования фасада, а пожарные лестницы, вынесенные на главные фасады, ограждения балконов, чугунные балюсы, карнизы и маскароны придают этому кварталу особую узнаваемость. Фасад каждого здания симметричен относительно центральной оси. Здания, часто имеющие даже разную этажность, сгруппированы между собой так, что между ними не остается промежутков. При том, что здания выполнены в одном стиле, они не конкурируют между собой, но каждое по-своему индивидуально: приглушенные цвета фасадов из кирпичной кладки, повторяющиеся ритмы окон и колонн. Первые этажи отли-



Иллюстрация 2. Жилой комплекс Lake Shore Drive. Чикаго, США. Арх. Мис ван дер Роэ. 1951 г. Источник: <https://clck.ru/34gMpg>



Иллюстрация 3. Жилой комплекс 860–880 Lake Shore Drive. Вестибюль. Чикаго, США. Арх. Мис ван дер Роэ. 1951 г. Источник: <https://clck.ru/34gMrm>



Иллюстрация 4. Жилой комплекс Lafayette Towers. Детройт, США. Арх. Мис ван дер Роэ. 1963 г. Источник: https://housing.totalarch.com/files/mac/sai/sample/01_01.jpg



Иллюстрация 5. Жилой дом Carmel Place. Нью-Йорк, США. Арх. бюро nARCHITECTS. 2016 г. Источник: <https://clck.ru/34gMtB>

чаются от вышележащих. На фасадах первых этажей часто располагаются витрины магазинов. Сейчас Сохо — престижный район Нью-Йорка, и это видно по качеству фасадной отделки — она в хорошем состоянии [8]. Что касается опыта для российской архитектуры, то можно обратить внимание на традиции создания кварталов с разнообразными решениями в единой стилистике, даже когда параметры проекта не позволяют ставить задачу масштабного ансамбля.

Применение классического металлического каркаса, высотная архитектура жилых домов

В послевоенные годы в США на первое место выходит архитектурная школа, созданная Мисом ван дер Роэ. К началу 1950-х гг. процессы стихийной урбанизации и автомобилизации привели к созданию огромных агломераций. Власти пытаются ослабить отрицательные последствия стихийного роста городов интенсивным строительством скоростных магистралей непрерывного движения.

В 1950-е гг. разработан проект генеральной реконструкции Чикаго, который должен решить проблему взаимосвязи застройки города с озером Мичиган. В это время Мис ван дер Роэ спроектировал жилой комплекс Lake Shore Drive (Иллюстрация 2). Две 26-этажные башни расположены на берегу озера Мичиган. Здания стоят под углом 90° друг к другу, открывая с одной стороны вид на озеро, с другой — на центр Чикаго. Их каркас сделан из металлических колонн постоянной сетки

с шагом в 21 фут (6,5 м), а фасад выполнен навесным. На первых этажах видны колонны, за которыми отступает вестибюль, за счет этого здание как бы приподнято над землей (Иллюстрация 3).

Архитектор не стремится спрятать металлический каркас, как это требуют современные правила пожарной безопасности, а, наоборот, подчеркивает его. Металл покрыт тонким слоем бетона, после чего уже на бетон нанесена черная полосовая сталь, создающая четкие горизонтальные и вертикальные ритмы. В совокупности с панорамными окнами в пол они создают эффект «костей» (каркас) и «кожи» (остекление) [15].

В своем творчестве Мис ван дер Роэ постепенно все дальше отходил от принципов функционализма, вырабатывая собственный неповторимый стиль — максимальное выявление конструктивной основы и стремление к универсальной лаконичной форме. Для функционализма в чистом виде характерен павильонный тип объемно-пространственной композиции, однако Мис ван дер Роэ выдвинул идею «универсального пространства», т. е. построения здания в виде единого нерасчлененного внутри объема, в котором были бы возможны любые перепланировки, диктуемые временем, этого он добивается как раз применением металлического каркаса в основе здания [2].

Другой реализованный проект Миса ван дер Роэ — жилой комплекс Lafayette Towers (Иллюстрация 4), построенный в 1963 г. Две 22-этажные башни изначально входили в состав проекта реконструкции крупного промышленного города Детройта, прежде всего, предполагавшего решить проблему разгрузки его центра от автотранспорта.

Из множества проектов реконструкции разных районов города на высоком градостроительном уровне удалось преобразовать только один — Лафайетт-парк. Мис ван дер Роэ создал проект жилого комплекса на 7 тыс. жителей, центром которого является парк площадью 11 га, где размещаются школы, спортплощадки и торговый центр [2].

