

УДК 69.04

## ОБРУШЕНИЯ, АВАРИИ И ДЕФЕКТЫ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.А. Рыбаков<sup>1</sup>, Т.В. Назмеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

<sup>2</sup>Ассоциация развития стального строительства, г. Москва (Российская Федерация)

**Аннотация.** В статье приводятся известные в Российской Федерации факты аварий, обрушений и повреждений зданий на основе легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), а также их отдельных элементов за период с 2008 по 2018гг. Одно из обрушений, произошедшее в жилом доме в Великом Новгороде в 2013 г. ( то есть до издания свода правил СП 260.1325800 по расчету элементов ЛСТК) анализируется более подробно. По результатам проведенных в статье расчетов показано на конкретном объекте, что нормальные напряжения с учетом бимоментов могут превышать нормальные напряжения без его учета в несколько раз. Также в статье приводится анализ действующих на территории Российской Федерации и вышедших из действия по состоянию на 2024г. норм по расчету стальных конструкций, на основании которого делается вывод о существенных недоработках нормативной базы по проектированию и расчету ЛСТК, в частности СП 260.1325800.2023, несмотря на предыдущие попытки авторов статьи обратить разработчиков норм на этот вопрос внимание.

**Ключевые слова:** ЛСТК, легкие стальные тонкостенные конструкции, бимомент, деформация, аварии, обрушения, повреждения, нормальные напряжения.

**Ссылка для цитирования:** Рыбаков В.А., Назмеева Т.В. Обрушения, аварии и дефекты легких стальных тонкостенных конструкций // Инженерные исследования. 2024. №4(19). С. 12-23. EDN: FCIYWY

## COLLAPSE, ACCIDENTS AND DEFECTS OF LIGHT GAUGE STEEL STRUCTURES

V.A. Rybakov<sup>1</sup>, T.V. Nazmeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

<sup>2</sup>Steel Construction Development Association, Moscow (Russian Federation)

**Abstract.** The article presents the facts of accidents, collapses and damage to buildings based on light gauge steel structures (LGSS), as well as their elements, known in the Russian Federation for the period from 2008 to 2018. One of the collapses that occurred in an apartment building in Veliky Novgorod in 2013 (that is, before the publication of the code of rules of SP 260.1325800 for the calculation of LGSS elements), it is analyzed in more detail. According to the results of the calculations carried out in the article, it is shown on a specific building that normal stresses, taking into account the bimoment, can exceed normal stresses several times without considering it. The article also provides an analysis of the Russian standards as of 2024 for the calculation of steel structures and expired, on the basis of which it is concluded that there are significant shortcomings in the regulatory framework for the design and calculation of LGSS, in particular SP 260.1325800.2023, despite previous attempts by the authors of the article to draw the developers of norms to this issue.

**Keywords:** LGSS, light gauge steel structures, bimoment, warping, accidents, collapses, damage, normal stresses.

**For citation:** Rybakov V.A., Nazmeeva T.V. Collapse, accidents and defects of light gauge steel structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.4(19). Pp. 12-23. EDN: FCIYWY

## ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке роль стальных конструкций в строительстве объектов промышленного и гражданского назначения стремительно растет. Среди стальных конструкций можно выделить особый вид – конструкции из стальных холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов, широко известные под аббревиатурой ЛСТК (легкие стальные тонкостенные конструкции), к числу преимуществ которых можно отнести пониженную металлоемкость, высокую скорость изготовления и сборки, преимущества в логистике в труднодоступные регионы и др. [1-5] и др.

В терминах строительных конструкций под ЛСТК понимают несущие и ограждающие элементы зданий, металлоемкость которых существенно снижена по сравнению с традиционными стальными конструкциями [2]. Данная характерная особенность ЛСТК достигается за счет снижения толщины применяемых профилей, рационального выбора конструктивной схемы и размеров сечений, использования стали с пределом текучести от 220 до 350 МПа и повышенных марок стали (до 490 МПа).

В среднем, металлоемкость ЛСТК для каркасного жилого здания из составляет 25-28 кг/м<sup>2</sup> (при 2-3 этажах) и 38– 43 кг/м<sup>2</sup> (при одном этаже).

Характерной особенностью профилей ЛСТК, помимо оцинковки, является особо низкая толщина (0,6...3,0мм), обусловленная спецификой изготовления.

Известно [6], что в сравнении с аналогичным зданием на основе деревянного каркаса использование каркаса ЛСТК уменьшает сроки строительства на 40%, а трудовые ресурсы на 20%.

К традиционным и перспективным направлениям применения в строительстве конструкций данного типа можно отнести следующие:

- наружные ограждающие конструкции в сборно-монолитном строительстве;
- строительство индивидуальных загородных домов;
- надстройка мансардных этажей зданий старого фонда;
- реконструкция жилых домов фонда первых массовых серий с надстройкой мансардных этажей;
- модернизация зданий дошкольных учреждений с надстройкой мансардных этажей;
- реабилитация кровель жилых зданий и т.д.

Концепция строительства на основе ЛСТК может применяться самостоятельно или в сочетании с другими строительными конструкциями, [7]–[9] и др. в качестве ограждающих стен, внутренних перегородок, междуэтажных перекрытий, стропильных конструкций мансард и крыш при строительстве и реконструкции.

