



(23)-0398-1

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕСКАРКАСНОГО СВОДЧАТОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

М. А. Чайка<sup>1</sup>, А. Н. Миронов<sup>2</sup>, В. А. Мазур<sup>3</sup>, Е. Н. Оленич<sup>4</sup>

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,

286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: <sup>1</sup> m.a.chayka@donnasa.ru, <sup>2</sup> a.n.myronov@donnasa.ru,

<sup>3</sup> v.a.mazur@donnasa.ru, <sup>4</sup> e.n.olenich@donnasa.ru

Получена 31 октября 2023; принята 24 ноября 2023.

**Аннотация.** В работе рассматривается напряженно-деформированное состояние бескаркасного сводчатого покрытия, выполненного из стальных тонкостенных холодногнутох профилей трапециевидной формы при изменении основных конструктивных особенностей таких как: вариант устройства опорного узла, наличие торцевых диафрагм жесткости, стрела подъема арки и толщина профиля. Созданы конечно-элементные модели сводчатого покрытия из профилей рассматриваемого типа в программном комплексе LIRA-SAPR 2015 с учетом предъявляемых требований. На основании разработанных расчетных моделей выполнено численное исследование и анализ влияния различных конструктивных особенностей на работу бескаркасного сводчатого покрытия. Исходя из полученных результатов выявлено, что значительное влияние на напряженно-деформированное состояние покрытия в данном регионе оказывает снеговая нагрузка с наиболее невыгодной схемой приложения в виде неравномерно распределенной по своду и неравномерно распределенной на одной из половин пролета свода. На основании проведенных численных исследований рекомендуется сводчатые покрытия пролетами 10 метров возводить из профилей толщиной 0,8 мм.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние (НДС), бескаркасное сводчатое покрытие, стальные тонкостенные холодногнутые профили, конструктивные особенности.

## STRESS-STRAIN STATE OF A FRAMELESS VAULTED COATING MADE OF THIN-WALLED COLD-BENT STEEL PROFILES, TAKING INTO ACCOUNT DESIGN FEATURES

Maria Chaika<sup>1</sup>, Andrey Mironov<sup>2</sup>, Victoria Mazur<sup>3</sup>, Elena Olenich<sup>4</sup>

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: <sup>1</sup> m.a.chayka@donnasa.ru, <sup>2</sup> a.n.myronov@donnasa.ru,

<sup>3</sup> v.a.mazur@donnasa.ru, <sup>4</sup> e.n.olenich@donnasa.ru

Received 31 October 2023; accepted 24 November 2023.

**Abstract.** The paper considers the stress-strain state of a frameless vaulted coating made of thin-walled cold-curved steel profiles of trapezoidal shape when changing the main design features such as: a variant of



the device of the support unit, the presence of end stiffeners, the boom of the arch and the thickness of the profile. Finite element models of the vaulted covering from profiles of the type in question have been created in the LIRA-SAPR 2015 software package, taking into account the requirements. Based on the developed calculation models, a numerical study and analysis of the influence of various design features on the operation of a frameless vaulted coating were performed. Based on the results obtained, it was revealed that a significant impact on the stress-strain state of the coating in this region is exerted by snow load with the most unfavorable application scheme in the form of unevenly distributed along the vault and unevenly distributed on one half of the span of the vault. Based on the numerical studies carried out, it is recommended to build vaulted coverings with spans of 10 meters from profiles with a thickness of 0,8 mm.

**Keywords:** stress-strain state, frameless vaulted coating, thin-walled cold-bent steel profiles, design features.

## Введение

За последние десятилетие наблюдается стремительный рост строительства и реконструкции с применением стальных тонкостенных холодногнутому профилей. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области является использование в строительстве бескаркасных стальных тонкостенных холодногнутому арочных профилей, выполняющих как несущие, так и ограждающие функции. Данный тип профилей позволяет не только создавать конструктивные решения покрытий зданий и сооружений, но и возводить объекты различного назначения пролетом до 36 метров (рис. 1).

Перспективность рассматриваемых конструкций объясняется относительно низкой стоимостью и высокой технологичностью строительства, доступностью материалов, возможностью изготавливать конструктивные элементы в условиях строительной площадки.