Здания Миса ван дер Роэ представляют собой удачный компромисс для решения проблем городов средствами архитектуры, актуальный до настоящего времени. Они достаточно просты, симметричны. Основной прямоугольный модуль, подобный форме фасадов, задает узнаваемый ритм. Архитектору удалось сделать обычные жилые здания достопримечательностью городов, в которых они находятся, что случается не часто.

Развитие легких стальных тонкостенных конструкций и модульное строительство на основе стали XXI в.

Решая проблему доступного жилья в современном Нью-Йорке в рамках конкурса adAPT NYC, архитекторы из nARCHITECTS в 2013 г. разработали проект жилого дома (Иллюстрация 5) для домохозяйств



Иллюстрация 6. Изготовление модулей для Carmel Place. Завод Capsys. Бруклин, Нью-Йорк, США. Источник: <https://narchitects.com/work/carmel-place/>



Иллюстрация 7. Семизэтажный жилой дом Stack building. Манхэттен, Нью-Йорк, США. Арх. бюро The Gluck. 2014 г. Источник: <https://gluckplus.com/project/the-stack>

из одного и двух человек на участке в Кипс-Бей в Нью-Йорке (тогда еще под названием My Micro NY) [10]. Здание получило серебряный сертификат LEED [6].

Квартиры-студии имеют площадь от 24 до 33 м². Архитекторы поставили перед собой задачу продумать такой дизайн «микрожилья», который не снижает качество жизни домовладельцев, предлагая высокие потолки, обилие света и обширные места общего пользования. Сократив до минимума площади пола квартир, создатели проекта предлагают по максимуму использовать пространство квартир по высоте, встраивая дополнительные места для хранения над ванными комнатами, гибкую встроенную мебель, высокие раздвижные окна и французские балконы, максимально увеличивающие воспринимаемый объем пространства [10].

Здание стало самым высоким модульным зданием на Манхэттене. Его модули из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) были изготовлены на месте на Бруклинской военно-морской верфи на заводе Capsys (Иллюстрация 6).

На фасадах в качестве отделки используются четыре цвета кирпича, что связано с местным контекстом. В Нью-Йорке кирпич является традиционным для жилищного строительства. «Задуманное как микроскопом городского горизонта, здание внешне напоминает четыре стройные «мини-башни», соединяющие концепцию микрожизни с формой и идентичностью здания» [11].

Здание Stack building от архитектурного бюро The Gluck — пример жилья для семей со средним доходом в районе Инвуд на Манхэттене (Иллюстрация 7). Это пилотный проект по разработке качественного и экономически жизнеспособного решения для стратегического восстановления и заполнения пробелов в устаревшей жилищной инфраструктуре в городе.



Иллюстрация 8. Блоки-модули для здания Stack building на заводе Deluxe Building Systems. Пенсильвания, США. Источник: <https://gluckplus.com/project/the-stack>

Здание было возведено из блоков-модулей, уложенных друг на друга подобно тетрису (Иллюстрация 8) [16].

Современное модульное строительство делает большой шаг в сторону устойчивости

Модульное здание выигрывает за счет присущих ему качеств и возможностей, повышающих устойчивость строительного проекта. Например, модульность может значительно сократить продолжительность строительства (при строительстве Stack building она была сокращена на 30%) за счет повышения производительности и эффективности и минимизации задержек, связанных с погодными условиями, сокращения выбросов углерода за счет транспортировки на площадку только готовых модулей и сведения к минимуму потерь материалов и природных ресурсов.

Первый фактор устойчивости — экономическая эффективность. Сокращение периода строительства благодаря высокой эффективности и производительности вносит свой вклад в экономическую основу устойчивости за счет экономии косвенных финансовых затрат проекта.

Кроме того, поскольку модули изготавливались на заводе, повышалась эффективность труда за счет более легкого доступа к инструментам, меньшего количества поставок материалов и более четкого распределения бригад.

Второй фактор устойчивости — социальная устойчивость. Использование модульной конструкции повышает безопасность рабочих, уменьшая их подверженность неблагоприятным погодным условиям, экстремальным температурам и текущим или опасным операциям, и в то же время обеспечивает лучшие условия труда. Модульная конструкция уменьшает при доставке заторы на дорогах, а также сокращает шум и пыль на строительной площадке, что снижает количество конфликтов с местными жителями. Поскольку некоторые жилые единицы были переданы жителям с низким и средним доходом, это удовлетворяет потребность в доступном жилье в Нью-Йорке.