До 2017г. развитие и применение ЛСТК в России было затруднено вследствие отсутствия единой нормативной базы. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», а также его ранее действовавшие версии, не содержат конкретных требований к ЛСТК

Введенный в действие в 2017 году СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов», базирующийся на требованиях Eurocode-3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, позволил проектирование и строительство зданий из ЛСТК сделать легитимным.

Однако, столь важное свойство конструкции, как легкость может заметно сказаться на ее несущей способности. Поэтому ЛСТК перед их внедрением в строительство должны быть подвергнуты тщательному анализу по несущей способности.

Несмотря на столь широкую распространенность подобных конструкций в России, на сегодняшний день имеются существенные недостатки в нормативной, методической и расчетно-вычислительной базах по расчету ЛСТК [10].

Причины аварий и повреждений, полученных в процессе монтажа и эксплуатации зданий и сооружений из ЛСТК, можно условно разделить на две группы [11, 12]:

- ошибки, допущенные в процессе проектирования;
- ошибки, допущенные в процессе возведения.

Рассмотрим основные известные аварии зданий из тонкостенных холодногнутого профилей, произошедших в различных населенных пунктах Российской Федерации и причины их возникновения [11–14] и др.:

1. В январе 2008г произошло обрушение 80-90% конструкций автоматизированного склада размерами 60x100 м высотой 36 м. в Домодедовском районе Московской области (рис. 1). Стеллажи для складирования товаров одновременно являются основными несущими конструкциями. Поперечная рама здания представляла собой совокупность вертикальных решетчатых стоек-ферм, установленных с шагом 2,74 м, объединенных в уровне покрытия кровельной балкой-фермой. В средней части стойки-фермы

были установлены на рамы, состоящие из вертикальных решетчатых двутавровых стоек-ферм, объединенных горизонтальной перехватной фермой. Основная часть несущих конструкций (стойки-фермы, прогоны, система связей) была запроектирована и изготовлена из холодногнутого тонкостенного сложного открытого профиля. Профессор И.И. Ведяков в [13] отмечает, что основной причиной обрушения явилось отсутствие обеспечения устойчивости каркаса в продольном направлении из-за неудовлетворительной системы вертикальных связей. Верхний и нижний пояса перехватных ферм не были раскреплены в продольном направлении, отсутствие ребер в местах опирания решетчатых стоек привело к дополнительной потере устойчивости стенок поясов и их скручиванию.



**Рис. 1.** Обрушенные конструкции склада [13]

**Fig. 1.** Collapsed warehouse structures

2. В 2010 г. произошло обрушение конструкций покрытия промышленного здания в пос. Стулово. Конструкции - фермы покрытия пролетом 18 метров с шагом по колоннам 6 метров. После обрушения было проведено усиление и монтаж новых ферм; по результатам проверки несущей способности вновь смонтированных ферм установлено, что отдельные элементы (опорные раскосы) ферм были перегружены в 10 раз, связи по фермам выполнены в виде U-профиля 100x1,2 мм. Гибкость связи составила  $600/1,3=460$ , что превышает допустимую и полностью исключает связь из работы [11].

3. Наглядным примером аварии, произошедшей из-за ошибки и недочета на стадии проектирования зданий из ЛСТК, является случай в Брянской области [12]. В ночь с 24 на 25 декабря 2010 года произошло обрушение сельскохозяйственного здания. В ходе расследования причин аварии было установлено [12], что сооружение было изначально неверно запроектировано, вследствие чего верхний пояс, соединенный жестко на болтах со стойками, потерял устойчивость, что и стало причиной аварии.

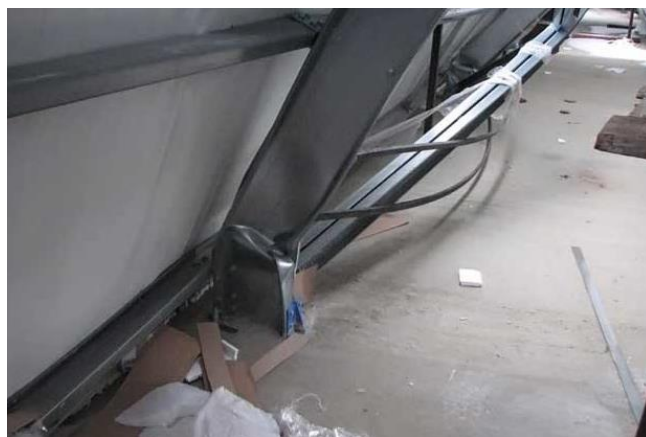
4. В феврале 2011, спустя 1 месяц после закрытия теплового контура произошло обрушение кровли и элементов каркаса двухэтажной пристройки к зданию по ул. Производственная. Снеговая нагрузка в момент обрушения (толщина снежного покрова на кровле составляла 30-40 см) не превышала 40% от расчетной снеговой нагрузки с соответствием со СП. Основная причина обрушения, [11] - потеря устойчивости сжатых элементов из плоскости (по фермам покрытия полностью отсутствовали связи). При потере устойчивости одним элементом фермы произошло лавинообразное обрушение кровли по профилированному листу.

5. В 2012 г. в Смоленской обл. в первую зиму после постройки до ввода в эксплуатацию обрушилось здание коровника на 600 голов размерами 32x150 (м) с фермами из ЛСТК пролетом 16 м (рис.2). В ходе строительства не были установлены связи в соответствии с проектом: в одной части здания отсутствовала половина связей, в другой – полностью, несмотря на требования авторского надзора.