## Анализ последних исследований и публикаций

Особенности работы стальных тонкостенных профилей рассматриваются в исследованиях Е. Л. Айрумяна [1], Г. И. Белого [2], Л. В. Енджиевского [3], Ю. С. Кунина [4], М. А. Липленко [5], В. В. Зверева [6] и др., подробное исследование и анализ даются в работе Wei-Wen Yu и RA Laboube [7], а также в работе D. Dubina, V. Ungureanu, R. Landolfo [8], которые рассматривают основные предпосылки и гипотезы, положенные в основу разработки американских и европейских нормативных документов [9, 10].

Особенности численного моделирования работы бескаркасных покрытий рассматриваются в исследованиях А. Н. Жабинского, А. Ф. Старовойтова [11], М. Ю. Арменского [12], И. Л. Кузнецова, А. В. Исаева, Л. Р. Гимранова [13].

Бескаркасные сводчатые покрытия из стальных трапециевидных профилей исследовались в Питтсбургском университете США. Испытывались



Рисунок 1. Применение сводчатых покрытий.

одиночные профили, арочный и прямолинейный, на изгиб по балочной схеме. Результаты работ приведены в работе Matthew John Yagodich [14]. В Китае был проведен ряд исследований рассматриваемых конструкций – L. Xiliang, Z. Yong и Z. Fuhai изучали действительную работу однослойных покрытий [15].

К основным причинам, ограничивающие широкое применения бескаркасного строительства из стальных тонкостенных холодногнутых профилей является недостаточно развитая нормативная база и отсутствие эффективной методики расчета.

В связи с вышеизложенным, вопрос изучения несущей способности данных типов стальных профилей для возведения бескаркасных сводчатых покрытий с учетом изменения конструктивных особенностей является актуальным.

### Описание объекта исследований

Объектом исследования является бескаркасное сводчатое покрытие из стальных тонкостенных холодногнутых профилей трапецевидной формы пролетом 10 м.

### Цель работы

Цель работы – исследование влияния устройства опорного узла, наличие торцевых диафрагм жесткости, стрелы подъема арки и толщины профиля на НДС бескаркасного сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутых профилей.

### Основной материал

Рассматриваемые в работе сводчатые покрытия, выполняются из стальных тонкостенных холодногнутых профилей трапецевидной формы. Основные объемно-планировочные параметры сводчатых покрытий и применяемые материалы для их изготовления представлены в таблице 1.

В работе исследуются модели сводчатых покрытий пролетом 10 м, выполненные из профилей марки стали С245 с расчетным сопротивлением  $R_y = 240$  МПа [16], со следующими геометрическими соотношениями:

- $D = 1,5 \cdot L$ , где  $L$  – пролет,  $D$  – длина свода;
- $f = (0,3 \div 0,5) \cdot L$ , где  $f$  – стрела подъема арки.

При этом размеры профиля принимаются максимальные с толщиной 0,8 и 1,5 мм для каждой исследуемой модели.

Климатические условия принимаются для Ростовской области, которая относится ко II снеговому району и III ветровому району, сбор нагрузок на сводчатое покрытие выполнен согласно [17], с учётом собственного веса сооружения, ветровой и снеговой нагрузки. Снеговая нагрузка представлена в трех вариантах: равномерно распределенная по своду покрытия (вариант 1), неравномерно распределенная по своду (вариант 2) и неравномерно распределенная на одной из половин пролета свода (вариант 3).

Рассматриваемые расчетные сочетания нагрузок (РСН), действующие на сводчатое покрытие, представлены в таблице 2.

В качестве расчетной схемы используется пространственная модель свода, выполненная из прямоугольных пластин КЭ 344 – геометрически нелинейный универсальный четырехугольный конечный элемент оболочки с размерами 45×45 мм, 50×50 мм и 198×50 мм. Моделирование и расчет выполняется в среде программного комплекса LIRA-SAPR 2015.

Значения приведенных (эквивалентных) напряжений  $\sigma_{пр}$  в программном комплексе определяются по энергетической теории прочности Губера-Хенки-Мизеса.

Для расчета моделей в нелинейной постановке задачи используется простой шаговый метод расчета: на каждом шаге решается линеаризованная задача определения перемещений, усилий, жесткостей и в предположении, что решение является достаточно точным, реализуется переход к следующему шагу нелинейного расчета.

