



УДК 624.014: 69.057

**Р. В. МОТЫЛЕВ**, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. организации строительства; **А. А. КОЧЕРЫГИН**, аспирант каф. организации строительства

## РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ НА ОСНОВЕ КАРКАСА ИЗ ЛСТК

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, д. 4.

Тел.: (812) 575-05-34; факс: (812) 316-58-72; эл. почта: motylev@yandex.ru, saschki2@mail.ru

*Ключевые слова:* легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), ассоциации развития стального строительства (АРСС), строительство, каркасные технологии.

---

*В статье рассмотрены достижения и перспективы развития технологии строительства из ЛСТК в России. Приведены примеры впервые реализованных проектов по данной технологии.*

---

**Введение.** В России применение в строительстве каркаса из лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) начинает свое развитие в конце 90-х годов XX века. Однако тогда не было ни нормативной базы для использования ЛСТК, ни опыта их применения, в связи с чем развитие этого направления происходило медленно и сложно.

Здания из легких металлических конструкций относятся к быстровозводимым [1-3], возводятся по каркасной технологии со сборкой каркаса по месту и по модульной технологии. Основным заинтересованным потребителем использования технологий модульного строительства является государство, так как поставленная на поток технологическая цепочка производства и монтажа модульных сооружений позволяет в короткие сроки возводить множество объектов социальной инфраструктуры [4].

В последние годы технология ЛСТК завоевывает все большую популярность в России и ограничивается не только гражданским и промышленным сектором, но и активно используется в специальном строительстве.

Центральное проектное объединение (ЦПО) Спецстроя России разрабатывает альбом архитектурных и конструктивных решений различных сооружений, выполненных из ЛСТК, а уже подготовленные проекты внедряются на армейских стройках [5].

В 2020 г. ЛСТК оказались незаменимыми при возведении ковидных госпиталей. В общем, эти технологии находят применение в здравоохранении (клиники, больницы, фельдшерско-акушерские пункты), в социальной сфере (школы, детские сады), в городской инфраструктуре и в жилищном строительстве.

Согласно данным анализа рынка быстровозводимых зданий (на легком металлическом каркасе) по технологии ЛСТК в России, опубликованным агентством *Discovery research group*, объем рынка быстровозводимых зданий по



технологии ЛСТК в России в 2021 г. составил 4751,2 тыс. кв<sup>2</sup> (рис. 1). Основная доля рынка приходится на быстровозводимые здания по технологии ЛСТК нежилого назначения.

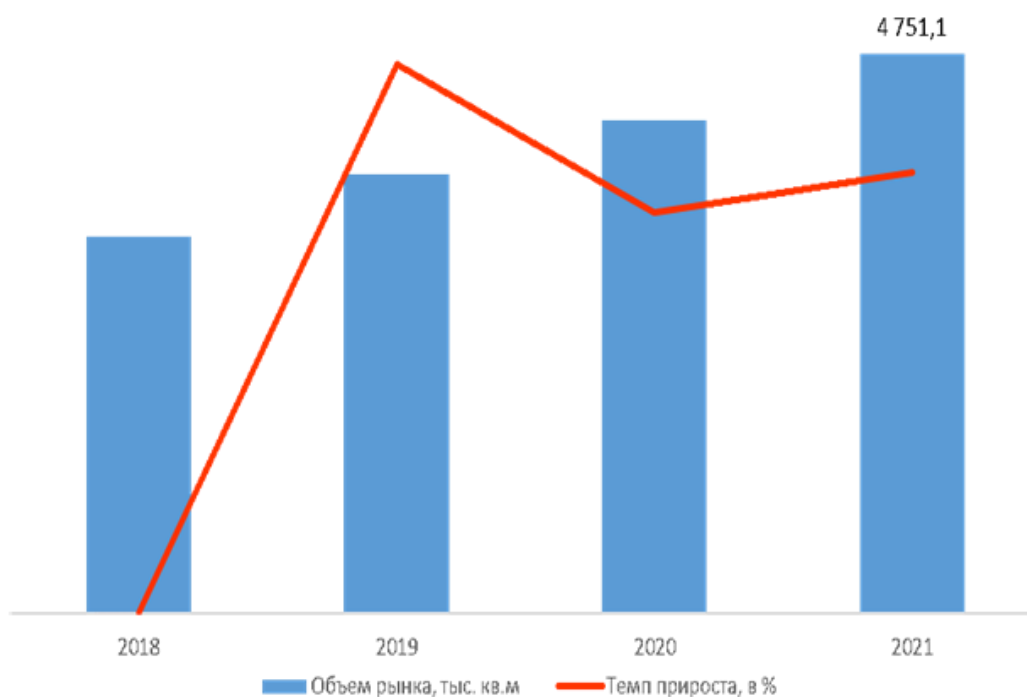


Рис. 1. Объем рынка быстровозводимых зданий по технологии ЛСТК в России в 2018–2021 гг., кв<sup>2</sup>

