

УДК 624.9

К вопросу эффективности применения различных марок сталей в конструкциях быстровозводимых зданий и сооружений в северных климатических условиях на территории Российской Федерации

Д. Г. Чарник

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Чарник Д. Г. К вопросу эффективности применения различных марок сталей в конструкциях быстровозводимых зданий и сооружений в северных климатических условиях на территории Российской Федерации // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 4. — С. 677–684. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-677-684

Аннотация

Цель: Рассмотреть вопрос о целесообразности использования как обычных, так и нержавеющей сталей с точки зрения применения их при строительстве зданий и сооружений из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в северных климатических условиях. Выявить основные преимущества и недостатки применения легких стальных тонкостенных конструкций в строительстве. Определить наиболее уязвимые места при возведении зданий из ЛСТК. **Методы:** При проведении исследований вопросов эффективности применения различных марок стали в конструкциях быстровозводимых зданий и сооружений в северных климатических условиях были использованы методы сравнения с химической и физической точек зрения. **Результаты:** Обоснована целесообразность и эффективность использования сталей марки AISI 201. Указаны преимущества стали AISI 201 не только с химической точки зрения, но и с механической. Описаны уязвимые места данной стали при возведении конструкций и сооружений в процессе эксплуатации. Определены способы для защиты конструкций из углеродистых и низколегированных сталей в зависимости от их назначения и условий эксплуатации. **Практическая значимость:** Результаты исследования показывают, сталь AISI 201 является наиболее эффективной с экономической точки зрения. Необходимо использовать методы защиты стальных строительных материалов при возведении и эксплуатации сооружения, а также различные виды стали в зависимости от области применения.

Ключевые слова: Конструкционные низколегированные стали, нержавеющей стали, ЛСТК, ударная вязкость стали, тонкостенные конструкции.

Основными задачами для решения проблем возведения конструкций и сооружений в северных районах Российской Федерации являются стойкость сооружений к низким температурам, компактность и экономический эффект.

Требуемый набор промышленных зданий и сооружений и различных их типов, в который входят размеры, сроки службы, объемы строительства этих сооружений, определяется областью использования различных (стационарных и

нестационарных) систем расселения в сложных северных условиях, а также масштабом развития различных отраслей промышленности и производств в этой области [1].

Северные климатические зоны определяют специальные требования к проектированию, строительству и эксплуатации различных сооружений. В случае несоблюдения данных требований сооружение может оказаться мало пригодным для эксплуатации, подвергаться деформации в разной степени, разрушаться и, соответственно, быть не только непригодным с точки зрения техники безопасности, но и экономически невыгодным.

В процессе создания проекта застройки необходимо учитывать различные факторы, например снегоперенос в зимний период и ветровой режим. Соответственно, целесообразно отказаться от сложных конфигураций сооружений и конструкций, уменьшить площадь застекления, по возможности блокировать уязвимые узлы от внешних негативных условий среды.

Необходимо учитывать, что Крайний Север имеет ряд особенностей, которые влияют на разработку и обустройство. Во-первых, это удаленность от развитых промышленных регионов, плохое развитие инфраструктуры, что влечет за собой проблемы, связанные с транспортировкой строительных материалов, рабочей силы, необходимого оборудования.

Что касается геолого-климатических условий, то продолжительный зимний период, жесткий температурно-ветровой режим, заболоченность затрудняют не только проезд строительной техники, но и само производство строительно-монтажных работ.

Вопросы строительства в северных районах страны должны включать не только то, какие материалы конструкции лучше всего использовать при возведении зданий и сооружений в условиях низких температур [1]. Так, сокращение тру-

довых затрат при строительстве является одним из ключевых аспектов. Также следует принимать во внимание условия и способы транспортировки комплектующих.

Вес элементов должен быть максимально уменьшен, целесообразно использовать новые типы конструкций, изготовленные с применением современных легких материалов.

Все больше и больше в строительстве используются легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). Они производятся методом холодного формообразования на профилегибочных станках из прокатного листового металла [2]. Скорость возведения панельно-каркасных строений существенно возрастает при использовании ЛТПК.