### 1. Изменения напряжений и вертикальных перемещений бескаркасного сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутых профилей в зависимости от варианта устройства опорного узла (сопряжения свода с бортовым элементом) и наличия торцевых диафрагм.

В работе рассматривается два наиболее распространенных в бескаркасном строительстве варианта устройства опорного узла, которые представлены на рис. 2.

На рис. 3, а – арочные профили опираются на приваренные к закладным деталям вертикальные пластины и уголки, и закрепляются болтами. В расчетной схеме данный узел задается как шарнирно-неподвижный.

На рис. 2, б – с монолитным ленточным фундаментом, где арочные профили омоноличиваются –

узел опирания в расчетной схеме принимается в виде жесткой заделки.

В процессе численного исследования были получены значения кольцевых, меридиональных и приведенных напряжений, также значения вертикальных перемещений. Примеры результатов расчёта

представлены на рис. 3 в виде мозаики приведенных напряжений и мозаики перемещений – на рис. 4.

На основании полученных данных выполнен сравнительный анализ значений исследуемых параметров, данные которых представлены в виде гистограмм на рис. 5.

**Таблица 1** – Объемно-планировочные параметры сводчатых покрытий из стальных тонкостенных холодногнутой профилей трапецевидной формы и применяемые материалы для их изготовления

Основные объемно-планировочные параметры			
№	Параметры сводчатого покрытия	Единицы измерения	Значение параметров
1	Пролёт, L	м	от 10 до 36 м
2	Длина, В	м	Кратна ширине арочного профиля
3	Стрела подъёма арки покрытия, <i>f</i>	м	0,3–0,5 от пролёта
Применяемые материалы и их свойства для изготовления профилей трапецевидной формы			
4	Материалы профилей	Сплавы алюминия или рулонная оцинкованная сталь с непрерывных линий толщиной 0,8–1,5 мм.	
Физико-механические свойства применяемых сталей			
5	Предел текучести стали	230–350 МПа	
6	Относительное удлинение стали	от 22 до 30 %	
7	Толщина цинкового покрытия	не менее 18 мкм	
Поперечное сечения профиля трапецевидной формы			
			

**Таблица 2** – Расчетные сочетания нагрузок (РСН)

№ п/п	Расчетные сочетания нагрузок
1	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка, равномерно распределённая по своду (вариант 1)
2	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка, неравномерно распределенная по своду (вариант 2)
3	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка, неравномерно распределенная на одной половине свода (вариант 3)
4	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка (вариант 1); ветровая нагрузка
5	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка (вариант 2); ветровая нагрузка
6	Собственный вес покрытия; снеговая нагрузка (вариант 3); ветровая нагрузка
7	Собственный вес покрытия; ветровая нагрузка