Ключевыми факторами роста рынка быстровозводимых зданий по технологии ЛСТК в первую очередь являются преимущества технологии (точные геометрические размеры металлических элементов, отсутствие мокрых процессов и возможность возведения в любое время года, высокая скорость сборки и низкие трудозатраты, высокая заводская готовность и доступная цена ЛСТК). Однако большой рост цен на металл в 2021 г. внес свои коррективы [6].

В настоящее время в России остаются актуальными проблемы проектирования, строительства и эксплуатации быстровозводимых зданий и сооружений с применением технологии на каркасе из ЛСТК. Данные проблемы активно исследуют и решают многочисленные отечественные исследователи, научные и проектные учреждения Минстроя, Минобороны, МЧС и других ведомств. Авторами большого количества публикаций последних лет, касающихся развития быстровозводимых конструкций, являются: Лебедева М. С., Назмеева Т. В., Орлова А. В., Жмарин Е. Н., Сычев С. А., Зуева А. В., Нефедов Г. В. и др. [7-11]. Но, несмотря на это, Россия все же отстает от других стран в развитии технологии ЛСТК на 30 лет.

**Объектом исследования** является изучение проблем развития и распространения технологии строительства из ЛСТК в России.

**Цель исследования** – выявление факторов, сдерживающих активное развитие технологии ЛСТК в России.



### **Преимущества технологии ЛСТК по сравнению с общепринятыми технологиями строительства из камня и дерева**

Преимущества применения технологии ЛСТК по сравнению с общеизвестными технологиями строительства из камня, дерева, бетона описаны уже во многих научных трудах [5-8], что, в свою очередь, увеличивает доверие к данной технологии и ее более широкому распространению в разных сферах строительства.

Основные преимущества легких стальных тонкостенных конструкций заключаются в скорости возведения объектов, всепогодности, прочности и качестве конструкций, поскольку они производятся в заводских условиях. ЛСТК имеют хорошую сочетаемость с другими технологиями, обеспечивают большую вариативность отделки. Здания, построенные на основании ЛСТК, имеют высокую энергоэффективность, тепло- и звукоизоляцию, так как они фактически на 98% состоят из утеплителя.

Такие здания можно быстро построить, а затем разобрать и собрать на новом месте.

Наборы металлоконструкций и утеплителя легко доставлять в труднодоступные места, куда другие стройматериалы привезти было бы очень проблематично.

Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета (ИСИ СПб ГПУ) провёл комплексный анализ пяти ключевых технологий строительных конструкций: кирпич, пеноблок, брус клееный, деревянный каркас, легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК).

Конструкция стен была оценена по пятибалльной шкале по 20 параметрам, которые можно условно разделить на 5 групп:

- физические параметры;
- условия строительства;
- дополнительные работы/реконструкция;
- экономические параметры;
- вероятностные параметры.

Результаты анализа представлены в таблице.

#### **Комплексный анализ технологий строительных конструкций**

Конструкция стены	Стоимость строительства под чистовую отделку т.р./м <sup>2</sup>	Сумма баллов
ЛСТК	16,5	98
Деревянный каркас	15,2	92
Пеноблок	19,0	80
Брус клееный	24,2	78
Кирпич	21,7	77

#### **Развитие нормативной базы для применения технологии ЛСТК**

По мнению многих исследователей, основной проблемой активного развития данной технологии в России является отсутствие норм их проектирования, расчетов, эксплуатации [11-13].



Объемы строительства из ЛСТК в России пока не слишком велики, но их популярность все больше расширяется и возникает необходимость по введению ее в нормативные рамки. О реальном применении ЛСТК в строительстве шла речь на конференции «Современные тенденции строительства быстровозводимых зданий. Будущее и настоящее», прошедшей 12 августа 2022 года в рамках Уральского дискуссионного клуба ЛСТК PRO.