Можно использовать как перфорированный, так и неперфорированный металлопрофиль. Перфорированный профиль, в свою очередь, имеет ряд существенных преимуществ: возможно многократное сгибание и разгибание, без нарушения целостности, устойчив к внешним атмосферным воздействиям, крепление происходит посредством анкерных болтов. Ограждающими конструкциями являются специальные стеновые панели [3]. Каркасное строительство из ЛСТК экономически целесообразно, так как позволяет оптимизировать финансовые затраты на 30–40 % от сметной стоимости на материалы.

Использование конструкций из ЛТСК позволяет существенно сократить сроки строительства из-за отсутствия «мокрых процессов».

С точки зрения экологичности материала стоит отметить возможность использования данного материала неограниченное количество раз. Стальные конструкции не обладают непроницаемостью и не выделяют вредные вещества в атмосферу.

Немаловажным фактором является и то, что затраты первичной энергии, то есть необходимость подогрева бетона и его компонентов в про-

цессе приготовления, транспортировки и застывания, существенно сокращены.

Одно из требований, которое предъявляется к конструкции, — это простота изготовления. При производстве легких стальных конструкций погрешность минимальная, помимо этого, возможно доработка при возведении без использования сложной техники и специальных технических условий. Это обеспечивает точный и быстрый монтаж всех элементов строения.

Легкие стальные тонкостенные конструкции имеют ряд технических преимуществ.

Во-первых, это энергоэффективность. При расчетах необходимо учитывать энергетические потребности для обеспечения теплового и воздушного режимов. Малая толщина стен позволяет увеличить внутреннюю площадь без ущерба технологических требований.

Во-вторых — малый вес конструкции, что дает снижение затрат при транспортировке и возведении.

В-третьих — стойкость к динамическим нагрузкам — ветровым и сейсмическим.

В-четвертых — огнестойкость, сооружение способно сохранять свои технические свойства под воздействием высоких температур.

И конечно, стоит отметить долгий срок службы строений из легких стальных тонкостенных конструкций, возможность быстрого ремонта.

Можно отметить следующие недостатки — это необходимость официального проекта конструкторской документации еще на стадии проектирования. Также возможно повреждение конструкций при выгрузке и транспортировке [4].

Возвращаясь к вопросу экономической целесообразности, необходимо отметить, что наиболее действенным средством снижения металлоемкости и стоимости конструкций из ЛСТК является повышение прочности сталей.

Существуют несколько способов упрочнения материалов:

– горячая обработка давлением — уплотнение структуры с ориентированным направлением кристаллитов;

– легирование — повышение прочности улучшением вязкости, пластичности, коррозионной стойкости;

– упрочняющая термическая и химико-термическая обработка — образование неравновесных структур с повышенной плотностью и деформированной атомно-кристаллической решеткой посредством закалки с высоким, средним и низким отпуском;

– обработка методами холодной пластической деформации — понижение температуры ниже температуры рекристаллизации.

Размеры поперечных сечений многих элементов металлоконструкций, а следовательно, и их масса существенно зависят от предела текучести σ_T и предела прочности σ_B (временного сопротивления) металлов.

Учитывая, что стали будут использоваться при низких температурах, для повышения ударной вязкости их подвергают термообработке, состоящей из закалки высокого отпуска. Также термообработка стали повышает ее прочность и пластичность.

Рассмотрим ряд сталей, используемых при изготовлении ЛСТК. Основным нормативным документов для проектирования зданий и сооружений из ЛСТК является СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнуто-оцинкованных профилей и гофрированных листов» [5].

Согласно п. 6 СП 260.1325800.2016 рекомендуется изготавливать ЛСТК из углеродистой стали, оцинкованной в агрегатах непрерывного оцинкования по ГОСТ 14918—2020 «Прокат листовой горячеоцинкованный» толщиной от 1 до 4 мм с цинковым покрытием класса от 275 до 600 [6].