**Рис. 2.** Обрушенные конструкции коровника в Смоленской обл.<sup>1</sup>  
**Fig. 2.** Collapsed structures of a cowshed in the Smolensk region

6. 26 января 2013 года в Южной Осетии на Багиатском заводе обрушилось производственное здание от снеговой нагрузки, которое так и не было сдано в эксплуатацию (рис.3). Здание было возведено в короткие сроки, но при этом отсутствовали проектно-сметная документация и экспертное заключение, относительно прочности ЛСТК. Случаи потери устойчивости в стержневых системах несущих элементов по причине недоучета знакопеременности усилий – довольно распространены во всех видах конструкций. Ошибки в расчетах могут привести к прогрессирующему обрушению всей конструкции, что и произошло и в случае обрушения данного здания [12].



**Рис. 3.** Обрушенные конструкции на Багиатском заводе<sup>2</sup>  
**Fig. 3.** Collapsed structures at the Bagiat plant

7. 7 февраля 2018 г. в селе Жархан Нюрбинского улуса произошло лавинообразное обрушение кровли здания коровника, введенного в эксплуатацию за три года до обрушения (рис.4). Причины обрушения в источниках не приводятся.

<sup>1</sup> Ферма сложилась [Электронный ресурс]. – URL: <https://dwg.ru/bsk/3172> (дата обращения: 31.09.2024)

<sup>2</sup> ЛСТК (Легкие стальные тонкостенные конструкции) - аварии и безопасность [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroy-trading.ru/information/article/264-LSTK-Legkie-stalnye-tonkostennye-konstruktsii---avarii-i-bezopasnost> (дата обращения: 31.09.2024)



**Рис. 4.** Обрушенные конструкции коровника в селе Жархан<sup>3</sup>  
**Fig. 4.** Collapsed structures of a cowshed in the village of Zharkhan

8. 12 февраля 2018 г обрушилась кровля еще одного коровника на 100 голов в Якутии – в селе Энгольжа Нюрбинского улуса. Обрушение произошло вследствие воздействия экстремальных снеговых нагрузок (скопления большого количества снега на пологой части кровли при выпадении аномально большого количества снега).

9. г. Архангельск, ул. Доковская. Трехэтажные дома по программе переселения граждан из ветхого и аварийного жилья на несущем каркасе из ЛСТК. Строительство было начато в 2011 году, к марту 2019 года здания так и не были сданы в эксплуатацию, по итогам обследования были обнаружены нарушения технологии и здания были запланированы под снос. Ущерб бюджету составил не менее 123 млн. руб. [14].

10. В марте 2018 г. в пгт. Жешарт республики Коми произошло обрушение крыши здания магазина «Пятерочка» с несущим каркасом из ЛСТК по проекту 2014 г, сданного в эксплуатацию в 2015 году. Причина обрушения: при проектировании был некорректно выполнен сбор нагрузок на здание и подбор сечений элементов ферм, непосредственное проектирование ферм и обеспечение пространственной устойчивости здания [14]. Элементы ферм покрытия не выдержали воздействия фактических нагрузок и произошло обрушение. [14].

11. Обрушение на о. Итуруп и о. Кунашир Сахалинской области каркасно-обшивных панелей (ЛСТК) здания госпиталя на стальном каркасе. Нарушения наблюдались на всех этапах жизненного цикла объектов, включая производство, хранение, транспортировку и монтаж. Причина обрушения: нарушение требований по хранению и монтажу ЛСТК [14]

12. В 2017 г. в г. Новосибирск выполнялось строительство жилого дома комплекса «Новомарусино» с несущим каркасом и каркасно-обшивными стеновыми панелями на основе ЛСТК. После обнаружения нарушения технологии возведения строительство было приостановлено. Выявлено, что архитектурно-планировочные решения несущего каркаса были разработаны без учета дальнейшей установки каркасно-обшивных стен, создавая потенциально некачественные узлы примыкания стен к несущему каркасу и нереальное разнообразие типоразмеров панелей стен, что привело к последующему возрастанию металлоемкости и удорожанию [14].

13. 25.04.2017 г. в Липецкой обл произошло обрушение складского помещения ОАО "ЭКЗ Лебедянский" (Pepsico), производителя соков, на площади 300 м<sup>2</sup> (рис.5). Конструктивные решения: совмещенный несущий каркас из ЛСТК, при котором складские конструкции (хранение соков) одновременно являются несущими конструкциями здания. По данным регионального управления МЧС [14], при аварии пострадало два человека, которых "завалило пакетами с соком", несколько тонн сока вылилось в реку Дон. Причина обрушения: ошибки проектирования, вызванные необязательностью выполнения требований свода правил СП 260.1325800.2016.