На сегодняшний день технология ЛСТК находятся в правовом поле. За последние годы значительно развилась нормативная база. Раньше участники этого рынка должны были использовать технические условия, рекомендации производителей, но в 2018 г. вышел СП 260 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнуто́тых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования», который фактически легализовал эти конструкции. К настоящему времени создан уже большой объем нормативной базы. Есть ГОСТы, Своды правил, которые упорядочивают проектирование и производство конструкций.

Очень важную роль в развитии отрасли ЛСТК сыграл ГОСТ Р 58774-2019 «Стены наружные каркасно-обшивные самонесущие (КОС) и ненесущие с каркасом из стальных холодногнуто́тых оцинкованных профилей», вступивший в действие в 2020 г. Задача стандарта заключается в разработке единых требований к стенам наружным КОС, обеспечивающим безопасность и высокие эксплуатационные характеристики, современный уровень энергоэффективности.

В начале 2021 г. обновился ГОСТ 23118 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия».

Проблемой остается защита строительных конструкций от коррозии и противопожарная защита.

Серьезной, можно даже сказать, главной проблемой для отрасли остаются кадры. Применение ЛСТК требует определенной подготовки проектировщиков в вузах, что на текущий момент не слишком распространено и держится в основном на отдельных энтузиастах. В 2018 г. в АРСС появилось направление ЛСТК, которое развивается при поддержке металлургических комбинатов.

### **Направления применения в России технологии строительства из ЛСТК и примеры реализации знаковых проектов по данной технологии**

В России общепринятой областью применения ЛСТК является малоэтажное и промышленное строительство [14-18].

А также одним из возможных направлений применения данной технологии может являться реконструкция зданий и сооружений.

Применение технологии ЛСТК при реконструкции зданий охватывает множество отраслей: промышленное (заводы, фабрики), гражданское (жилые дома, общественные здания, торговые комплексы) и сельскохозяйственное (объекты сельского хозяйства) строительство. Но в большей степени технология легких стальных тонкостенных конструкций может проявить себя в гражданском и сельскохозяйственном строительстве. Реконструкция 4–5-этажных зданий по технологии легких стальных тонкостенных конструкций, за счет надстройки мансардных помещений, позволяет улучшить эксплуатационные характеристики, связанные с энергосбережением и сроками эксплуатации. Незначительный вес ЛСТК не требует усиления фундамента, не оказывает существенной нагрузки на несущие элементы здания [19].



История производства конструкций из легкой стали в России начинается в 2013 году в Удмуртии, тогда был сдан в эксплуатацию первый многоквартирный жилой дом, построенный компанией НПО «Имекс». Компания НПО «Имекс», единственный в Удмуртии производитель ЛСТК по технологии *FrameCad*™, осуществила проектирование и производство каркаса для многоквартирного дома [5].

Строительство здания под ключ общей площадью 930 кв<sup>2</sup> заняло всего 5 месяцев благодаря применению современной каркасной технологии строительства ЛСТК (рис. 2).



а

б

Рис. 2. Жилой дом с. Сигаево, Удмуртской Республики (под г. Сарапулом): а – каркас (этап возведения), б – общий вид жилого дома после завершения строительства

В 2018 году сдан жилой дом высотой шесть этажей в д. Кривское Калужской области (рис. 3), он же является самым высоким в России жилым зданием, реализованным на несущем каркасе из легких металлических холодногнутых оцинкованных профилей [11].



Рис. 3. Жилой дом, Калужская область, д. Кривское

В 2020 году для борьбы с коронавирусом в Москве на территории ТиНАО в рекордно короткие сроки был построен многофункциональный инфекционный центр. На 40 гектарах практически за месяц было возведено 50 сооружений общей площадью 80 тысяч квадратных метров (рис. 4).

Строительство началось 12 марта 2020 года, и уже 20 апреля госпиталь принял первых пациентов.





Рис. 4. Строительство многофункционального инфекционного центра по технологии ЛСТК

### Заключение

Технология строительства из ЛСТК в России все больше находит свое применение в промышленном, социальном и частном секторе строительства. В реализации жилого многоквартирного фонда пока остается на низком уровне.