Расчетная температура окружающей среды в месте применения конструкций из ЛСТК должна быть не ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ТАБЛИЦА 1. Характерные свойства и примеры использования низколегированных сталей

№ п/п	Марка стали	Свойства	Применение
1	09Г2С (аналоги 09Г2, 09Г2ДТ, 10Г2С, 09Г2Т)	Высокая прочность, долговечность, широкий диапазон температур (от -70°C до $+425^{\circ}\text{C}$), сталь сохраняет форму при действии нагрузки, хорошо сваривается, не подвержена отпускной хрупкости	Прокат, способный работать в широком интервале температур, производство паровых котлов и других емкостей, работающих под давлением, ответственные сварные конструкции, применяемые в нефтегазовой, химической и судостроительной промышленности
2	17Г1С (аналог 17ГС)	Обладает повышенной прочностью, не имеет ограничений по свариваемости, имеет широкий рабочий интервал температур (от -40°C до $+475^{\circ}\text{C}$)	Применяется для создания сварных конструкций, работающих в экстремальных условиях температур и повышенного давления. Хладостойкость позволяет использовать ее в производстве криогенных аппаратов
3	10ХСНД (аналог 16Г2АФ)	Повышенные прочностные характеристики, коррозионная стойкость, хорошая свариваемость	В строительстве: для изготовления арок и несущих конструкций здания, мостовых металлоконструкций, включая северное исполнение. В машиностроении: детали ковшей, элементы гидравлических ножниц, сельскохозяйственной техники
4	10ХНДП	Высокая атмосферная коррозионная стойкость. Класс атмосферокоррозионностойких сталей. Хорошо свариваются	Эксплуатация на открытом воздухе без применения покрытий в качестве защиты от коррозии

Конструкционные (строительные) низколегированные стали хорошо воспринимают как статическую, так и динамическую нагрузки. Дополнительно термическая обработка для них не требуется.

Низкоуглеродистые низколегированные стали — это сплавы железа и углерода, в которых доля углерода не превышает 0,25 %. К этим сталям относятся стали: 09Г2, 09ГС, 17ГС, 10Г2С1, 14Г2, 15ХСНД, 10ХНДП и другие. Данные стали содержат до 1,8 % Mn, до 1,2 % Si, до 0,8 % Cr, до 1,7 Ni, до 0,5 % Cu, до 0,15 % V, до 0,03 % Ti, до 0,25 % N.

Введение этих элементов способствует прочности сталей и понижению температуры перехода в хрупкое состояние, что дает возможность применения таких сталей в районах с холодным климатом. Добавление меди (Cu) повышает стойкость к атмосферной коррозии. В табл. 1 приведены характерные свойства и примеры использования низколегированных сталей.

Для защиты конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, в зависимости от их назначения и условий эксплуатации, используют несколько способов:

Окрашивание лакокрасочными материалами.

Горячее цинкование или горячее алюминирование методом погружения в расплав.

То же, с последующим окрашиванием лакокрасочными материалами.

Газотермическое нанесение цинкового слоя или алюминиевого покрытия.

То же, с последующим окрашиванием лакокрасочными материалами.

Для конструкций из ЛСТК широко используются 2 и 4 способы защиты конструкций.

Горячее цинкование металла отличается приемлемой стоимостью технологического процесса и предоставляет высокую степень защиты. При механическом повреждении элементов конструкции происходит самовосстановление. Следует отметить, что горячее цинкование устраняет

такие дефекты, как раковины, поры и царапины. Эксплуатация изделия с нанесением горячего цинкования возможно использовать в самых неблагоприятных условиях. Срок службы увеличивается на 60–70 лет.

Газотермическое напыление цинкового слоя возможно на месте эксплуатации. Данный метод экологичен, не требует опасной подготовки поверхности. Его целесообразно применять при необходимости использования сварки металлических поверхностей. Напыление происходит по окончании сварочных работ. Оборудование для газотермического напыления мобильны, что делает данный метод доступным в любых зонах. В зависимости от толщины цинкового слоя срок службы увеличивается на 30–100 лет.

При возведении зданий из ЛСТК наиболее уязвимыми являются места болтовых соединений, где возможно повреждение цинкового покрытия от затяжки болтов, особенно, если толщина покрытия не соответствует проектной, что может привести к появлению коррозии.