**Рисунок 2.** Варианты устройства опорного узла – а), б) и пример конструкции торцевой диафрагмы – в).

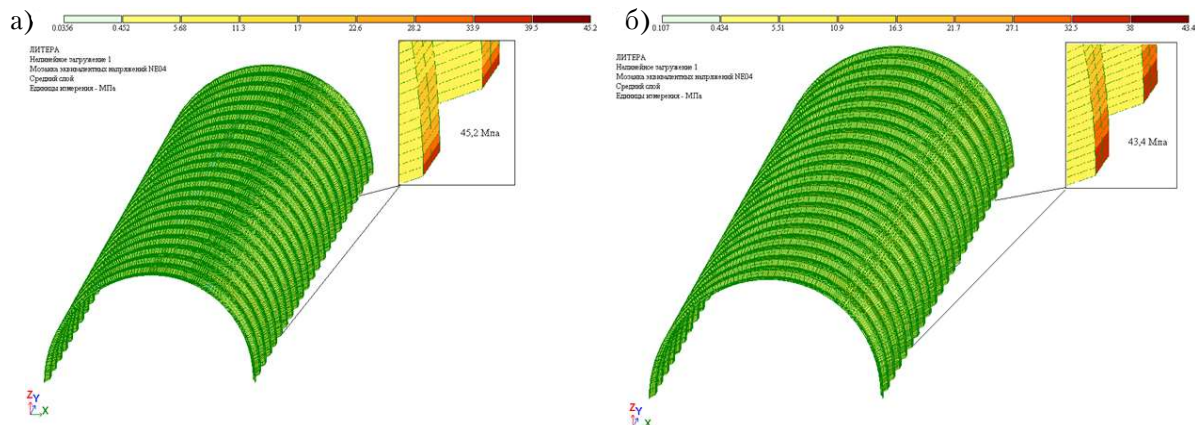


Рисунок 3. Мозаика приведенных напряжений при РСН 1: а) узел опирания в виде жесткой заделки; б) шарнирно-неподвижный узел опирания.

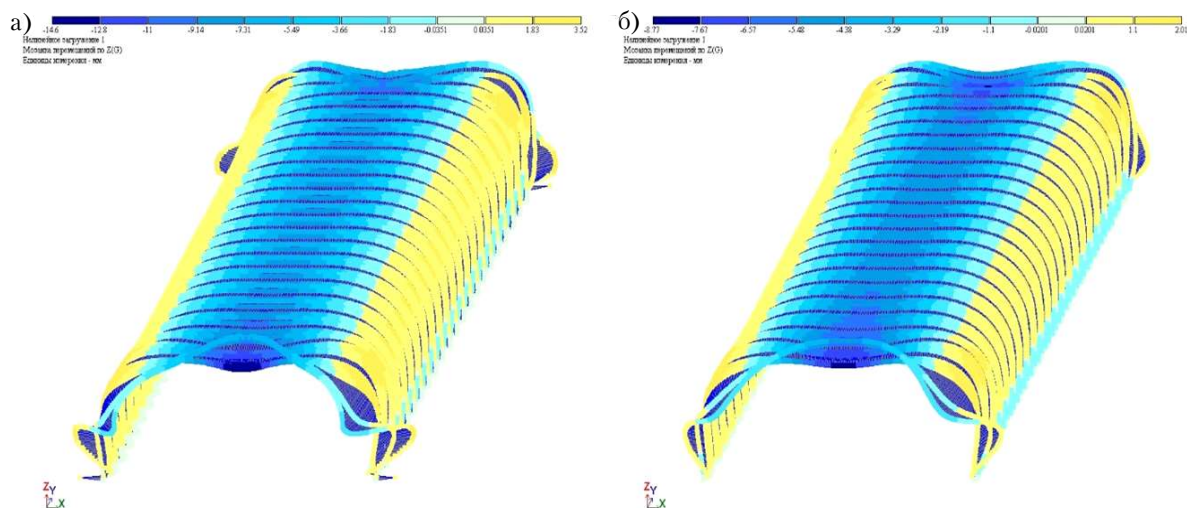


Рисунок 4. Мозаика вертикальных перемещений при РСН 1: а) узел опирания в виде жесткой заделки; б) шарнирно-неподвижный узел опирания.