Описанные исследователями в научных трудах преимущества технологии строительства из ЛСТК по отношению к известным общепринятым технологиям строительства из камня и дерева, предполагают ее перспективное и активное развитие, но на основании изученного материала, литературы, мнения специалистов и исследований выявлен ряд сдерживающих факторов, а именно:

- Отсутствие достаточной нормативной базы (СП, ГОСТ, ПБ и т.д.).
- Отсутствие типовых решений по многоквартирному строительству.
- Недостаток опыта реализации и эксплуатации.
- Отсутствие обученных кадров.
- Отсутствие обучающих программ в ВУЗах.
- Отсутствие государственных программ поддержки.

В настоящее время тенденция развития технологии строительства из ЛСТК в России имеет большие перспективы, изучение технологии выходит за рамки энтузиастов и внедрением стандартизации уже занимаются проектные учреждения Минстроя, Минобороны, МЧС и других ведомств.

Разработанные и уже принятые на сегодняшний день стандарты, СП, ГОСТы подтверждают востребованность и актуальность данной технологии в России. Мы уверены, в том, что в будущем данная методика найдет свое применение в более широком спектре строительной отрасли.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мушинский, А. Н. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений / А. Н. Мушинский, С. С. Зимин. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4 (31). – С. 182-193.
2. Николенко, С. Д. Быстровозводимые здания и сооружения / С. Д. Николенко, А. Н. Щиенко. – Текст : непосредственный // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2021. – № 2. – С. 159-168.
3. Гамаюнова, О. С. Энергоаудит и энергоэффективность модульных военных городков / О. С. Гамаюнова, А. Е. Радаев. – Текст : непосредственный // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения : материалы III Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25-26 сентября 2019. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 63-67.
4. Давыдов, Н. С. Обзор модульного строительства в России: тенденции, задачи, перспективы / Н. С. Давыдов, В. И. Ямов. – Текст : электронный // Русский журнал строительных наук и технологий. – 2023. – Том 9 (2). – DOI 10.15826/rjst.2023.2.005.
5. Эффективность применения легких стальных тонкостенных конструкций в России / В. С. Гасинец, В. С. Нашко, З. В. Сухорученко, О. В. Старова. – Текст : электронный // Синергия наук : международный электронный журнал. – 2019. – № 42. – С. 559-568. – URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article4955?ysclid=m39w5jk23d545336401>.
6. Discovery research group. Анализ рынка быстровозводимых зданий (на легком металлическом каркасе) по технологии ЛСТК в России (с базой импорта-экспорта). 2022. – URL <https://drgroup.ru/1130-Analiz-rynka-bystro-zdaniy.html>. – Текст : электронный.
7. Лебедева, М. С. Каркасные гражданские здания с ЛСТК ограждающими конструкциями / М. С. Лебедева, Т. В. Назмеева. – Текст : непосредственный // Интернаука. – 2021. – № 43-1 (219). – С. 8-11.
8. Абдусаттархужа, С. С. Преимущества технологии ЛСТК для сокращения расходов при возведении наземной инфраструктуры / С. С. Абдусаттархужа, Т. В. Назмеева. – Текст : непосредственный // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения : материалы III Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25-26 сентября 2019. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 122-125.
9. Орлова, А. В. Энергетическая эффективность домов из ЛСТК / А. В. Орлова, Е. Н. Жмарин, К. О. Парамонов. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 6 (11). – С. 1-13.
10. Зуева, А. В. Быстровозводимые здания и модульное строительство / А. В. Зуева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 3(107). – С. 100-103.
11. Нефедов, Г. В. Строительство домов средней этажности на каркасах из легких стальных конструкций / Г. В. Нефедов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 7. – С. 10-15.
12. Жмарин, Е. Н. Международная ассоциация легкого стального строительства / Е. Н. Жмарин. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 2. – С. 27-30.
13. Шевцов, С. В. Концепция модульного строительства на примере использования легких металлических конструкций / С. В. Шевцов, Н. С. Астафьева. – Текст : непосредственный // Инженерные исследования. – 2022. – № 3 (8). – С. 30-37.
14. Мотылев, Р. В. Организационно-технологические решения комплексного малоэтажного строительства в условиях Российской Федерации / Р. В. Мотылев, К. А. Шабалин. – Текст : непосредственный // Архитектурно-строительный и дорожно-



транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Омск, 2021. – С. 419-422.

15. Жидков, К. Е. Совершенствование конструктивных решений ферм из тонкостенных холодногнутых профилей / К. Е. Жидков, А. С. Семенов // Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 13th International Academic Conference, St. Louis, Missouri, USA, 09–10 декабря 2017 года. – 2017. – Т. 2. – С. 79–83.