Болтовые соединения считаются труднодоступными для нанесения защитного слоя — соответственно, высока вероятность образования ржавчины. При устройстве болтовых соединений необходимо проводить процесс герметизации для защиты от попадания влаги на контактные поверхности.

Перед установкой все соединительные материалы необходимо очистить от консервирующей заводской смазки и грязи, просушить, подогнать и смазать герметизирующим составом по всей длине нарезки болта.

Рассмотрим использование металлопроката из нержавеющей стали для изготовления ЛСТК. Нержавеющая сталь является незаменимым материалом в строительстве и может применяться в различных областях.

Данная сталь имеет высокие качества и существенно отличается от других аналогов своими

эксплуатационными характеристиками. Нержавеющие сплавы делятся на три группы: коррозионно-стойкие стали, жаростойкие стали, жаропрочные стали. Коррозионно-стойкие стали активно используются в простых промышленных и бытовых условиях. Жаростойкая сталь имеет устойчивость к ржавению при высоких температурах и в агрессивных средах. От жаропрочной стали требуется повышенная прочность при высокой температуре. По химическому составу нержавеющие сплавы делятся на три вида: хромистые, хромоникелевые, хромомарганцево-никелевые.

Металлопрокат из нержавеющей сталей обладает рядом преимуществ, делающих его незаменимым в ряде случаев для строительной промышленности, а именно:

устойчивость к коррозии — не требует регулярного обновления защиты поверхностей ЛСТК; длительный срок службы материала увеличивает время активной эксплуатации конструкций из него;

высокая устойчивость к механическим воздействиям обуславливает востребованность этой разновидности проката для создания конструкций, функционирующих в условиях перепадов температуры, плохой погоды и штормового ветра.

Нержавеющая сталь марки AISI 201 (аналог по ГОСТ 12Х15Г9НД) — это хромоникелевый высоколегированный сплав. Нержавеющая сталь типа 201 представляет собой сплав, который содержит половину никеля и больше марганца и азота, чем другие стали. Несмотря на то, что он дешевле некоторых других сплавов (из-за низкого содержания никеля), его не так легко обрабатывать и формировать. Тип 201 является аустенитным металлом, поскольку это немагнитная нержавеющая сталь с высоким содержанием хрома и никеля и низким содержанием углерода. Особенности ее химического состава обуславливают такие характеристики, как:

– высокая пластичность;

ТАБЛИЦА 2. Химический состав сталей AISI 201, AISI 304, 12X15T9НД

Марка стали	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N	Cu
AISI 201	0,12	8,5–10,5	0,66	0,03	0,75	14–16,5	1,0–1,5	0,2	2,0
12X15T9НД	< 0,12	8–10	< 0,08	0,045	< 1	13–16	0,5–1,5	0,25	1,3–2,5
AISI 304	max 0,08	2,0	0,045	0,03	1,0	18–20	8–10,5		

ТАБЛИЦА 3. Механические свойства сталей AISI 201, AISI304, 12X15T9НД (ГОСТ 4543—2016)

Марка стали	Предел текучести, МПа (max)	Предел прочности, МПа (min)	Относительное удлинение, % min	Твердость НВ, max
AISI 201	310	640	≥ 40	217
AISI 304	205	515	40	201
12X15T9НД	280	600	40	

– устойчивость к различному виду нагрузок (в том числе комбинированных);

– коррозионная стойкость в агрессивных средах;

– устойчивость к перепадам температур окружающей среды;

– повышенная твердость;

– хорошая свариваемость [7].

Основным преимуществом стали типа 201 является то, что марка не имеет порога хладноломкости, ее можно использовать при экстремально низких температурах. С понижением температуры предел прочности стали уменьшается незначительно, что дает возможность сопротивляться деформации и разрушению.

Свойства нержавеющей стали типа 201 заключаются в следующем:

– плотность (фунтов на дюйм³): 0,283;

– модуль упругости при растяжении (фунтов на дюйм² × 10⁶): 28,6;

– удельная теплоемкость (BTU/фунтов/градус Фаренгейта): 0,12 при 32–212 градусах Фаренгейта;

– теплопроводность (BTU/час/фут/градусов Фаренгейта): 9,4 при 212 градусах Фаренгейта;

– диапазон температур плавления: 2550–2650 градусов по Фаренгейту.

