

# КОНСТРУКЦИИ

Научная статья

УДК 624.04

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>

EDN: EFIYRQ

## Бескаркасные арочные покрытия: практика применения

*Н. И. Каменщиков*<sup>✉</sup>, *М. А. Липленко*  
ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция» (Москва)  
[Kamenshchikovnikolay@gmail.com](mailto:Kamenshchikovnikolay@gmail.com)<sup>✉</sup>

### Аннотация

*Введение.* В статье рассмотрены бескаркасные арочные здания из стальных холодногнутых профилей, которые получили широкое распространение благодаря простоте производства и монтажа, низкой стоимости и технологичности. Отмечены их недостатки, включая отсутствие нормативно-технической базы и ошибки проектирования, которые приводят к авариям.

*Цель исследования* – анализ несущей способности бескаркасных арочных покрытий и разработка рекомендаций по их проектированию, строительству и эксплуатации для исключения аварий.

*Методы.* Для определения несущей способности бескаркасного арочного покрытия арка рассчитывалась с помощью численного моделирования в программном комплексе конечных элементов, с использованием оболочечных конечных элементов, поддерживающих как геометрическую нелинейность (большие деформации, перемещения и т.п.), так и физическую нелинейность. Геометрия профиля моделировалась оболочечными конечными элементами, то есть рассматривались все особенности поперечного сечения профиля с учетом поперечных гофр на полке и стенке, а также неравномерности их высоты (на стенке). Расчеты проводились в геометрически и физически нелинейной постановке задачи.

*Характеристики бескаркасных зданий.* Представлены конструктивные особенности бескаркасных арочных зданий, включая используемые материалы, типы профилей, их геометрические параметры и области применения. Обозначены ограничения, связанные с эксплуатацией таких конструкций.

*Анализ причин аварии.* Приведен анализ аварийного случая – обрушение арочной конструкции при снеговой нагрузке, которая оказалась ниже нормативной. Выявлены характерные ошибки, такие как несоответствие расчетных моделей реальным условиям эксплуатации, отсутствие учета геометрической нелинейности и неправильная технология монтажа. Анализ причин аварии показал, что проектирование и эксплуатация бескаркасных зданий без учета их специфики и соответствующей нормативной базы может приводить к разрушениям.

*Выводы и рекомендации.* Для предотвращения аварий предложено разработать единую методику расчета конструкций, включить ее в нормативные документы, а также разработать технические условия для каждого типа профилей.

**Ключевые слова:** бескаркасные арочные покрытия; холодногнутый профиль; несущая способность.

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

---

**Для цитирования:** Каменщиков Н. И., Липленко М. А. Бескаркасные арочные покрытия: практика применения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 54–62. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>; EDN: EFIYRQ

---

## Введение

В последнее время технология изготовления и монтажа бескаркасных арочных зданий из стальных гнутых профилей (рис. 1 *а*) нашла широкое применение в России и за рубежом [1]. Здания, построенные по быстровозводимым технологиям, ни в чем не уступают сооружениям, построенным из традиционных материалов:



а)



б)

Рисунок 1. Бескаркасные арочные здания: *а* – спортивный комплекс; *б* – ангар для техники  
Fig. 1. Frameless arched buildings: *a* – sports complex; *b* – equipment hangar

**Цель исследования** – анализ несущей способности бескаркасных арочных покрытий и разработка рекомендаций по их проектированию, строительству и эксплуатации для исключения аварий.

## Методы

Для определения несущей способности бескаркасного арочного покрытия арка рассчитывалась с помощью численного моделирования в программном комплексе конечных элементов с использованием оболочечных конечных элементов, поддерживающих как геометрическую нелинейность (большие деформации, перемещения и т.п.), так и физическую нелинейность. Геометрия профиля моделировалась оболочечными конечными элементами – как есть, то есть рассматривались все особенности поперечного сечения профиля с учетом поперечных гофр на полке и стенке, а также неравномерности их высоты (на стенке). Расчеты проводились в геометрически и физически нелинейной постановке задачи.