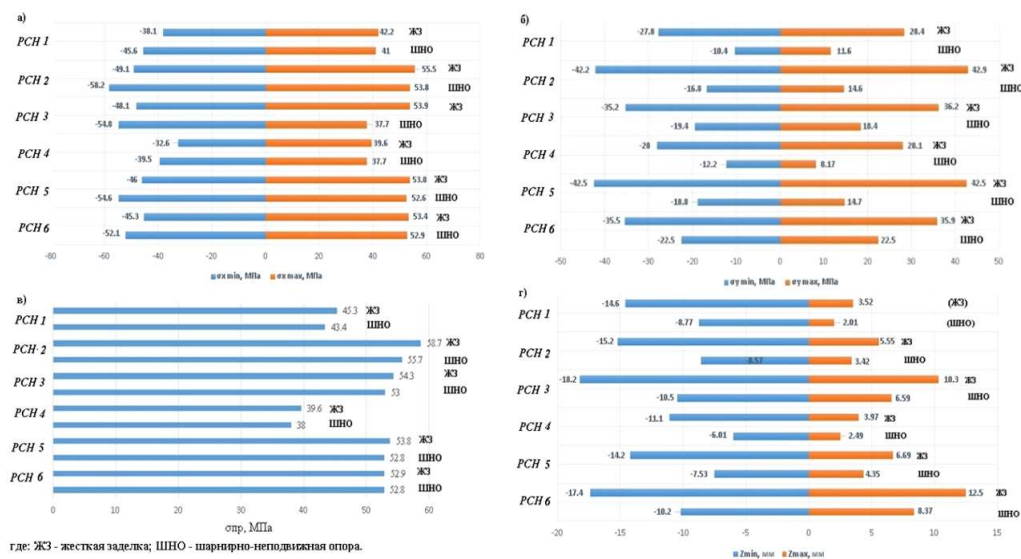


Рисунок 5. Сравнительный анализ полученных значений исследуемых параметров: а) кольцевые напряжения  $\sigma_x$ ; б) меридиональные напряжения  $\sigma_y$ ; в) приведенные напряжения  $\sigma_{пр}$ ; г) вертикальные перемещения.



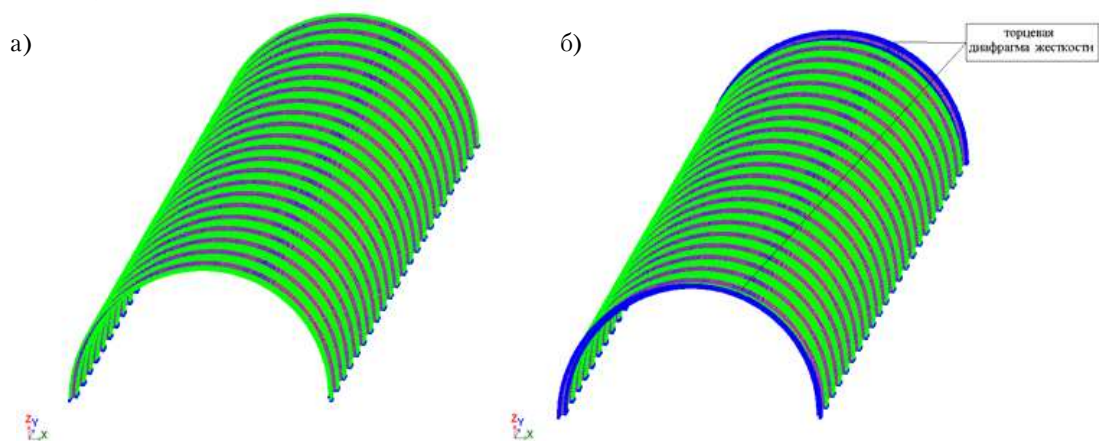
Установлено, что при закреплении арочных профилей в виде неподвижного шарнира в опорной зоне по сравнению с жесткой заделкой отмечается:

- уменьшение вертикальных перемещений в среднем на 43,3 % в зависимости от расчетного сочетания нагрузок;
- увеличение кольцевых напряжений на 18 %;
- уменьшение меридиональных напряжений на 58 %;
- уменьшение приведенных напряжений на 3 %;
- расчетные значения максимального прогиба в независимости от устройства опорного узла не превышают предельно допустимого значения в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [16]. Максимальный допустимый прогиб, составляет 47,37 мм.

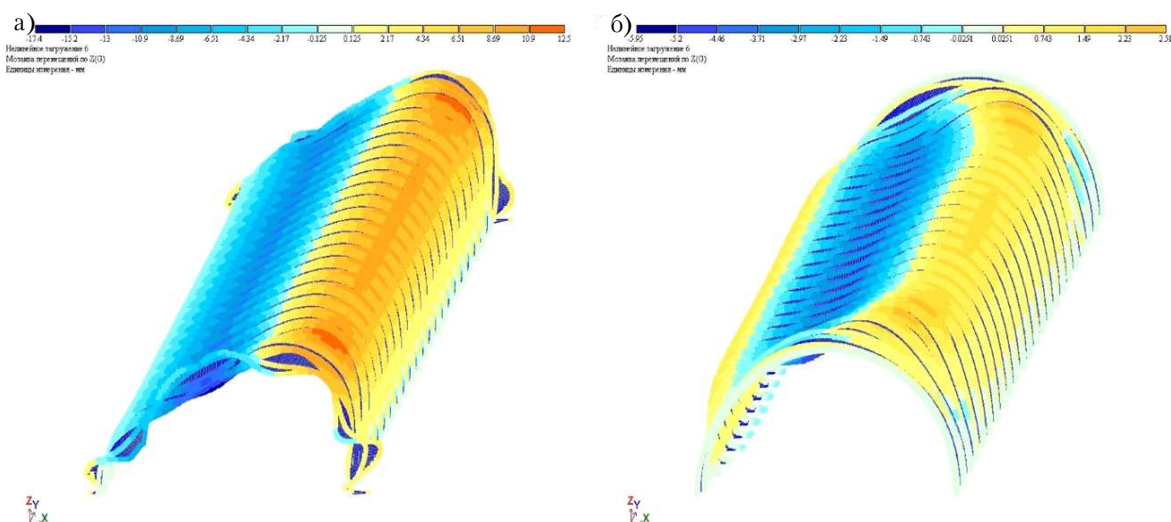
Далее в работе рассматривается сопряжение свода с бортовым элементом в виде жесткой заделки как более неблагоприятный вариант устройства опорного узла.

