

Об авторах:

ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – кандидат философских наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: leviksa@mail.ru

МИХАЙЛОВА Вероника Андреевна – студентка бакалавриата, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: veronika36556@gmail.com

РОЗМЕТОВА Русалина Руслановна – студентка бакалавриата, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: rusalinarozmetova016@gmail.com

About the authors:

LEVIKOV Alexander Valeryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, Tver. E-mail: leviksa@mail.ru

MIKHAILOVA Veronika Andreevna – Undergraduate Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: veronika36556@gmail.com

ROZMETOVA Rusalina Ruslanovna – Undergraduate Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: rusalinarozmetova016@gmail.com

УДК 624.014.2

ОСОБЕННОСТИ ЛЕГКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

С.А. Соколов, Т.Р. Баркая, В.А. Мунтян

© Соколов С.А., Баркая Т.Р.,
Мунтян В.А., 2026

***Аннотация.** В статье рассмотрены особенности легких металлических конструкций (ЛМК) одноэтажных зданий, уделено внимание конструкциям типа «Орск». Проанализированы конструктивные и эксплуатационные характеристики рамных систем, применяемых в промышленном и общественном строительстве. Отмечены преимущества ЛМК по сравнению с традиционными железобетонными каркасами, такие как сокращение сроков монтажа, снижение трудозатрат и повышение огнестойкости. Сделан акцент на коробчатых рамах с гофрированной стенкой, их сейсмостойкости, экономичности и термической инерции. Приведено сравнение с конструкциями типа «Канск» и «Алма-Ата», выявлены области применения и экономическая эффективность.*

Ключевые слова: легкие металлические конструкции, одноэтажные здания, конструкция типа «Орск», коробчатое сечение, гофрированная стенка, сварной двутавр, металлоемкость, сейсмостойкость, огнестойкость, ЛМК, локальная устойчивость, условная гибкость.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий производства и монтажа легких металлических конструкций (ЛМК) дало толчок их широкому использованию в строительстве одноэтажных зданий. Такие конструкции находят применение в производственных, торговых, логистических и спортивных сооружениях благодаря высокой степени индустриализации, скорости монтажа и возможности проектирования по индивидуальным требованиям.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ конструктивных и эксплуатационных особенностей ЛМК одноэтажных зданий типов «Орск», «Канск» и «Алма-Ата», выявить их технические и экономические преимущества, а также обосновать целесообразность применения конкретных типов конструкций в зависимости от условий эксплуатации, климатических и сейсмических факторов, требований к пролетам и нагрузкам.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ЛМК

Понятие «легкие металлические конструкции одноэтажных зданий» включает в себя несущие и ограждающие конструкции, изготавливаемые на современных поточных и механизированных линиях и поставляемые на строительную площадку комплектно для обеспечения скоростного монтажа.

В мировой практике ЛМК составляют до 50 % общего объема строительства зданий промышленного и общественного назначения. В России и странах СНГ эта цифра значительно ниже и составляет порядка 20 %.

Из ЛМК в основном возводятся здания комплектной поставки (ЛМК КП). Они могут иметь высоту до 18 м, пролеты 18, 24 и 30 м, постоянные нагрузки на покрытия в пределах 50–140 кг/м², суммарный расход металла на несущие и ограждающие конструкции колеблется в пределах 50–100 кг/м². В зданиях из ЛМК КП могут применяться подвесные краны грузоподъемностью до 5 т и мостовые опорные краны грузоподъемностью до 50 т. Здания из ЛМК КП поставляются по индивидуальным проектам совместно с ограждающими конструкциями покрытия и стен, включая модули заданных габаритов различного назначения [1] (табл. 1).