бетона, кирпича, древесины. Причинами популярности сооружений такого типа являются технологичность производства профилей (рис. 1 *б*), относительная простота, короткие сроки монтажа, низкая стоимость строительства, а при применении современных эффективных утеплителей можно минимизировать расходы на обогрев зданий в процессе эксплуатации.

## Характеристики бескаркасных зданий

Бескаркасные здания представляют собой конструкцию сводчатой формы из холодногнутых профилей, соединенных между собой при помощи фальца<sup>1</sup>. Профили прокатываются из рулонной оцинкованной или окрашенной стали толщиной 0,8–2,0 мм. При их изготовлении применяется мобильное профилегибочное оборудование. Следует отметить, что рассматриваемые конструкции могут применяться как в качестве покрытий зданий (бескаркасные покрытия) с опорой на нижележащие конструкции (стены или балки), так и в качестве самостоятельных зданий с опорой на фундаменты (бескаркасные здания).

В России и странах Содружества

<sup>1</sup> СТО 97217441-002-2018. Конструкции стальные из тонкостенных холодногнутых профилей повышенной несущей способности для бескаркасных арочных однопролетных зданий. Проектирование, изготовление, монтаж.

Независимых Государств используют, как правило, два типа профилей: U-образный (рис. 2) и трапециевидный (рис. 3). Пролеты могут варьироваться от 6 до 30 м в зависимости от нагрузок и конструктивной схемы. Здания могут изготавливаться в однослойном исполнении и многослойном с объединением слоев

между собой промежуточными конструктивными элементами и без них.

Применение трехслойных покрытий позволяет не только производить утепление зданий, располагая утеплитель между верхним и нижним слоями арочных профилей, но и увеличить пролет здания за счет совместной работы слоев свода.

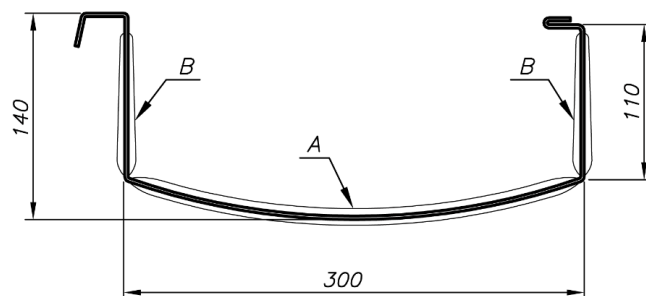


Рисунок 2. Поперечное сечение холодногнутого профиля U-образного сечения:

**A** – поперечное гофрирование глубиной от 2 до 5 мм при шаге гофр 35 мм;

**B** – поперечное гофрирование глубиной от 1 до 5 мм при шаге гофр 35 мм

Fig. 2. Cross-section of a U-shaped cold-formed profile:

**A** – transverse corrugation depth ranging from 2 to 5 mm with a corrugation pitch of 35 mm;

**B** – transverse corrugation depth ranging from 1 to 5 mm with a corrugation pitch of 35 mm

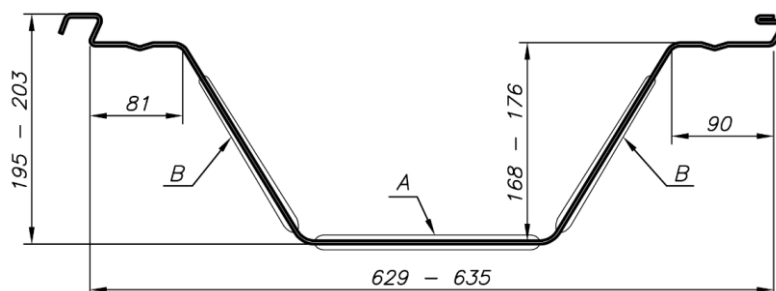


Рисунок 3. Поперечное сечение холодногнутого профиля трапециевидного сечения:

**A** – поперечное гофрирование глубиной от 2 до 5 мм при шаге гофр от 35 до 38 мм;

**B** – поперечное гофрирование глубиной от 1 до 5 мм при шаге гофр от 35 до 38 мм

Fig. 3. Cross-section of a trapezoidal cold-formed profile:

**A** – transverse corrugation depth ranging from 2 to 5 mm with a corrugation pitch of 35–38 mm;

**B** – transverse corrugation depth ranging from 1 to 5 mm with a corrugation pitch of 35–38 mm

Отсутствие нормативно-технической документации по расчёту, проектированию и монтажу арочных покрытий из стальных гнутых профилей, имеющих ряд особенностей работы, а также ошибки, вызванные некорректным проектированием, которые часто допускаются при возведении такого типа сооружений, приводят к авариям. Строители ошибочно допускают использование подвешенного грузоподъемного транспорта в зданиях с

арочным покрытием, что категорически не допускается.