<sup>3</sup> В селе Жархан Нюрбинского улуса обрушилась кровля коровника [Электронный ресурс]. – URL: <https://ysia.ru/v-sele-zharhan-nyurbinskogo-ulusa-obrushilas-krovlya-korovnika/> (дата обращения: 31.09.2024)



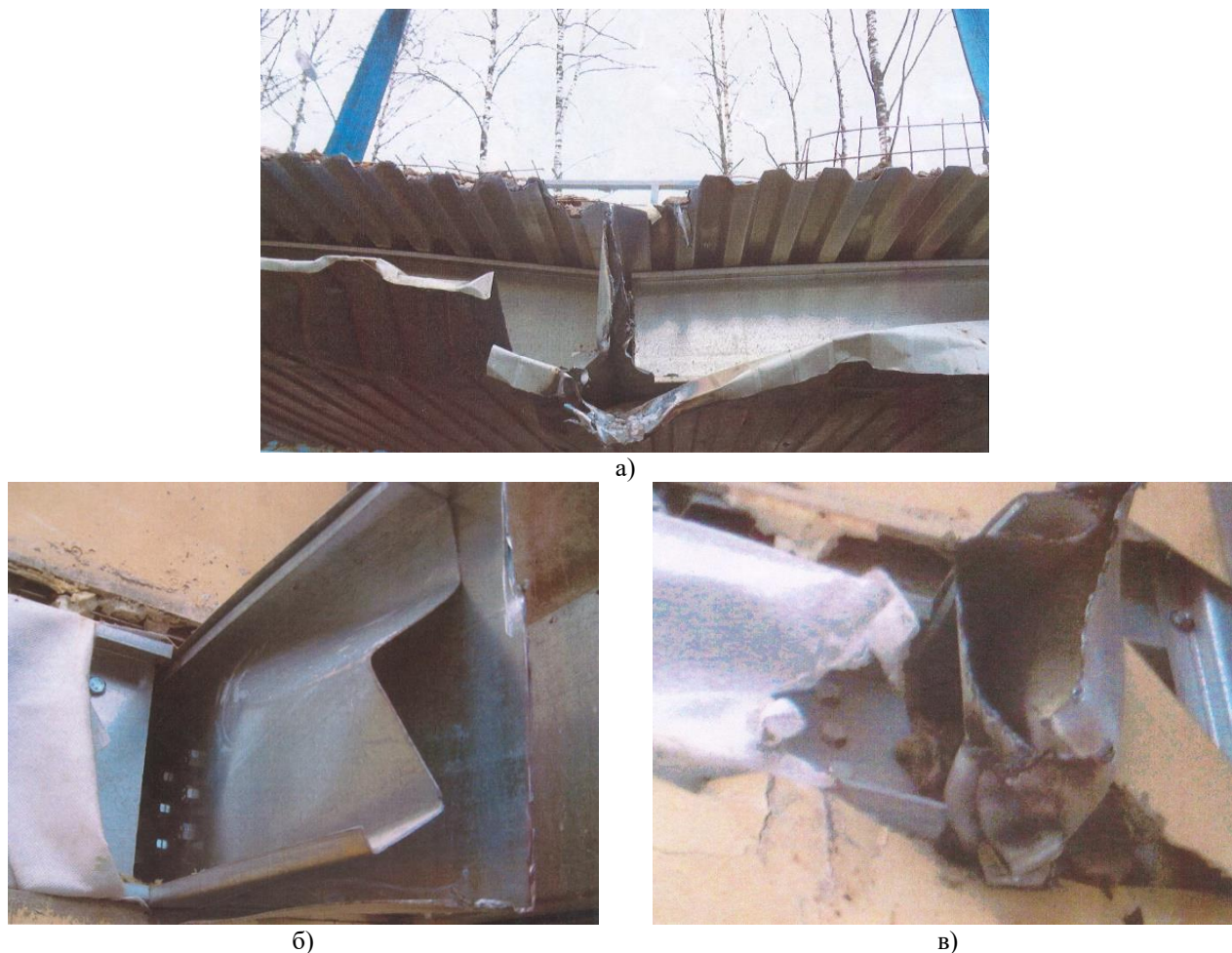
**Рис. 5.** Обрушенные конструкции склада напитков [14]  
**Fig. 5.** Collapsed structures of a beverage warehouse

14. Подробнее остановимся еще на одном из характерных обрушений – балконов жилого дома (рис.6, рис.7), экспертиза проектных решений выполнена в рамках научно-исследовательской работы [15] одним из авторов настоящей статьи. 9 февраля 2013 года в микрорайоне Кречевицы Великого Новгорода полностью обрушились два балкона со стороны главного фасада жилого трехэтажного дома, построенного на основе каркаса ЛСТК и предназначенного для ветеранов Великой Отечественной Войны, на третьем этаже частично обрушились и повредили балкон на втором этаже [16].



**Рис. 6.** Обрушение балконов в жилом доме (Великий Новгород, мкрн. Кречевицы) [16]  
**Fig. 6.** Collapse of balconies in a residential building (Veliky Novgorod, Krechevitsy microdistrict)

Здание было сдано в эксплуатацию в ноябре 2012 г., однако на момент происшествия на балконах жильцов не было.