Таблица 1

**Технические возможности
использования ЛМК КП**

Параметр	Конструкция типа					
	«Моло- дечно»	«Тагил»	«Орск»	«Канск»	«Мос- ква»	«Алма- Ата»
По весу снегового покрова:						
I–IV район	+	+	+	+	+	+
I–V –“–	+	–	–	–	+	+
По скоростному напору ветра:						
I–III район	+	+	+	+	+	+
I–IV –“–	+	+	+	+	+	–
I–V –“–	+	–	+	–	+	–
I–VI –“–	+	–	+	–	+	–
I–VII –“–	–	–	+	–	+	–
Сейсмичность, баллы:						
до 6	+	+	+	+	+	+
до 9	+	+	+	+ при 18 м	+	+
Расчетная температура:						
–40 °С и выше	+	+	+	+	+	+
ниже –40 °С	–	+	+	+	–	+
Мостовые краны грузоподъемностью:						
до 5 т	+	+	+	+	+	+
до 20 т	+	+	–	+	+	+
до 50 т	+	+	–	–	–	–
Мостовые краны грузоподъемностью:						
один 2 т	+	+	–	+	+	+
до двух 3,2 т	+	+	–	+	+	+
до двух 5 т	–	–	–	–	–	+
Светоаэрационные фонари	+	+	+	+	+	+
Наличие перепадов в профиле здания	+	+	–	–	–	+

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Ценность рассматриваемых конструкций заключается в том, что анализ технико-экономических показателей производственных зданий из ЛМК КП и зданий с традиционным железобетонным каркасом с учетом приведенных затрат показывает, что расход стали в здании из этих конструкций при использовании стали Ст3 в 1,7–2,4 раза выше, чем для варианта из железобетона. В то же время трудоемкость изготовления и монтажа зданий из ЛМК КП на 20–30 % меньше. При этом затраты труда на изготовление конструкций в 2–3 раза ниже благодаря высокому уровню механизации и автоматизации производства. Продолжительность монтажа зданий из ЛМК КП вследствие больших возможностей совмещения работ на 25–40 % меньше, чем при использовании сборного железобетона. Масса здания из ЛМК КП в 3–5 раз меньше массы здания из сборного железобетона.

В результате улучшения теплотехнических качеств металлических ограждающих конструкций с эффективным утеплителем годовые эксплуатационные расходы на отопление зданий из ЛМК КП в 1,5 раза меньше, если сравнивать со зданиями с однослойными легкобетонными панелями стен и железобетонными плитами покрытий с минераловатным утеплителем.

Далее рассмотрим 3 типа ЛМК КП: «Канск», «Орск» и «Алма-Ата».

ОСОБЕННОСТИ ЛМК ТИПОВ «ОРСК», «КАНСК», «АЛМА-АТА»

Наиболее напряженной зоной в сечении прокатного двутаврового элемента конструкции выступает полка, в которой сосредоточено большее количество металла. Стенка сечения подвергается меньшей нагрузке. Ее толщина, требуемая по условиям прочности на срез, в 2–4 раза меньше, чем необходимая по условиям местной устойчивости.

Сварные двутавровые балки, получившие в России неформальное название «канские» по региону их массового производства (г. Канск), отличаются высокой вариативностью сечения и точностью изготовления в заводских условиях (рис. 1). Они состоят из двух поясных листов и центральной стенки, соединенных сварными швами, причем толщина стенки может варьироваться от ~4 до 30 мм в зависимости от проектных нагрузок. Главная задача при проектировании таких балок – обеспечить устойчивость тонкой стенки при изгибе и сдвиге, не перегружая балку лишним весом. Для этого применяют расчет условной гибкости стенки, вводят ее предельные значения и усиливают конструкцию штатными ребрами жесткости.