Длина здания без устройства температурного шва не должна превышать 140 м при зимних температурах наружного воздуха от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $-55^{\circ}\text{C}$  и 200 м при зимних температурах выше  $-40^{\circ}\text{C}$ , что также не всегда соблюдается при строительстве бескаркасных арочных покрытий из стальных гнутых профилей.

Распорные усилия от воздействия

нагрузок на арочное покрытие должны восприниматься фундаментом или несущими конструкциями здания. Для восприятия распорных усилий рекомендуется использовать стальные затяжки, расположенные поперек здания в толще пола или на уровне узлов опирания арочного покрытия на несущие конструкции, что не всегда реализуется строителями. Несоблюдение технологии при соединении элементов может привести к деформации и потере несущей способности всей конструкции.

Как правило, разрушение бескаркасной арочной конструкции начинается в результате потери местной устойчивости граней профиля, преимущественно поперечно-гофрированных.

В процессе эксплуатации бескаркасных арочных покрытий следует регулярно проверять их техническое состояние. От-

сутствие регулярных проверок технического состояния арочного покрытия и некорректная эксплуатация часто приводят к коррозии, раскрытию фальцевого соединения между профилями или другим повреждениям, которые могут угрожать не только самому покрытию, но и размещенным внутри материалам или оборудованию.

Безаварийная эксплуатация бескаркасного арочного покрытия зависит от корректно выполненных расчетов, учитывающих особенности работы тонкостенных конструкций с поперечным гофрированием [2–6].

Область рационального применения арочного покрытия зависит от расчетных нагрузок, условий закрепления на опорах, геометрических соотношений  $H/L$  – высоты стрелы подъема арки  $H$  к пролету  $L$  (рис. 4), марки и толщины стали гнутого профиля [8].

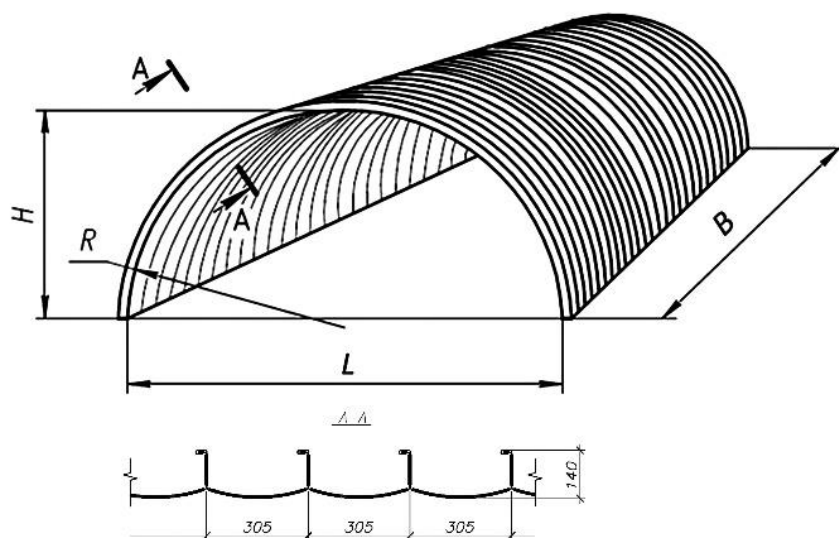


Рисунок 4. Типовая конструкция бескаркасного арочного покрытия

Fig. 4. Typical structure of a frameless arched roof

Расчет несущей способности бескаркасного арочного покрытия следует выполнять с учетом геометрической нелинейности – шаговым методом с постепенным увеличением нагрузки и определением напряжений и перемещений на каждом шаге. При расчете многослойных конструкций без объединения слоев, распределение усилий между слоя-

ми необходимо определять с учетом контактного взаимодействия в зависимости от схем нагружения.