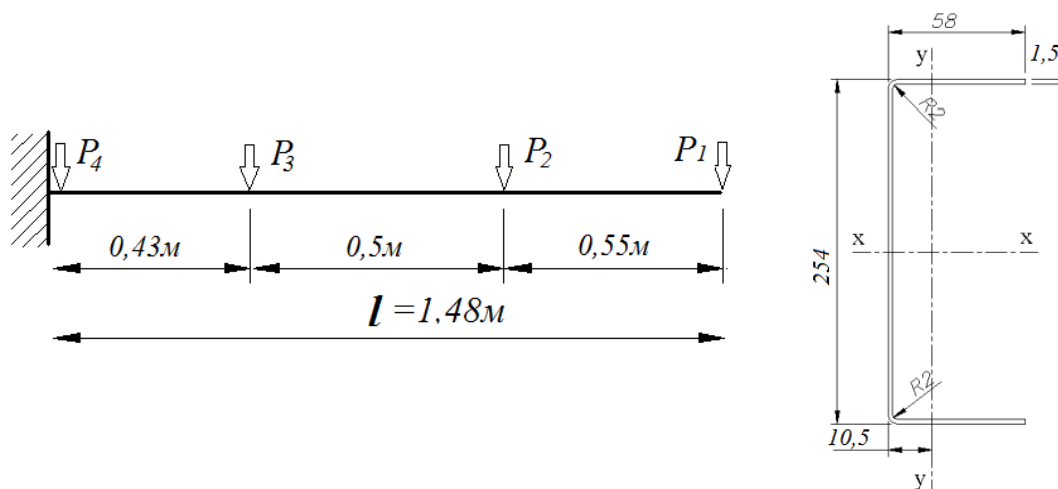


**Рис.7.** Узловые соединения несущих конструкций балконов после обрушения [16]: а – общая картина разрушения; б, в – отрыв консольных балок.

**Fig. 7.** Nodal connections of the supporting structures of balconies after collapse: a – general picture of destruction; b, c – separation of cantilever beams.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчетная схема главных балок балконов представлена на рис.8.



**Рис. 8.** Расчетная схема  
**Fig. 8.** Calculation scheme

Ввиду того, что на момент проведения экспертизы в России еще не существовало норм по расчету и проектированию ЛСТК, расчет несущих конструкций балконов был выполнен в соответствии с методикой СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».

Нагрузки на балконную плиту, в соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия», приведены в табл.1.

**Таблица 1.** Нагрузки на балконную плиту

**Table 1.** Loads on the balcony slab

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативное значение, кН/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетная, кН/м <sup>2</sup>
1	Вес пирога балконной плиты на основе ЛСТК	0,513	1,11	0,570
2	Ограждение, труба квадратная 35x3, ГОСТ 8639-82 - основное,	0,152кН	1,05	0,160кН
3	- торцевое	0,152 кН/м	1,05	0,147кН/м
4	Снеговая нагрузка	1,26	1,43	1,8
5	Полезная равномерно распределенная	2,0	1,2	2,4
6	Полезная на полосу 0,8м вдоль ограждения	4,0	1,2	4,8

Геометрические характеристики в расчете приняты наименьшими из двух: по сортаменту СТО 96199376-002-2008 «Профили стальные гнутые для производства зданий и сооружений по технологии ЛСТК (ООО “Квикхауз”))» и по расчету в программе ТОНУС (ПК SCAD Office), табл. 2.

**Таблица 2.** Геометрические характеристики поперечного сечения профиля

**Table 2.** Geometric characteristics of the cross-section of the profile

Обозн.	Параметр	Значение по СТО	Значение по ТОНУС	Единицы измерения
A	Площадь поперечного сечения	5,46	5,458	см <sup>2</sup>
$I_t$	Момент инерции при свободном кручении	-	0,041	см <sup>4</sup>
$I_w$	Секториальный момент инерции	-	1669,71	см <sup>6</sup>
$W_{u+}$	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	37,99	36,8	см <sup>3</sup>
$I_u$	Максимальный момент инерции	484,35	466,44	см <sup>4</sup>
$\alpha_y$	Координата центра изгиба по оси x	-	-1,672	см

Изгибно-крутильная характеристика:

$$k = \sqrt{\frac{GJ_t}{EJ_\omega}} = 0,0030775 \text{ см}^{-1}, \quad (1)$$

где  $G=0,81 \cdot 10^5$  МПа,  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа – модули сдвига и упругости стали, соответственно.

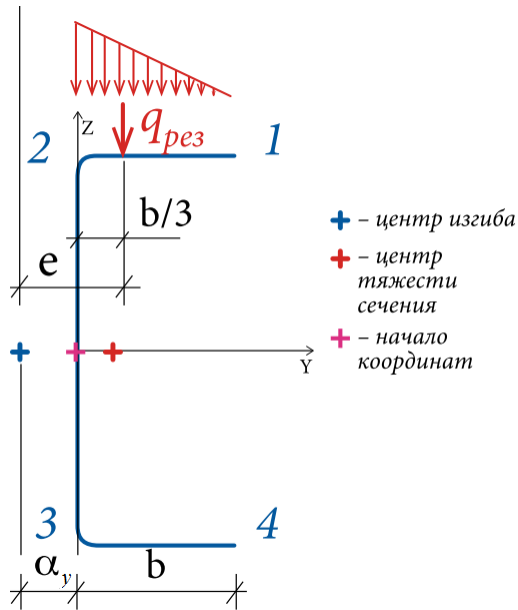
Равномерно распределенная нагрузка (рис.9) к верхней полке профиля и эксцентриситет  $e=3,605$  см определены и приложены в соответствии с методикой, обозначенной в [1, 17].