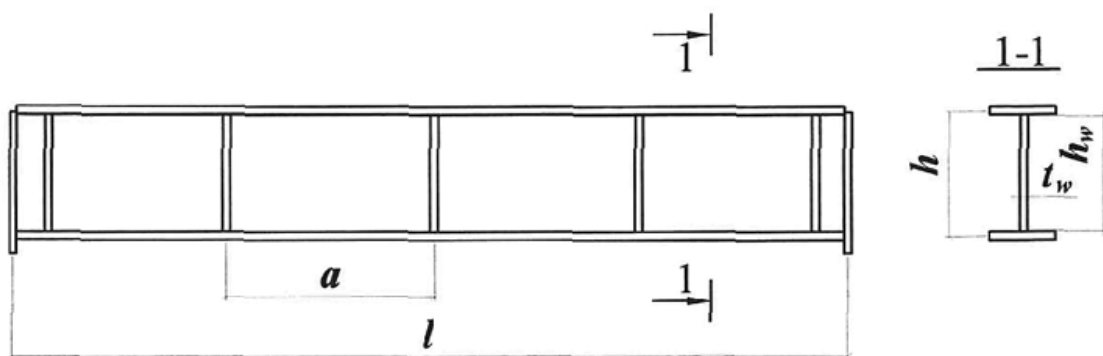


Рис. 1. Сварной двутавр с поперечными ребрами типа «Канск»

В результате анализа конструктивных особенностей сварных двутавровых балок «Канск» установлено, что их стенки стабилизируются за счет применения условной гибкости, вводимой в расчет по формуле

$$\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \quad (\text{где } h_{ef} - \text{высота; } t_w - \text{толщина стенки; } R_y - \text{расчетное}$$

сопротивление; E – модуль упругости [2]), и соответствующих предельных значений λ_{uw} , определяемых нормативами СП 16.13330.2016. Для повышения местной устойчивости стенки в «канских» балках используют как поперечные, так и продольные ребра жесткости, что позволяет разделить стенку на панели с уменьшенной свободной длиной и снизить ее слагаемую гибкость без утяжеления конструкции. Типовые шаги поперечных ребер выбирают не более эффективной высоты отсеков h_{ef} для соблюдения требований по местной устойчивости и равномерного распределения напряжений в стенке. В совокупности такая схема изготовления и расчет на гибкость стенок обеспечивают необходимую прочность и экономичность балок.

Особенность сварных двутавровых балок типа «Канск» заключается в гибком подходе к конструкции стенки: расчете ее условной гибкости, применении узконаправленных средств упрочнения (ребер) и использовании высокоточных технологий изготовления. Такая комбинация позволяет получать экономичные по массе балки с высокой несущей способностью и гарантированной устойчивостью стенок при любых обстоятельствах проектной эксплуатации.

Современные строительные конструкции требуют сочетания высокой несущей способности, экономии материала и технологичности производства. Балки с гофрированной стенкой системы «Алма-Ата» были разработаны для решения этой задачи: они появились в проектировании еще в середине XX века, а сегодня применяются в покрытиях и прогонах промышленных и жилых зданий пролетом до 24 м. Главная задача – заменить традиционные ребра жесткости и утолщенные плоские стенки тонкой профилированной формой, добиваясь требуемой устойчивости при меньшем расходе стали.

Балки «Алма-Ата» собираются из двух горячекатаных поясов и центральной гофрированной стенки, сваренных под флюсом на автоматических установках. Типовая высота этой стенки – 1 400 мм (достигает 1 710 мм при меньшей толщине 3–4 мм), что позволяет покрывать пролеты до 24 м без промежуточных опор. **Локальная устойчивость** обеспечивается гофрами, которые препятствуют выпучиванию стенки в отдельных панелях (рис. 2). Гофры повышают момент инерции стенки, равномерно распределяют напряжения и снижают критическое сжатие, **общая устойчивость** улучшается за счет повышения глобальной жесткости двух поясов и стабильной связи их с гофрированной стенкой. **Условная гибкость** λ_w гофрированной стенки достигает 300–600, тогда как у плоских стенок без дополнительных ребер λ_w обычно < 200 . Большие значения λ_w дают возможность сконцентрировать материал в поясе, экономя до 30 % стали.