#### Анализ причин аварии

В качестве наглядного примера на рисунке 5 приведена авария стальных конструкций покрытия бескаркасного арочного покрытия размерами  $15 \times 80 \times 6$  м из тонкостенных холодногнутох профилей.



Рисунок 5. Обрушение бескаркасного здания: *a* – общий вид; *b* – вид на зону обрушения  
 Fig. 5. Collapse of a frameless buildings: *a* – general view; *b* – view of the collapse area

Для изготовления гнутых профилей был использован прокат из горячеоцинкованной стали марки 220 по ГОСТ 14918<sup>2</sup> толщиной 0,8 мм без дополнительного лакокрасочного покрытия. Класс цинкового покрытия 140. Здание имело в плане размеры 15,0×80,0 м и высоту в середине пролета 6,0 м (см. рис. 5). В конструктивном отношении возведенное бескаркасное здание решено в виде однопролетного, однослойного, с шарнирным опиранием оболочки на монолитный железобетонный ростверк размерами 400×600 мм с буронабивными сваями диаметром 350 мм и длиной 1,8 м, расположенными с шагом 1,8 м. В данном решении усилия от распора арочного покрытия воспринимались монолитным железобетонным ростверком.

Бескаркасное арочное покрытие было выполнено из стальных оцинкованных тонкостенных холодногнутых профилей U-образного сечения, свальцованных по заданному радиусу  $R = 7688$  м. Арочные профили длиной на весь пролет (без поперечных стыков) изготавливались на строительной площадке на мобильном профилегибочном стане и соединялись между собой по продольным краям с помощью одиночного фальцевого замка, объединяющего профили в пространственную конструкцию.

<sup>2</sup> ГОСТ 14918-2020 Прокат листовой горячеоцинкованной. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020. 27 с.

Во время натурального осмотра бескаркасного здания было обнаружено обрушение арочных сводов в центральной части здания (см. рис. 5). Территория, прилегающая к объекту, не была очищена от снега, следов уборки снега не было как по периметру объекта, так и на расстоянии 50 м от границ пятна застройки. Уровень снега, лежавший в верхней части на неповрежденных участках покрытия, покрывал U-образное сечение полностью. В зоне обрушения на полу внутри здания был обнаружен снег, лежавший шапкой перед аварией на покрытии, имевший различное уплотнение по высоте слоя, в том числе обнаружен слой льда толщиной, достигавшей 22 мм, что свидетельствует об оттаивании и последующем замораживании ввиду изменения внешнего температурного режима. Максимальный вес снегового покрова при проведении снегомерных наблюдений на ближайшей метеорологической станции составлял 1,127 кПа, что не достигает значения нормативной снеговой нагрузки для III снегового района в соответствии с СП 20.13330<sup>3</sup>.

Для ответа на вопрос, соответствует ли здание с бескаркасным арочным покрытием из тонкостенных холодногнутых профилей нормативным требованиям в

<sup>3</sup> СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1-6). Москва: Стандартинформ, 2017. 73 с.



части прочности при снеговых и ветровых нагрузках, был выполнен поперечный расчет. По результатам расчета были определены фибровые напряжения в несущей арочной конструкции в разных стадиях нагружения. При снеговой нагрузке 75 % от максимального веса снегового покрова, зафиксированного ближайшей метеорологической станцией, перемещения свода достигли 138 мм. Далее с ростом нагрузки перемещения свода и напряжения в профилях быстро увеличивались и при нагрузке 80 % от максимального веса снегового покрова арочная конструкция потеряла несущую способность.

Анализируя результаты расчета, можно констатировать следующее: при действии снеговой нагрузки, зафиксированной на ближайшей метеостанции,

фибровые напряжения в сечениях элементов превышают предел текучести стального проката до трех раз (рис. 6). Следует отметить, что обрушение произошло при снеговой нагрузке, которая не достигла даже своего нормативного значения в соответствии с СП 20.13330.