В табл. 2 представлен химический состав сталей AISI 201, AISI 304, 12X15T9НД.

Сталь марки AISI 201 легирована хромом, марганцем, никелем, азотом и медью в оптимальных пропорциях. Добавленный азот позволяет добиться стабильности аустенитной структуры и уменьшить количество других стабилизирующих элементов — марганца и никеля. Такой сбалансированный химический состав обеспечивает AISI 201 высокую механическую прочность и хорошую способность к холоднокатанному деформированию. В табл. 3 представлены механические свойства некоторых сталей.

Физические свойства AISI 201 — плотность стали составляет 7,71 г/см³.

Стали AISI 201 наиболее дешевые по сравнению с другими нержавеющими сталями (на 30–35 %), что достигается использованием новых технологий изготовления (вместо никеля используется смесь из азота и марганца), а также сбалансированным химическим составом.

Очевидно, что для ответственных сооружений из ЛСТК в сложных климатических условиях можно рекомендовать использовать прокат из стали AISI 201, что дает экономический эффект.

Следует отметить, что марка сталей для изготовления конструкций ЛСТК выбирается для конкретных условий, где они будут использоваться, что позволяет выбрать наиболее эффективное и простое решение.

Современные технологии позволяют применять различные типы стали при возведении зданий в северных климатических зонах. Главные преимущества данной технологии — сезонность постройки, отсутствие мокрых процессов, простота монтажа, возможность прокладки коммуникации внутри стен, низкие затраты на эксплуатацию, монтаж и демонтаж, возможность вторичной переработки [8]. Использование в ЛСТК холодногнутых оцинкованных профилей гарантирует сооружению высокие показатели огнестойкости, сейсмоустойчивости, энергоэффективности, звука изоляции и экономичности.

Важно точно следовать нормативно технической базе, принимать во внимание все существующие нормы и правила, которые обеспечивают высокие технологические параметры строения [9].

Библиографический список

1. Линейцев А. А. Проблемы строительства сооружений в Арктике / А. А. Линейцев // Молодой ученый. — 2021. — № 5(347). — С. 74–78. — URL: <https://moluch.ru/archive/347/77997/>.
2. Трубина Д. А. Местная потеря устойчивости стальных холодногнутых профилей в условиях поперечного изгиба / Д. А. Трубина, Л. А. Кононова, А. А. Кауров и др. // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 4(19). — С. 109–127.
3. Советников Д. О. Легкие стальные тонкостенные конструкции в многоэтажном строительстве / Д. О. Советников, Н. В. Виденков, Д. А. Трубина // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2015. — № 3(30). — 153 с.
4. Нежданов К. К. Анализ состояния и причин обрушений строительных конструкций в промышленных зданиях / К. К. Нежданов, А. Н. Жуков // Региональная архитектура и строительство. — 2011. — № 1.
5. ГОСТ 14918—2020. Прокат листовой горячеоцинкованной. Технические условия.
6. СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов.
7. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу ограждающих и несущих конструкций из стальных гнутых профилей повышенной жесткости. — М.: ЦНИИПСК Мельникова, 1999. — 32 с.
8. Жуков А. Н. Проблемы и перспективы развития металлических конструкций в промышленных зданиях / А. Н. Жуков, В. О. Булаченко, Д. Х. Саидов // Молодой ученый. — 2011. — № 3(26). — Т. 1. — С. 44–47. — URL: <https://moluch.ru/archive/26/2830/>.
9. Эксплуатация металлических конструкций. — URL: <http://domremstroy.ru/da/zdanie27.html>.