Торцевые диафрагмы жесткости выполнены в виде сплошной диафрагмы из газобетонных блоков (рис. 2, в). Для уменьшения размерности модели, конструкция самой диафрагмы не моделируется, а в местах сопряжения свода с диафрагмой запрещаются линейные перемещения узлов в плоскости диафрагмы (рис. 6, б).

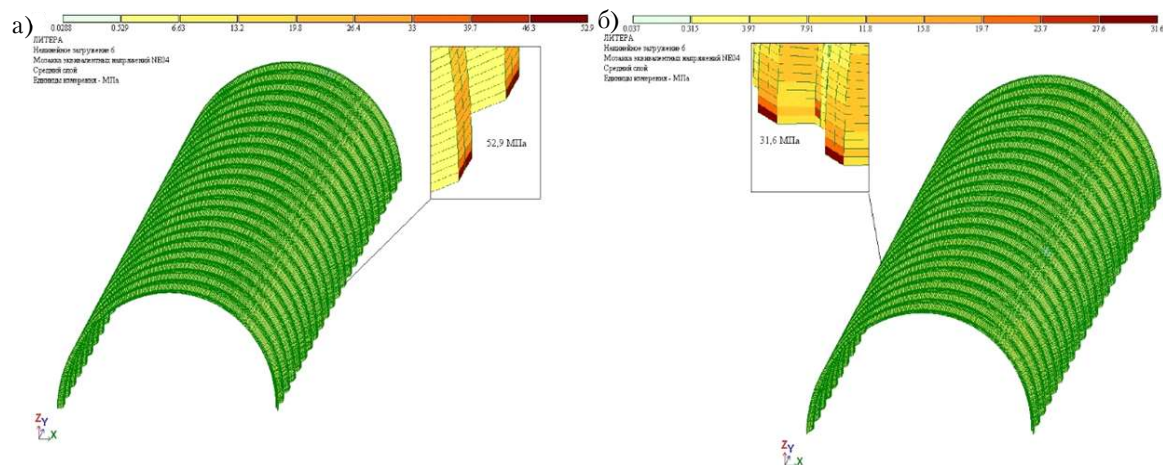
В результате численного исследования получены значения исследуемых параметров (рис. 7–8), на основании которых выполнен сравнительный анализ полученных значений главных, приведенных напряжений и перемещений, представленный в виде гистограмм на рис. 9.