Возможность эксплуатации конструкции арочного покрытия за пределами зоны обрушения может быть обеспечена за счет усиления. Техническое решение усиления требует отдельных расчетов и выполнения проектных решений. Таким образом, стальные конструкции покрытия бескаркасного арочного здания размерами 15×80×6 м из тонкостенных холодногну-тых профилей не соответствуют требованиям нормативных документов по прочностным параметрам.

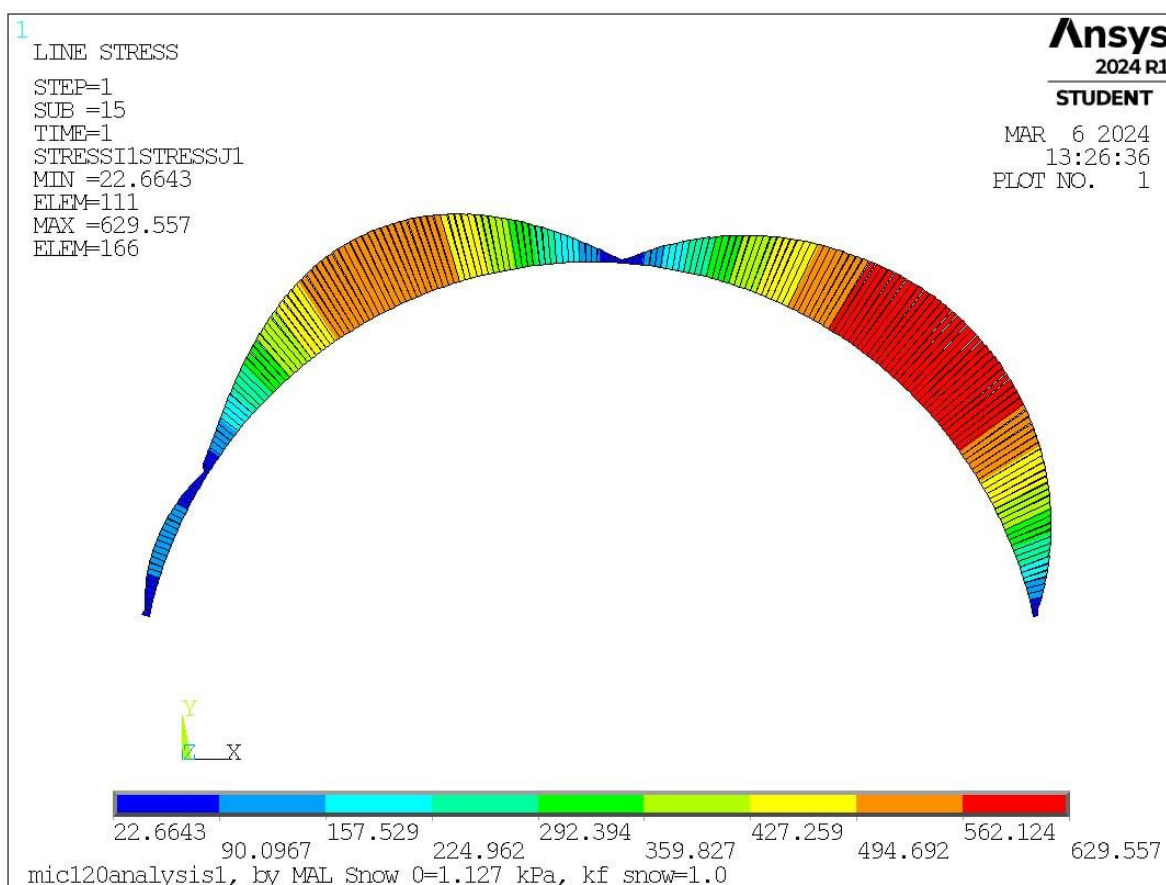


Рисунок 6. Результаты расчета бескаркасной арочной конструкции, фибровые напряжения, МПа, при снеговой нагрузке 1,127 кПа

Fig. 6. Calculation results of a frameless arched structure, fiber stresses, MPa, under a snow load of 1.127 kPa

### Выводы и рекомендации

Для исключения возникновения аварийных ситуаций с бескаркасными арочными зданиями из тонкостенных холодногнутых профилей необходимо разработать и включить в федеральные нормативные документы по проектированию единую методику расчета тонкостенных холодногнутых профилей бескаркасных зданий, учитывающую тонкостенность и поперечное гофрирование.