16. Повышение несущей способности узловых соединений конструктивных элементов ферм / К. Е. Жидков, В. В. Зверев, А.С. Семенов [и др.]. – Текст : непосредственный // Академический вестник Урал НИИ проект РААСН. – 2015. – № 4. – С. 88–90.

17. Зверев, В. В. Каркасы зданий из легких металлических конструкций // В. В. Зверев, К. Е. Жидков, И. В. Сотникова // Научные технологии и инновации : юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения. – Белгород, 2014. – С. 20–24.

18. Экспериментальные исследования рамных конструкций из холодногнутых профилей повышенной жесткости / В. В. Зверев, К. Е. Жидков, А. С. Семенов, И. В. Сотникова. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 4 (24). – С. 20–24.

19. Мохначев, С. А. Техно-экономические Аспекты применения технологии ЛСТК при реконструкции зданий гражданского и сельскохозяйственного назначения / С. А. Мохначев, О. Н. Зайцева, А. С. Шиврина. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12 (часть 3) – С. 615-619.

**MOTYLEV Roman Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction organization; KOCHERYGIN Aleksandr Alekseevich, postgraduate student of the chair of construction organization**

## THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGY OF RAPID CONSTRUCTION IN RUSSIA BASED ON A FRAME MADE OF LSTK

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia.

Tel.: (812) 575-05-34; fax: (812) 316-58-72; e-mail: motylev@yandex.ru, saschki2@mail.

*Key words:* lightweight wall structures (LSTK), Association for the Development of Steel Construction (ADSC), construction, frame technologies.

---

*The article discusses the achievements and prospects for the development of LSTK construction technology in Russia. Examples of projects implemented for the first time using this technology are given.*

---

### REFERENCES

1. Mushinskiy A. N., Zimin S. S. Stroitelstvo bystrovozvodimykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of rapidly erected buildings and structures]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2015, № 4 (31), P. 182–193.

2. Nikolenko S. D., Shchienko A. N. Bystrovozvodimye zdaniya i sooruzheniya [Rapidly Erected Buildings and Structures]. Vysokiye tekhnologii v stroitelnom komplekse [High Technologies in the Construction Complex]. 2021, № 2, P. 159–168.





3. Gamayunova O. S., Radaev A. E. Energoaudit i energoeffektivnost modulnykh voennykh gorodkov [Energy audit and energy efficiency of modular military camps]. Problemy obespecheniya funktsionirovaniya i razvitiya nazemnoy infrastruktury kompleksov sistem vooruzheniya [Problems of ensuring the functioning and development of the ground infrastructure of complexes of weapons systems]: materialy III Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 25-26 sentyabrya 2019. Saint Petersburg, 2019, P. 63–67.

4. Davydov N. S., Yamov V. I. Obzor modulnogo stroitelstva v Rossii: tendentsii, zadachi, perspektivy [Review of modular construction in Russia: trends, tasks, prospects]. Russkiy zhurnal stroitelnykh nauk i tekhnologiy [Russian Journal of Construction Science and Technology]. 2023, Vol. 9 (2). DOI 10.15826/rjst.2023.2.005.

5. Gasinets V. S., Nashko V. S., Sukhoruchenko Z. V., Starova O. V. Effektivnost primeneniya legkikh stalnykh tonkostennykh konstruksiy v Rossii [Efficiency of the use of light steel thin-walled structures in Russia]. Sinergiya nauk [Synergy of Sciences]: mezhdunarodny elektronny zhurnal. 2019, № 42, P. 559–568. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article4955?ysclid=m39w5jk23d545336401>.

6. Discovery research group. Analiz rynka bystrovozvodimyykh zdaniy (na legkom metallicheckom karkase) po tekhnologii LSTK v Rossii (s bazoy importa-eksporta) [Analysis of the market for rapidly erected buildings (on a light metal frame) using LSTK technology in Russia (with an import-export database)]. 2022. URL: <https://drgroup.ru/1130-Analiz-rynka-bystro-zdaniy.html>.

7. Lebedeva M. S., Nazmeeva T. V. Karkasnye grazhdanskije zdaniya s LSTK ogradhdayushchimi konstruksiyami [Frame civil buildings with LSTK enclosing structures]. Internauka [Internauka]. 2021, № 43-1 (219), P. 8–11.