Третий фактор — экологическая устойчивость. По сравнению с обычными строительными площадками, The Stack сводит к минимуму воздействие на окружающую среду на стро-

ительной площадке благодаря модульной конструкции, которая позволяет сократить отходы материалов, загрязнение воздуха и воды, пыль и шум, а также общие затраты на электроэнергию, хотя сборные конструкции и связанные с ними технологии также влекут за собой более высокие транспортные расходы и затраты на электроэнергию на удаленных объектах. Поскольку более 50% проекта было завершено на заводе, это способствовало предоставлению жильцам высококачественных жилых единиц, что значительно снизит потребление энергии каждой единицей на этапе эксплуатации здания. Это снижение энергопотребления уменьшит как счета за электроэнергию жильцов, так и выбросы углерода в результате потребления энергии. Наконец, когда срок службы модульных зданий подходит к концу, их можно демонтировать и использовать в других проектах.

Модульная архитектура может достичь целей устойчивого развития за счет повышения эффективности использования ресурсов, повышения качества продукции, сокращения продолжительности проекта и снижения общих затрат на строительство [17].

Жилые дома «Carmel Place» и «Stack building» представляют собой образцы современной устойчивой архитектуры жилых зданий. Их отличают внимание к контексту, минимизация вреда, наносимого окружающей среде, снижение экономических затрат при строительстве, проектировании и эксплуатации жилья, при этом происходит повышение комфортности жилья в условиях жестких ограничений по размеру площади квартир (создание доступного жилья).

Заключение

Стальные конструкции для жилых зданий использовались в совершенно различных стилях архитектуры — от неоклассицизма до функционализма и современной устойчивой архитектуры, а также применяются в зданиях, удостоенных экологических сертификатов. Жилые здания на основе металлического каркаса пережили эволюцию от применения чугуна и заклепок до современной высокопрочной стали, ЛСТК, современной модульной архитектуры и всевозможных способов сварки, от низкой этажности до высотных строений и обратно. Массовое применение металлических каркасов в архитектуре жилых зданий в современной России не приведет к проблемам, связанным с архитектурным формообразованием, а богатый зарубежный опыт только поможет российским архитекторам, проектировщикам, застройщикам и девелоперам продвигаться в этом направлении.

Список использованной литературы

- [1] Балута С. А. Влияние архитектуры на культуру и задачи архитектуры в настоящее время // Наука, образование и экспериментальное проектирование: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., профес.-препод. состава, молодых ученых и студ., Москва, 7–11 апреля 2014 г. — М.: МАРХИ, 2014. — С. 590–591.
- [2] Всеобщая история архитектуры. Т. 11. Архитектура капиталистических стран XX в. / под ред. А. В. Иконникова, Ю. Ю. Савицкого, Н. П. Былинкина и др. — М.: Стройиздат, 1973. — 887 с.
- [3] Металлические конструкции: учебник / под ред. Ю. И. Кудишина. — М.: Изд. центр «Академия», 2011. — 688 с.
- [4] Минстрой России утвердил меры по увеличению потребления отечественной металлопродукции в строительстве. — URL: [potrebleniya-otchestvennoy-metalloproduksii-v-stroit/ \(дата обращения: 18.04.2023\).](https://www.minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-utverdil-mery-po-velicheniyu-

</div>
<div data-bbox=)

- [5] Прохожев Н. О. Анализ истории развития каркасных систем жилых зданий из легких металлоконструкций // Приволжский научный журнал. — 2021. — № 1 (57). — С. 108–115.
- [6] Сертификация LEED — информация о системе. — URL: <https://hpb-s.com/news/leed-certification/> (дата обращения: 18.04.2023).
- [7] Соколов М. Стальное строительство многоквартирных домов. — URL: https://vmeste.severstal.com/upload/medialibrary/55c/Stalnoe-stroitelstvo-mnogokvartirnykh-zhilykh-domov_21042022.pdf (дата обращения: 18.04.2023).
- [8] Фремpton К. Современная архитектура: критический взгляд на историю развития / пер. с англ. Е. А. Дубченко; под ред. В. Л. Хайта. — М.: Стройиздат, 1990. — 535 с.
- [9] Шевелев И. Ш. Принцип пропорции: о формообразовании в природе, мерной трости древнего зодчего, архитектурном образе, двойном квадрате и взаимопроникающих подобиях. — М.: Стройиздат, 1986. — 200 с.
- [10] Carmel Place. — URL: <https://narchitects.com/work/carmel-place/> (дата обращения: 18.04.2023).
- [11] Carmel Place (formerly My Micro NY). — URL: <https://architizer.com/projects/my-micro-ny/> (дата обращения: 18.04.2023).
- [12] Deffenbaugh P. Obstacles to Acceptance of Steel Framing in Residential Construction // Metal Construction News. 2015. — URL: <https://www.metalconstructionnews.com/articles/obstacles-to-acceptance-steel-framing-in-residential-construction>.
- [13] Milić F., Markulak D., Dokšanović T. Use of structural steel in residential construction // Gradevinar. — 2022. — № 5. — P. 419–431.
- [14] Pearce A., Ahn Y.H. Sustainable Buildings and Infrastructure: Paths to the Future. — London: Routledge, 2017. — 648 p.
- [15] Perez A. AD Classics: 860–880 Lake Shore Drive/Mies van der Rohe. — URL: <https://www.archdaily.com/59487/ad-classics-860-880-lake-shore-drive-mies-van-der-rohe> (дата обращения: 18.04.2023).
- [16] The Stack. — URL: <https://gluckplus.com/project/the-stack> (дата обращения: 18.04.2023).
- [17] Yong Han A., Kyoon-Tai K. Sustainability in modular design and construction: a case study of 'The Stack' // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. — 2014. — № 5 (4). — P. 250–259.