В связи с тем что на рынке профилегибочного оборудования присутствуют различные производители прокатных станков для бескаркасных зданий, с помощью которых изготавливают профили с раз-

личными геометрическими параметрами, необходимо для каждого типа профиля разрабатывать собственные технические условия в обязательном порядке.

Ввиду отсутствия в настоящее время в федеральных нормативных документах методики расчета бескаркасных арочных конструкций из холодногнутого профиля проектировать, возводить и эксплуатировать такие здания следует по стандартам организаций, разработанным специализированными организациями и включенным в реестр добровольной регистрации стандартов организации в Федеральном информационном фонде стандартов ФГБУ «Институт стандартизации».

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айрумян Э. Л., Каменщиков Н. И., Липленко М. А. Эффективные стальные конструкции из холодногнутого оцинкованного профиля – перспективное направление развития металлостроительства в России // Наука и инновации в современном строительстве – 2012: Международный конгресс посвященный 180-летию СПбГАСУ. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. С. 48-52. EDN: OJWOCV.
2. Липленко М. А., Куниин Ю. С. Механические характеристики стали тонкостенных холодногнутого профиля бескаркасных зданий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82, № 4. С. 47-52. EDN: VVRVSL.
3. Напряженно-деформированное состояние бескаркасного сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутого профиля с учетом конструктивных особенностей / М. А. Чайка, А. Н. Мионов, В. А. Мазур, Е. Н. Оленич // Металлические конструкции. 2023. Т. 29, № 4. С. 181-193. EDN: FEXOFW.
4. Коргин А. В., Ермаков В. А., Зейд Килани Л. З. Обеспечение несущей способности арочных покрытий из холодногнутого тонкостенного профиля // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 8. С. 1008-1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016. EDN: ZGSLNV.
5. Зверев, В. В., Семенов А. С., Бобровских Д. А. Особенности бескаркасных арочных зданий из стальных тонкостенных профилей // Components of Scientific and Technological Progress. 2024. № 6(96). С. 6-10. EDN: OSNRXT.
6. Олейник А. И. Усиление большепролетных бескаркасных ангаров // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8(716). С. 15-27. EDN: YSFVGX.

Статья поступила в редакцию 24.11.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 10.12.2024

### Информация об авторах

*КАМЕНЩИКОВ Николай Ильич* – главный инженер проекта отдела легких стальных тонкостенных конструкций ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция», г. Москва. Область научных интересов – лёгкие стальные тонкостенные конструкции из холодногнутого профиля. Автор более 30 научных публикаций. E-mail: Kamenshchikovnikolay@gmail.com

*ЛИПЛЕНКО Максим Александрович* – кандидат технических наук, главный специалист ООО «ЦНИИ ПроектСтальКонструкция», г. Москва. Область научных интересов – математическое моделирование, исследование нагрузок на строительные конструкции, лёгкие

стальные тонкостенные конструкции из холодногнутых профилей. Автор 16 научных публикаций. E-mail: Liplenko@gmail.com

**Вклад авторов:**

Каменщиков Н. И. – концепция работы, интерпретация результатов, составление статьи;  
Липленко М. А. – научное руководство, выполнение расчетов, корректировка статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

---

Scientific article

UDC 624.04

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.4.54>

EDN: EFIYRQ

### Frameless arch covering: practice of application

*N. I. Kamenshchikov*<sup>✉</sup>, *M. A. Liplenko*

TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC (Moscow),

Kamenshchikovnikolay@gmail.com<sup>✉</sup>

**Abstract**

*Introduction.* The research examines frameless arched buildings made of cold-formed steel profiles, which have gained widespread popularity due to their simplicity of production and installation, low cost, and technological efficiency. The drawbacks encompass the absence of regulatory and technical documentation, as well as design flaws, which frequently result in failures.