Эпюра секториальных координат профиля представлена на рис.10. Максимальные секториальные координаты необходимы для выявления напряжения от бимоента и составят:

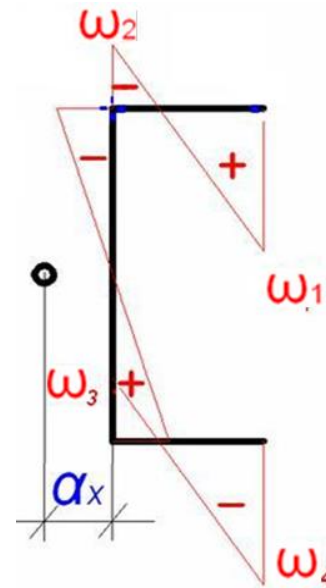
$$\omega_1 = (\alpha_y - b) \frac{h}{2} = (1,672 - 5,8) \frac{25,34}{2} = -52,30 \text{ см}^2 \quad (2)$$

$$\omega_2 = \alpha_y \frac{h}{2} = 21,19 \text{ см}^2 \quad (3)$$





**Рис. 9.** Схема осей координат и приложения нагрузки, нумерация точек  
**Fig. 9.** Scheme of coordinate axes and load application, numbering of points



**Рис.10.** Эпюра секториальных нормальных напряжений  
**Fig.10.** Sectorial normal stress diagram

Согласно СП 16.13330.2011, расчет на прочность балок следовало выполнять при действии моментов в двух главных плоскостях и наличии бимомента (формула 1).

Изгибающий момент в опорном сечении:

$$M_y = -P_1 t_1 - P_2 t_2 - P_3 t_3 = -11,63 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (4)$$

где  $t$  – расстояние от начала балки до точки приложения нагрузки;  $P_1=3,19$  кН;  $P_2=5,89$  кН;  $P_3=3,36$  кН.

Выражение для бимомента для случая консольной балки, по В.З.Власову [1].

$$B = -\frac{1}{k} \frac{Pe}{ch(kl)} [sh(k(l-t)) - sh(kl)]. \quad (5)$$

Считая, что изгиб происходит только в одной плоскости, принимаем  $M_y=0$ . Бимомент в опорном сечении получается суперпозицией бимоментов от отдельных сил:  $B_1=1590$  кН·см<sup>2</sup>;  $B_2=1879$  кН·см<sup>2</sup>;  $B_3=507,2$  кН·см<sup>2</sup>.

Максимальные значения нормальных напряжений в точках 1-4 (рис. 9)  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  возникнут в заделке и представлены в табл.3.

**Таблица 3.** Сопоставление изгибных и бимоментных составляющих напряжений  
**Table 3.** Comparison of bending and bimoment stress components

Номер точки	$\sigma_x$ , МПа		
	Составляющие напряжения		Общее напряжение
	изгибные напряжения	от бимомента	
1	+316,0	-1245,5	-929,5
2	+316,0	+504,6	847,1
3	-316,0	-504,6	-847,1
4	-316,0	+1245,5	+929,5

Допустимое напряжение:

$$\sigma_{дон} = R_y \gamma_c = 320 \cdot 0,9 = 288 \text{ МПа}, \quad (6)$$

что в 3,29 раза меньше фактического (табл. 3).

Кроме того, согласно п. 8.2.1. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», значения напряжений в стенке балки должны быть проверены по формуле:

$$\frac{0,87}{R_y \gamma_c} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq 1. \quad (7)$$

Для этого использован МКЭ в статической постановке в программном комплексе SCAD Office (рис.11, рис.12).

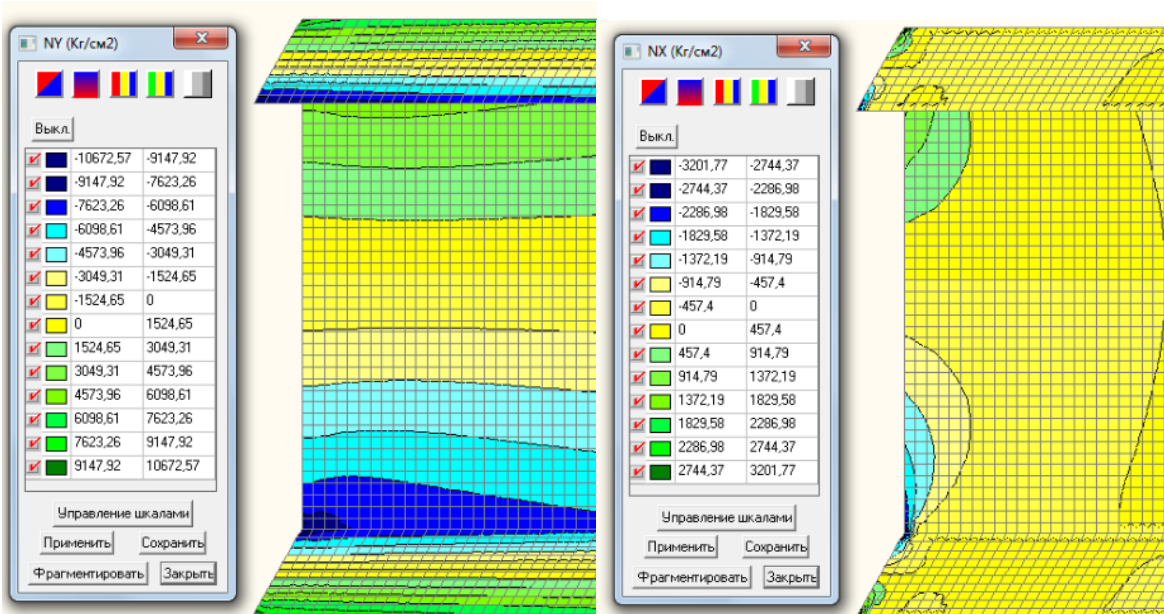


Рис. 11. Нормальные напряжения  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$   
 Fig. 11. Normal stresses  $\sigma_y$  and  $\sigma_x$