Рис. 2. Сварной двутавр с гофрированной стенкой

В 2017 г. А.А. Брянцев, В.В. Лалин, В.Э. Абсиметов занимались исследованием экономической выгоды и целесообразности замены основных конструкций производственных зданий (колонн, подкрановых балок, балок покрытия, прогонов) из горячекатаных двутавров с параллельными гранями полок производственного корпуса с мостовым краном грузоподъемностью $Q = 5$ т на сварные двутавры с гофрированными стенками (табл. 2, рис. 3) [3].

Таблица 2

**Сравнительный анализ основных характеристик
прокатных и гофрированных конструкций**

Характеристики	Колонны		Балки покрытия		Подкрановые балки		Прогоны	
	30К2	35/54/КГС2	40Б2	50/64БГС1	30Ш2	30/36ШГС1	20Б1	20/25БГС1
Момент сопротивления, W_x	1 361	2 348	1 486,8	1 516,8	827	954,7	184,4	191,9
Момент сопротивления, W_y	450,3	477,9	158,8	1 60	173,7	211,6	26,8	33,8
Радиус инерции, i_x	20 411	61 505	33 453	47 930	12 200	16 616,4	1 844	2 360,1
Радиус инерции, i_y	6 754,5	7 646	1 580	1 600	1 737	2 433,4	133,9	219,7
Масса 1 п. м.* металла, кг	94	87	76	50,46	68,6	57,06	21,3	16,46
Экономия материала на 1 п. м. металла, %		7,4		33,6		16,8		22,7
Стоимость 1 п. м., тг	308		256		322		264	

Примечание. *п. м. – погонный метр.

Двутавр стальной горячекатаный с параллельными гранями полок 30К2 заменен на соответствующий ему по прочностным характеристикам двутавр сварной с гофрированной стенкой 35/54КГС2; двутавр с параллельными гранями полок 45Б2 – на двутавр сварной с гофрированной стенкой 50/64БГС1; двутавр с параллельными гранями полок 30Ш2 – на двутавр сварной с гофрированной стенкой 30/36ШГС1; двутавр с параллельными гранями полок 20Б1 – на двутавр сварной с гофрированной стенкой 20/25БГС1.