Дата поступления: 17.08.2022

Решение о публикации: 21.11.2022

Контактная информация:

ЧАРНИК Дмитрий Геннадьевич — аспирант; charnik_dmitriy@mail.ru

On Effectiveness Issue of Steel Various Grade Use in the Structures of Prefabricated Constructions and Buildings in Northern Climatic Conditions on Russian Federation Territory

D. G. Charnik

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Charnik D. G. On Effectiveness Issue of Steel Various Grade Use in the Structures of Prefabricated Constructions and Buildings in Northern Climatic Conditions on Russian Federation Territory // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 4, pp. 677–684. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-677-684

Summary

Purpose: To consider the issue on feasibility of using both conventional and stainless steels from the point of view of their application at the construction of buildings and structures made of Light Steel Thin-Walled Structures (LSTWS) in Northern climatic conditions. To identify main advantages and disadvantages in the use of light steel thin-walled structures in construction. To determine the most vulnerable spots at building construction from LSTWS. **Methods:** When conducting research on the effectiveness of steel various grade application for prefabricated construction and building structures in Northern climatic conditions, comparison methods were used from chemical and physical points of view. **Results:** The expediency and efficiency of using AISI 201 grade steels are substantiated. AISI 201 steel advantages not only from chemical but also from mechanical look are indicated. The vulnerabilities of the given steel at structure and building construction during exploitation are described. Ways to protect structures made of carbonaceous and low-alloy steels, depending on their assignment and operating conditions, have been defined. **Practical significance:** Study results show that AISI 201 steel is the most efficient from economic point of view. It is necessary to apply protection approaches for steel building materials at structure construction and exploitation as well as to use steel various types against an application sphere.

Keywords: Constructional low-alloy steels, stainless steels, LSTWS, steel impact strength, thin-walled structures.

References

1. Linejcev A. A. Problemy stroitel'stva sooruzhenij v Arktike [Problems of building structures in the Arctic]. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2021, I. 5(347), pp. 74–78. Available at: <https://moluch.ru/archive/347/77997/>. (In Russian)
2. Trubina D. A., Kononova L. A., Kaurov A. A. Mestnaya poterya ustojchivosti stal'nyh holodnognutyh profilej v usloviyah poperechnogo izgiba [Local buckling of steel cold-formed profiles under conditions of transverse bending]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures]. 2014, I. 4(19), pp. 109–127. (In Russian)
3. Sovetnikov D. O., Videnkov N. V., Trubina D. A. Legkie stal'nye tonkostennye konstrukcii v mnogoetazhnom stroitel'stve [Light steel thin-walled structures in high-rise buildings]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures]. 2015, I. 3(30), 153 p. (In Russian)
4. Nezhdanov K. K., Zhukov A. N. Analiz sostoyaniya i prichin obrushenij stroitel'nyh konstrukcij v promyshlennyh zdaniyah [Analysis of the state and causes of collapse of building structures in industrial buildings]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction]. 2011, I. 1. (In Russian)
5. GOST 14918—2020. Prokat listovoj goryacheo-cinkovannyj. Tekhnicheskie usloviya [GOST 14918-2020. Rolled sheet hot-dip galvanized. Specifications]. (In Russian)
6. SP 260.1325800.2016. Konstrukcii stal'nye tonkostennye iz holodnognutyh ocinkovannyh profilej i gofirovannyh listov [SP 260.1325800.2016. Thin-walled steel structures made of cold-formed galvanized profiles and corrugated sheets.]. (In Russian)
7. Rekomendacii po proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu ograzhdayushchih i nesushchih konstrukcij iz stal'nyh gnutyh profilej povyshennoj zhestkosti [Recommendations for the design, manufacture and installation of enclosing and load-bearing structures made of steel bent profiles of increased rigidity]. Moscow: CNIPSK Mel'nikova Publ., 1999, 32 p. (In Russian)
8. Zhukov A. N., Bulavenko V. O., Saidov D. H. Problemy i perspektivy razvitiya metallicheskih konstrukcij v promyshlennyh zdaniyah [Problems and prospects for the development of metal structures in industrial buildings]. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2011, I. 3(26), vol. 1, pp. 44–47. Available at: <https://moluch.ru/archive/26/2830/>. (In Russian)
9. Ekspluatatsiya metallicheskih konstrukcij [Operation of metal structures]. Available at: <http://domremstroy.ru/da/zdanie27.html>. (In Russian)

Received: August 17, 2022

Accepted: November 21, 2022

Author's information:

Dmitriy G. CHARNIK — Postgraduate Student; charnik_dmitriy@mail.ru