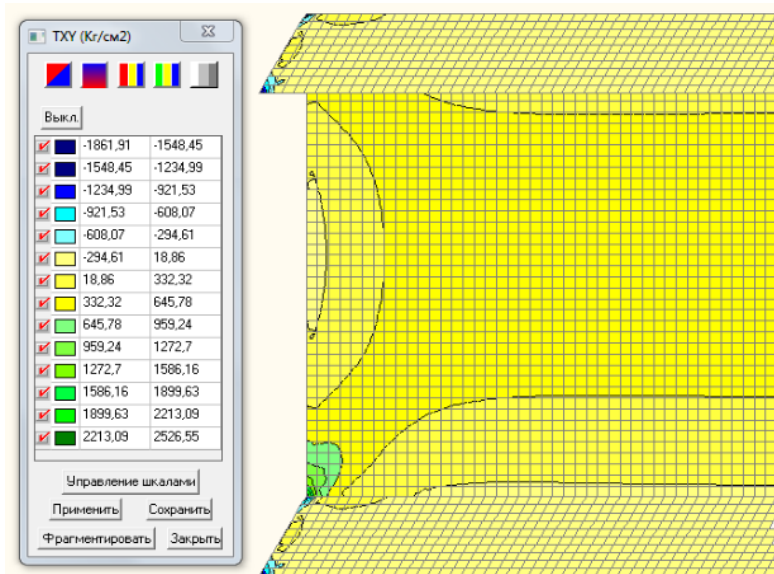


Рис. 12. Касательные напряжения  $\tau_{xy}$   
 Fig. 12. Shear stresses  $\tau_{xy}$

Подстановка вычисленных напряжений в (7) дает следующие результаты:

$$\frac{0,87\sigma_{эжв}^{(3)}}{R_y \gamma_c} = \frac{0,87}{3200 \cdot 0,9} \sqrt{1047^2 + 314^2 - 1047 \cdot 314 + 3 \cdot 182,7^2} = 3,02 > 1 \quad (8)$$

Условие прочности для точки 3 не выполняется, что является нарушением п.8.2.1. СП 16.13330.2011. Коэффициенты использования формы сечения соответственно составляют 3,29 и 3,02.

Также в проекте не были предусмотрены мероприятия по очистке кровли от снега и сосулек и других осадков; отсутствовал козырек над балконами 3 этажа.

В завершение исследования отметим, что выполненные расчеты были выполнены по формулам СП 16.13330, предназначенного для стальных конструкций из так называемого «черного» металла. В то время как в нормах по проектированию ЛСТК, несмотря на многочисленные замечания и предложения со стороны авторов настоящей статьи, в т.ч. [18-19] и др., направленные в адрес разработчиков данных норм, – как первой редакции СП 260.1325800.2016, так и второй СП 260.1325800.2023, требования стандарта и расстановка соответствующих акцентов по его тексту, весьма скупы.

Так, например, в первой редакции бимомент как силовой фактор в формулах расчета в прямом виде не упоминается. Однако несмотря на то, что авторы изменения №2 от 10.08.2021 сделали ряд оговорок, состоящих в том, что все формулы для расчета прочности и устойчивости применимы при соблюдении сформулированного условия: конструктивный элемент не подвержен свободному или стесненному кручению либо надежно раскреплен по своей длине от кручения и влияния изгибно-крутящего бимомента  $B$ , бимомент и секториальный крутящий момент все-таки косвенно фигурируют в определении величин напряжений. При действии в сечении элемента крутящего момента или изгибно-крутящего бимомента и отсутствии надежного его раскрепления от кручения расчет поперечного сечения по прочности следует выполнять в соответствии с формулами:

$$\sigma_{tot,r} = \sigma_{N,r} + \sigma_{My,r} + \sigma_{Mx,r} + \sigma_{w,r} \quad (9)$$

$$\tau_{tot,r} = \tau_{Qy,r} + \tau_{Qx,r} + \tau_{t,r} + \tau_{w,r} \quad (10)$$

в которых  $\sigma_{N,r}, \sigma_{My,r}, \sigma_{Mx,r}, \sigma_{w,r}$  – составляющие нормальных напряжений от продольной силы, изгибающих моментов в двух плоскостях и бимомента, соответственно;  $\tau_{Qy,r}, \tau_{Qx,r}, \tau_{t,r}, \tau_{w,r}$  – составляющие касательных напряжений от двух продольных сил, момента чистого и стесненного кручения, соответственно.

Но эти формулы пока что единственные в данном стандарте...

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа обрушений, дефектов и повреждений объектов ЛСТК, а также соответствующих строительных норм, можно сделать следующие выводы:

1) большинство аварий связано с объектами, которые были запроектированы и построены до вступления в силу СП 260.1325800.2016. После выхода в свет данного документа количество обрушений и аварий существенно снижено;

2) учет бимомента крайне важен для оценки НДС ЛСТК и их отдельных элементов. Максимальные значения нормальных напряжений с учетом бимомента могут превышать соответствующие значения без учета бимомента в 2,0-3,3 раза;

3) одна из причин аварий после выхода свода правил СП 260.1325800.2016 в том, что его требования к ЛСТК не являются обязательными для выполнения (его пункты не были включены ни в один из Перечней национальных стандартов и сводов правил (распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2010 года N 1047-р.; пост. Правительства РФ от 26 декабря 2014 года N 1521; постановление Правительства РФ от 04.07.2020 N 985 и др.), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается технического регламента о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009г.);