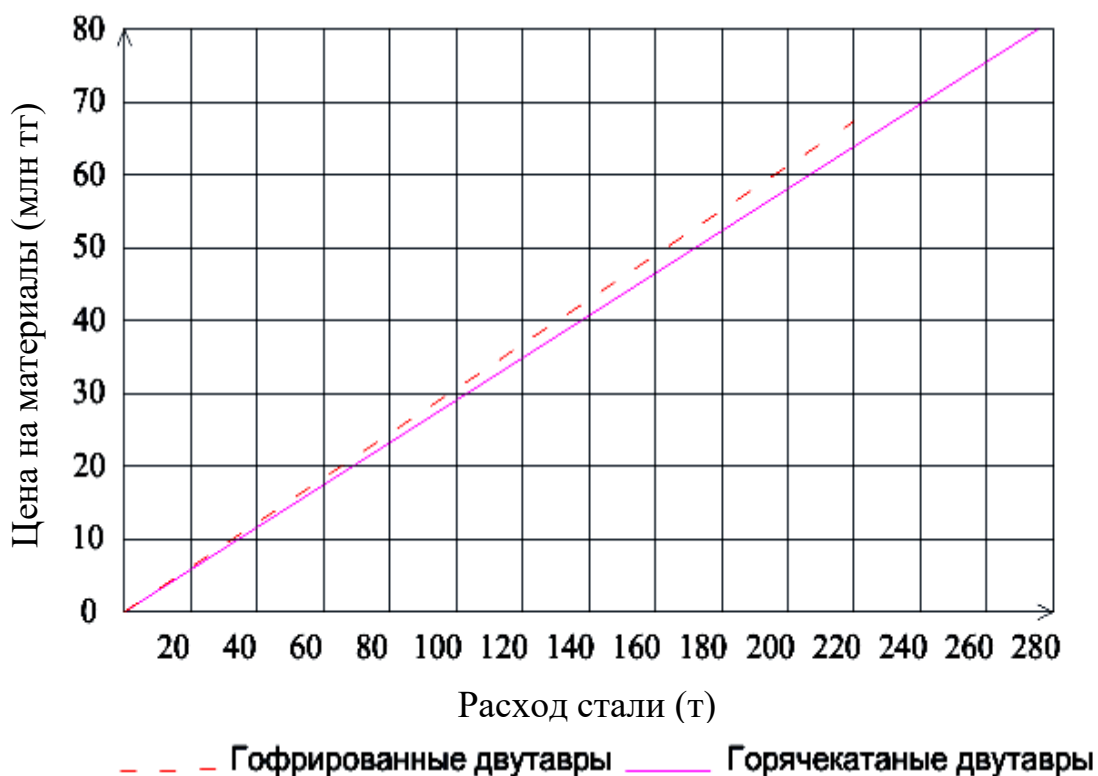


Рис. 3. Расход стали и стоимость материалов при двух вариантах конструкций производственного корпуса

Таким образом, преимущество конструкции типа «Алма-Ата» перед конструкцией типа «Канск» заключается в следующем:

1. Экономии материала: за счет высокой λ и гофрирования достигается до 30 % экономии стали против обычных сварных двутавров с плоской стенкой.

2. Снижении трудозатрат: отсутствие большинства поперечных ребер жесткости упрощает сборку и уменьшает расходы на изготовление на 20–25 %.

3. Больших пролетах: гофрированная стенка при высоте до 1 710 мм позволяет перекрывать пролеты до 24 м без усиления, тогда как для «канских» балок нужны дополнительные ребра и утолщения.

Конструкции типа «Алма-Ата» с гофрированной стенкой демонстрируют более выгодное соотношение «прочность/масса» и технологичность производства по сравнению с плоскостенными балками типа «Канск», но на этом процесс развития сварных металлических балок не остановился.

Современное строительство промышленных, складских и мостовых сооружений предъявляет повышенные требования еще и к возможной ширине пролетов при минимальном расходе стали. Традиционные сварные двутавровые балки с плоской стенкой требуют либо утолщения стенки, либо установки частых ребер жесткости во избежание местного

The image contains two sets of technical drawings for bridge structures, labeled 'Puc.3' and 'Puc.4'.

Puc.3:

- View I:** A side elevation of a bridge structure. It shows a main span of 18000 mm and a smaller section of 630 mm. A vertical dimension of 8180 mm is indicated. A section line I-I is shown.
- View II:** A cross-section of the bridge. It shows a width of 9000 mm and a height of 30 mm. A section line II-II is shown.
- View A-A:** A longitudinal section of the bridge. It shows a total length of 893 mm and a width of 75 mm. A section line A-A is shown.
- View B-B:** A cross-section of the bridge. It shows a width of 330 mm and a height of 750 mm. A section line B-B is shown.
- View III:** A side elevation of the bridge. It shows a main span of 18000 mm and a smaller section of 260 mm. A vertical dimension of 8180 mm is indicated. A section line III-III is shown.

Puc.4:

- View I:** A side elevation of a bridge structure. It shows a main span of 24000 mm and a smaller section of 660 mm. A vertical dimension of 8180 mm is indicated. A section line I-I is shown.
- View II:** A cross-section of the bridge. It shows a width of 12000 mm and a height of 30 mm. A section line II-II is shown.
- View A-A:** A longitudinal section of the bridge. It shows a total length of 1020 mm and a width of 75 mm. A section line A-A is shown.
- View B-B:** A cross-section of the bridge. It shows a width of 690 mm and a height of 430 mm. A section line B-B is shown.
- View III:** A side elevation of the bridge. It shows a main span of 24000 mm and a smaller section of 260 mm. A vertical dimension of 8180 mm is indicated. A section line III-III is shown.