*The aim of research* is to analyze the load-bearing capacity of frameless arched roofs and develop recommendations for their design, construction, and operation to prevent failures.

*Materials and Methods.* To determine the load-bearing capacity of a frameless arched roof, the arch was analysed by numerical modelling in a finite element software suite, employing shell finite elements that accommodate both geometric nonlinearity (large deformations, displacements, etc.) and physical nonlinearity. The profile geometry was modeled using shell finite elements, incorporating all characteristics of the cross-section, taking into account the transverse corrugations on the shelf and the wall, as well as the unevenness of their height (on the wall). The calculations were carried out in a geometrically and physically nonlinear formulation of the problem.

This paper outlines the structural characteristics of frameless arched edifices, encompassing the materials used, profile varieties, geometric specifications, and their respective applications. The limitations associated with the functioning of such structures are also delineated.

*Research outcomes.* The analysis of a failure case is provided: the failure of an arched structure under a snow load that was below the regulation threshold. Characteristic errors include inconsistencies between design models and actual operating conditions, neglect of geometric nonlinearity, and improper installation practices. The analysis showed that design and operation of frameless buildings, without consideration of their unique characteristics and the lack of an appropriate regulatory framework, may result in structural problems.

*Conclusions.* In order to prevent failures, it is proposed to develop a unified methodology for calculating structures, incorporate it into regulatory documents, and develop technical specifications for each profile type.

**Keywords:** frameless arched roofs, cold-formed profile, load-bearing capacity.

**Funding.** This study was not supported by any external sources of funding.



---

**For citation:** Kamenshchikov N. I., Liplenko M. A. Frameless arch covering: practice of application. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1): 54–62. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.54>; EDN: EFIYRQ

---

## REFERENCES

1. Airumyan E. L., Kamenshchikov N. I., Liplenko M. A. Efficient steel structures from cold-formed galvanized sections – a promising direction for the development of metal construction in Russia. *Science and Innovations in Modern Construction – 2012: International Congress dedicated to the 180th anniversary of SPbGASU*. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2012. P. 48-52. EDN: OJWOCV.
2. Liplenko M. A., Kunin Yu. S. Experimental study of the mechanical properties of cold-formed steel profiles of frameless buildings. *Industrial laboratory. Materials Diagnostics.* 2016;82(4):47-52. EDN VVRVSL.
3. Chaika M. A., Mironov A. N., Mazur V. A., Olenich E. N. Stress-strain state of a frameless vaulted coating made of thin-walled cold-bent steel profiles, taking into account design features. *Metal Constructions.* 2023;29(4):181-193. EDN: FEXOFW.
4. Korgin A. V., Ermakov V. A., Zeyd Kilani L. Z. The bearing capacity of arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles. *Vestnik MGSU.* 2022;17(8):1008-1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016. EDN: ZGSLNV.
5. Zverev V. V., Semenov A. S., Bobrovskikh D. A. Features of frameless arched buildings from thin-walled steel profiles. *Components of Scientific and Technological Progress.* 2024;(6):6-10. EDN: OSNRXT.
6. Oleinik A. I. Strengthening of large-span frameless hangars. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2018;(8):15-27. EDN: YSFVGX.

The manuscript was submitted on 24.11.2024; reviewed on 28.11.2024;  
adopted for publication on 10.12.2024

## Information about the authors

*KAMENSHCHIKOV Nikolai Ilich* – Chief Project Engineer, Light Gage Steel Structures Department, TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC, Moscow. Research interests – cold-formed steel structures. Author of more than 30 publications. E-mail: Kamenshchikovnikolay@gmail.com

*LIPLENKO Maksim Aleksandrovich* – Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist, Light Gage Steel Structures Department, TsNII ProektStalKonstruktsiya, LLC, Moscow. Research interests – mathematical modeling, load analysis of building structures, and cold-formed steel structures. Author of 16 publications. E-mail: Liplenko@gmail.com

**Contribution of the authors:**

Kamenshchikov N. I. – conceptualization of the study, interpretation of results, and drafting of the paper;  
Liplenko M. A. – Scientific supervision, calculations, and paper editing.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.