4) актуальная версия СП 260.1325800.2023 также содержит существенное количество недостатков и недоработок, один из которых, по мнению авторов, заключается в минимизации требований по учету бимомента, что может также приводить к дефектам и повреждениям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков, В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций: учебное пособие / В.А. Рыбаков. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 207 с.
2. Брудка, Я. Легкие стальные конструкции / Я. Брудка, М. Лубиньски. -2-е изд., доп. пер. с польск. под ред. С.С. Кармилова. М.: Стройиздат, 1974. 342 с.
3. Мезенцева, Е.А. Быстровозводимые здания из легких стальных конструкций / Е.А. Мезенцева, С.Д. Лушников // Вестник МГСУ. 2009. Спецвыпуск. С. 62-64.
4. Конструирование зданий и сооружений. Легкие стальные тонкостенные конструкции: учебное пособие для вузов по направлению подготовки магистров “Прикл. механика” / Н.И. Ватин, Е.Н. Жмарин, В.Г. Куражова, К.Ю. Усанова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 261 с.

5. Быстровозводимые малоэтажные жилые здания с применением легких стальных тонкостенных конструкций / А.Б. Павлов, Э.Л. Айрумян, С.В. Камынин, Н.И. Каменщиков // Промышленное и гражданское строительство. 2006. №9. С. 51-53.
6. Туманян, Г.А. Преимущество использования легких стальных тонкостенных конструкций при возведении жилых домов/ Г.А. Туманян, Н.В. Ильина // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии: материалы II междунаучно-практической конференции, Москва, 30 июня 2015 года / ПГУПС. 2015. С. 61-63.
7. Альхименко, А.И. Технология легких стальных тонкостенных конструкций /А.И. Альхименко, Н.И. Ватин, В.А. Рыбаков. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 27 с.
8. Игнатьева, К.Э. Технология строительства из ЛСТК / К.Э. Игнатьева // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: материалы междунаучно-практической конференции, Тюмень, 23 апреля 2015 года / ТюмГАСУ. 2015. С. 98-100.
9. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы /Н.И. Ватин, В.В. Володин, Е.А. Золотарева, К.В. Петров, Е.Н. Жмарин // Magazine of Civil Engineering. 2010. № 12(2). С. 59-64.
10. Методы расчета тонкостенных стержней: статика, динамика, устойчивость / Д.О. Советников, А.А. Азаров, С.С. Иванов, В.А. Рыбаков // AlfaBuild. 2018. №3(1). С. 7-33.
11. Тимошенко, М.С. Оценка дефектов зданий и сооружений из легких стальных тонкостенных конструкций / М.С. Тимошенко, Т.Н. Будак // Ростовский научный журнал. 2018. № 12. С. 301-308.
12. Сендецкий, В.И. Обзор аварий и обрушений легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Анализ основных причин / В.И. Сендецкий, К.И. Еремин // Строительство — формирование среды жизнедеятельности: сборник материалов XIX междунаучно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 22–24 апреля 2015 года / НИ МГСУ. 2016. С. 400-403.
13. Ведяков, И.И. О причинах обрушения автоматизированного холодильного складского комплекса в Домодедовском районе Московской области и мероприятиях, обеспечивающих его несущую способность при восстановлении / И.И. Ведяков // Предотвращение аварий зданий и сооружений. 2010. № 9.РААСН С. 704-710.
14. Аналитическая справка о примерах некачественной реализации технологии ЛСТК на территории РФ. М: Ассоциация развития стального строительства, 2019. 3 с.
15. Экспертиза проектного решения по устройству балкона в составе раздела 091.11-КР проекта «Жилой дом для ветеранов Великой отечественной войны в квартале 200 Великого Новгорода»: отчет по НИР/Райчук, Д.Ю., Ватин, Н.И., Рыбаков, В.А. СПб: СПбГПУ, 2013. 18 с.
16. Техническое заключение по результатам обследования конструкции балконов жилого дома по адресу: Великий Новгород, ООО “Инжстрой” / Яворская, А.В., Горбунов, Г.А., Розанов, В.Е., Петров, М.Ю. 2013. 19 с.
17. Рыбаков, В.А. Напряженно-деформированное состояние элементов каркасных сооружений из тонкостенных стержней / В.А. Рыбаков, О.С. Гамаюнова // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 12(7). С. 79-123.
18. Zhuravov K.A., Rybakov V.A., Nazmeeva T.V. An analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures. a review // AlfaBuild. 2021. № 2 (17). С. 1702.
19. Бондарь В.Т., Назмеева Т.В., Рыбаков В.А. Напряженно-деформированное состояние стойки из спаренных вложенных друг в друга профилей // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. С. 289-292.

## ОБ АВТОРАХ

**Владимир Александрович Рыбаков** – д.т.н., доцент ВШПГиДС. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: fishermanoff@mail.ru

**Татьяна Вильсовна Назмеева** – к.т.н., эксперт АРСС. 123060, Москва, ул. Берзарина, 30. E-mail: naztv@mail.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Vladimir A. Rybakov** – Ph.D. assistant professor of Higher School of Industrial, Road and Civil Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: fishermanoff@mail.ru

**Tatiana V. Nazmeeva** – Candidate of Technical Science, expert of SCDA, 123060, Russia, Moscow, Berzarina st, 30. E-mail: naztv@mail.ru