Металлическая конструкция типа «Орск» представляет собой составное коробчатое сечение, в котором две параллельные U-образные балки (швеллеры) играют роль поясов, а между ними проложена гофрированная стенка. Гофры в стенке существенно повышают ее локальную и общую жесткость, увеличивают сопротивление сдвигу и предотвращают выпучивание без необходимости устройства дополнительных ребер жесткости. В соответствии с условной гибкостью λ_w (где $\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$) [2] гофрированная стенка достигает значений 300–600, что позволяет оптимизировать толщину стенки и экономить материал. Типовой шаг гофров $s = 60\text{--}80 \cdot t_w$ и высота волны $h_w \geq (h / 35) + 30$ мм наилучшим образом распределяют напряжения в панели и повышают критическое напряжение местного сжатия. За счет глубины сечения и

высокой жесткости стенки такие балки перекрывают пролеты от 40 до 80 м в промышленных, логистических и мостовых конструкциях. По сравнению с «Алма-Ата» (максимум ~24–36 м) балки «Орск» обеспечивают большую несущую способность на пролет и сниженную металлоемкость за счет отсутствия массивных ребер и утолщенных поясов.

Таким образом, металлические конструкции типа «Орск» с двумя швеллерами и гофрированной стенкой представляют собой высокотехнологичное решение для перекрытия сверхбольших пролетов, объединяют преимущества коррозионно-экономичных профилей, повышенной жесткости и простой автоматизированной сборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Легкие металлические конструкции, особенно конструкции типа «Орск», демонстрируют высокую эффективность при строительстве одноэтажных зданий. Их применение позволяет достичь значительной экономии материалов и ресурсов, повысить скорость строительства и обеспечить высокую эксплуатационную надежность. Они представляют собой перспективное направление для развития отечественного и международного промышленного строительства.

Библиографический список

1. Металлические конструкции. Стальные конструкции зданий и сооружений (Справочник проектировщика): в 3 т. / под общ. ред. заслуж. Строителя РФ, лауреата госуд. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) М.: АСВ, 1998. Т. 2. 512 с.

2. Свод правил СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 31 мая 2017 г. № 828/пр) (с изменениями и дополнениями). URL: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/f4a/f4ac87e5ce8d24866d5c6c50d7cd907d/SP-294.1325800.2017-Konstruktsii-stalnye.-Pravila-proektirovaniya.pdf> (дата обращения: 15.13.2026).

3. Брянцев А.А., Абсиметов В.Э., Лалин В.В. Эффективность применения двутавров с гофрированными стенками в производственных зданиях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3 (54). С. 93–104.

4. Заборова Д.Д., Дунаевская Ю.П. Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7 (22). С. 36–53.

FEATURES OF LIGHT METAL STRUCTURES OF SINGLE-STOREY BUILDINGS

S.A. Sokolov, T.R. Barkaya, V.A. Muntyan

Abstract. *The article discusses the features of lightweight metal structures (LMS) of single-storey buildings, focusing on the Orsk-type structure. It analyzes the design and operational characteristics of frame systems used in industrial and public construction. The article highlights the advantages of LMS over traditional reinforced concrete frames, such as shorter installation times, reduced labor costs, and improved fire resistance. Special attention is given to corrugated box frames, their seismic resistance, cost-effectiveness, and thermal inertia. A comparison is made with Kansk and Alma-Ata-type structures, and the areas of application and economic efficiency are identified.*

Keywords: *lightweight metal structures, single-storey buildings, Orsk type structure, box-shaped section, corrugated wall, welded I-beam, metal consumption, earthquake resistance, fire resistance, LMS, local stability, conditional flexibility.*

Об авторах:

СОКОЛОВ Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: sokolov_project@mail.ru

БАРКАЯ Темур Рауфович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: btrs@list.ru

МУНТЯН Вячеслав Александрович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: veaceslav2002@mail.ru

About the authors:

SOKOLOV Sergey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: sokolov_project@mail.ru

BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: btrs@list.ru

MUNTYAN Vyacheslav Aleksandrovich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: veaceslav2002@mail.ru