8. Abdusattarkhuja S. S., Nazmeeva T. V. Preimushchestva tekhnologii LSTK dlya sokrashcheniya raskhodov pri vozvedenii nazemnoy infrastruktury [Advantages of LSTK technology for reducing costs in the construction of ground infrastructure]. Problemy obespecheniya funktsionirovaniya i razvitiya nazemnoy infrastruktury kompleksov sistem vooruzheniya [Problems of ensuring the functioning and development of the ground infrastructure of complexes of weapons systems]: materialy III Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 25-26 sentyabrya 2019. Saint Petersburg, 2019, P. 122–125.

9. Orlova A. V., Zhmarn E. N., Paramonov K. O. Energeticheskaya effektivnost domov iz LSTK [Energy efficiency of houses made of LSTK]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2013, № 6 (11), P. 1–13.

10. Zueva A. V. Bystrovozvodimye zdaniya i modulnoe stroitelstvo [Rapidly erected buildings and modular construction]. Molodoy ucheny [Young Scientist]. 2016, № 3 (107), P. 100-103.

11. Nefedov G. V. Stroitelstvo domov sredney etazhnosti na karkasakh iz legkikh stalnykh konstruksiy [Construction of medium-rise buildings on frames made of light steel structures]. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. 2020, № 7, P. 10–15.

12. Zhmarn E. N. Mezhdunarodnaya assotsiatsiya legkogo stalnogo stroitelstva [International Association of Light Steel Construction]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2012, № 2, P. 27–30.

13. Shevtsov S. V., Astafieva N. S. Kontseptsiya modulnogo stroitelstva na primere ispolzovaniya legkikh metallicheskich konstruksiy [The concept of modular construction on the example of using light metal structures]. Inzhenernyye issledovaniya [Engineering research]. 2022, № 3 (8), P. 30–37.

14. Motylev R. V., Shabalin K. A. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya kompleksnogo maloetazhnogo stroitelstva v usloviyakh Rossiyskoy Federatsii [Organizational and technological solutions for complex low-rise construction in the Russian Federation].



Arkhitekturno-stroitelny i dorozhno-transportnyy komplekx: problemy, perspektivy, innovatsii [Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations]: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Omsk, 2021, P. 419–422.

15. Zhidkov K. E., Semenov A. S. Sovershenstvovanie konstruktivnykh resheniy ferm iz tonkostennykh kholodnogutykh profiley [Improving the structural solutions of trusses from thin-walled cold-formed profiles]. Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 13th International Academic Conference, St. Louis, Missouri, USA, December 09–10, 2017. 2017, Vol. 2, P. 79–83.

16. Zhidkov K. E., Zverev V. V., Semenov A. S., [et al.] Povyshenie nesushchey sposobnosti uzlovykh soedineniy konstruktivnykh elementov ferm [Increasing the load-bearing capacity of nodal connections of structural elements of trusses]. Akademicheskij vestnik Ural NII proekt RAASN [Academic Vestnik of the Ural NIIPROEKT RAACS]. 2015, № 4, P. 88–90.

17. Zverev V. V., Zhidkov K. E., Sotnikova I. V. Karkasy zdaniy iz legkikh metallichekikh konstruksiy [Frames of buildings made of light metal structures]. Naukoemkie tekhnologii i innovatsii [Science-intensive technologies and innovations]: yubileynaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 60-letiyu BGU im. V.G. Shukhova, XXI nauchnye chteniya. Belgorod, 2014, P. 20–24.

18. Zverev V. V., Zhidkov K. E., Semenov A. S., Sotnikova I. V. Eksperimentalnye issledovaniya ramnykh konstruksiy iz kholodnogutykh profiley povyshennoy zhestkosti [Experimental studies of frame structures made of cold-formed profiles of increased rigidity]. Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. 2011, № 4 (24), P. 20–24.

19. Mokhnachev S. A., Zaytseva O. N., Shifrina A. S. Tekhniko-ekonomicheskie Aspekty primeneniya tekhnologii LSTK pri rekonstruktsii zdaniy grazhdanskogo i selskokhozyaystvennogo naznacheniya [Technical and economic aspects of the application of LSTK technology in the reconstruction of buildings for civil and agricultural purposes]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2015, № 12 (chast 3), P. 615–619.

**© Р. В. Мотылев, А. А. Кочерыгин, 2025**

Получено: 26.05.2024 г.