References

- [1] Baluta S. A. Vliyanie arhitektury na kul'turu i zadachi arhitektury v nastoyashchee vremya // Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie: tez. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., profes.-prepod. sostava, molodyh uchenykh i stud., Moskva, 7–11 aprelya 2014 g. — M.: MARHI, 2014. — S. 590–591.
- [2] Vseobshchaya istoriya arhitektury. T. 11. Arhitektura kapitalisticheskikh stran XX v. / pod red. A. V. Ikonnikova, Yu. Yu. Savickogo, N. P. Bylinkina i dr. — M.: Strojizdat, 1973. — 887 s.
- [3] Metallicheskie konstrukcii: uchebnik / pod red. Yu. I. Kudishina. — M.: Izd. centr «Akademija», 2011. — 688 s.
- [4] Ministroy Rossii utverdil mery po uvelicheniyu potrebleniya otechestvennoj metalloprodukcii v stroitel'stve. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/>

- press/minstroy-rossii-utverdil-mery-po-uvelicheniyu-potrebleniya-otechestvennoy-metalloproduksii-v-stroitel'stvo/ (data obrashcheniya: 18.04.2023).
- [5] Prohozhev N. O. Analiz istorii razvitiya karkasnyh sistem zhilyh zdaniy iz legkih metallokonstrukcij // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2021. – № 1 (57). – S. 108–115.
 - [6] Serifikatsiya LEED – informatsiya o sisteme. – URL: <https://hpb-s.com/news/leed-certification/> (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [7] Sokolov M. Stal'noe stroitel'stvo mnogokvartirnyh domov. – URL: https://vmeste.severstal.com/upload/medialibrary/55c/Stalnoe-stroitelstvo-mnogokvartirnykh-zhilykh-domov_21042022.pdf (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [8] Frempton K. Sovremennaya arhitektura: kriticheskij vzglyad na istoriyu razvitiya / per. s angl. E. A. Dubchenko; pod red. V. L. Hajta. – M.: Strojizdat, 1990. – 535 s.
 - [9] Shevelev I. Sh. Princip proporcii: o formoobrazovanii v prirode, mernoj trosti drevnego zodchego, arhitekturnom obraze, dvojnomo kvadrate i vzaimopronikayushchih podobiyah. – M.: Strojizdat, 1986. – 200 s.
 - [10] Carmel Place. – URL: <https://narchitects.com/work/carmel-place/> (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [11] Carmel Place (formerly My Micro NY). – URL: <https://architizer.com/projects/my-micro-ny/> (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [12] Deffenbaugh P. Obstacles to Acceptance of Steel Framing in Residential Construction // Metal Construction News. 2015. – URL: <https://www.metalconstructionnews.com/articles/obstacles-to-acceptance-steel-framing-in-residential-construction>.
 - [13] Mihić F., Markulak D., Dokšanović T. Use of structural steel in residential construction // Gradevinar. – 2022. – № 5. – P. 419–431.
 - [14] Pearce A., Ahn Y. H. Sustainable Buildings and Infrastructure: Paths to the Future. – London: Routledge, 2017. – 648 p.
 - [15] Perez A. AD Classics: 860–880 Lake Shore Drive/Mies van der Rohe. – URL: <https://www.archdaily.com/59487/ad-classics-860-880-lake-shore-drive-mies-van-der-rohe> (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [16] The Stack. – URL: <https://gluckplus.com/project/the-stack> (data obrashcheniya: 18.04.2023).
 - [17] Yong Han A., Kyoong-Tai K. Sustainability in modular design and construction: a case study of 'The Stack' // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. – 2014. – № 5 (4). – P. 250–259.

Статья поступила в редакцию 08.08.2023.
Опубликована 30.09.2023.

Enulenko Nadezhda V.

Master's student, Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: enulenkona@mail.ru

Belyaeva Zoya V.

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: z.v.believa@urfu.ru
ORCID ID: 0000-0001-7807-7102