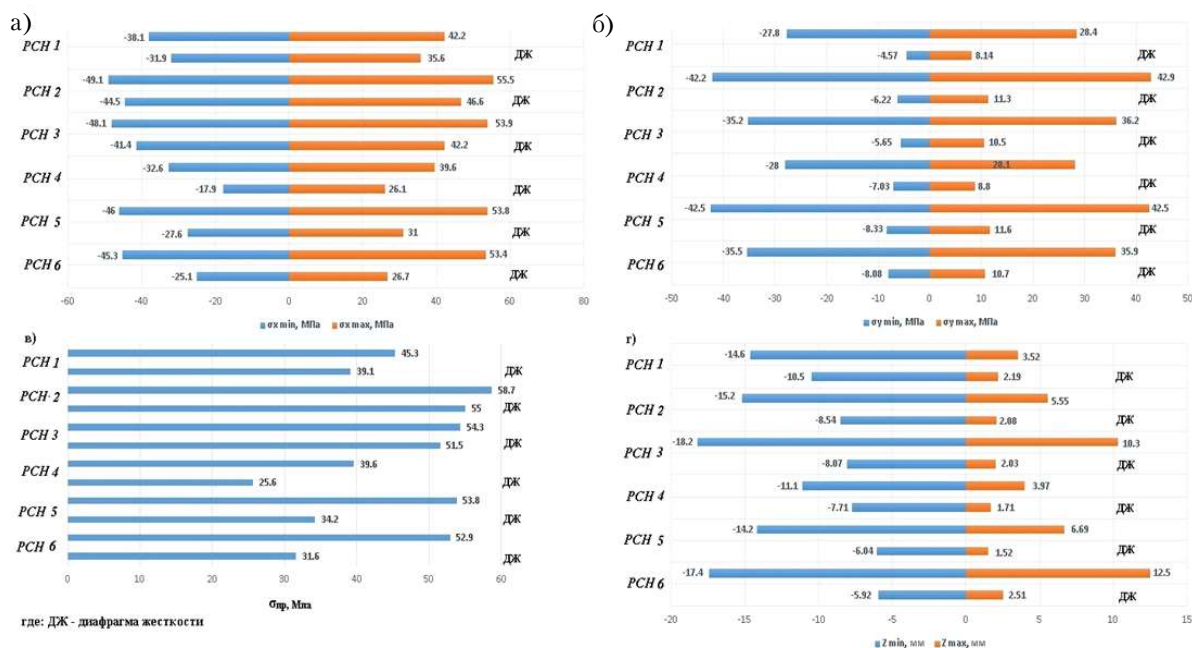
**Рисунок 6.** Конечно-элементные модели сводчатого покрытия: а) без торцевой диафрагмы жесткости; б) с торцевой диафрагмой жесткости.



**Рисунок 7.** Мозаика вертикальных перемещений при РСН 6: а) без торцевой диафрагмы жесткости; б) с торцевой диафрагмой жесткости.



**Рисунок 8.** Мозаика приведенных напряжений при РСН 6: а) без торцевой диафрагмы жесткости; б) с торцевой диафрагмой жесткости.



**Рисунок 9.** Сравнительный анализ полученных значений исследуемых параметров: а) кольцевые напряжения  $\sigma_x$ ; б) меридиональные напряжения  $\sigma_y$ ; в) приведенные напряжения  $\sigma_{пр}$ ; г) вертикальные перемещения.

Полученные данные в рамках рассматриваемой модели подтверждает влияние на НДС устройство торцевых диафрагм, и отмечается:

- уменьшение вертикальных перемещений на 47 %;
- уменьшение кольцевых напряжений на 30 %;
- уменьшение меридиональных напряжений на 81 %;
- уменьшение приведенных напряжений на 23 %;
- расчетное значение максимального прогиба от действующих нагрузок не превышает

предельно допустимого значения, а именно –  $17,4 < 47,37$  мм.

2. Влияния толщины арочного профиля, стрелы подъема арки на НДС бескаркасного сводчатого покрытия.

Рассмотрим зависимость напряжений и вертикальных перемещений бескаркасного сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутох профилей разной толщины (от 0,8 до 1,5 мм) при изменении стрелы подъема арки. Примеры результатов расчёта представлены на

рис. 10, 11 в виде мозаики приведенных напряжений и мозаики перемещений. Сравнительный анализ представлен на рис. 12 в виде гистограммы.

Установлено, что для сводчатых покрытий при толщине профиля от 0,8 до 1,5 мм при изменении стрелы подъема арки от  $f = 0,5 \cdot L$  до  $f = 0,3 \cdot L$  происходит:

- уменьшение вертикальных перемещений в среднем на 48–72 %;
- уменьшение кольцевых напряжений на 45–49 %;
- уменьшение меридиональных напряжений на 52–87 %;
- уменьшение приведенных напряжений в среднем на 36,4–38,4 %;
- расчетное значение максимального прогиба от действующих нагрузок не превышает предельно допустимого значения, а именно –  $25,8 < 47,37$  мм.

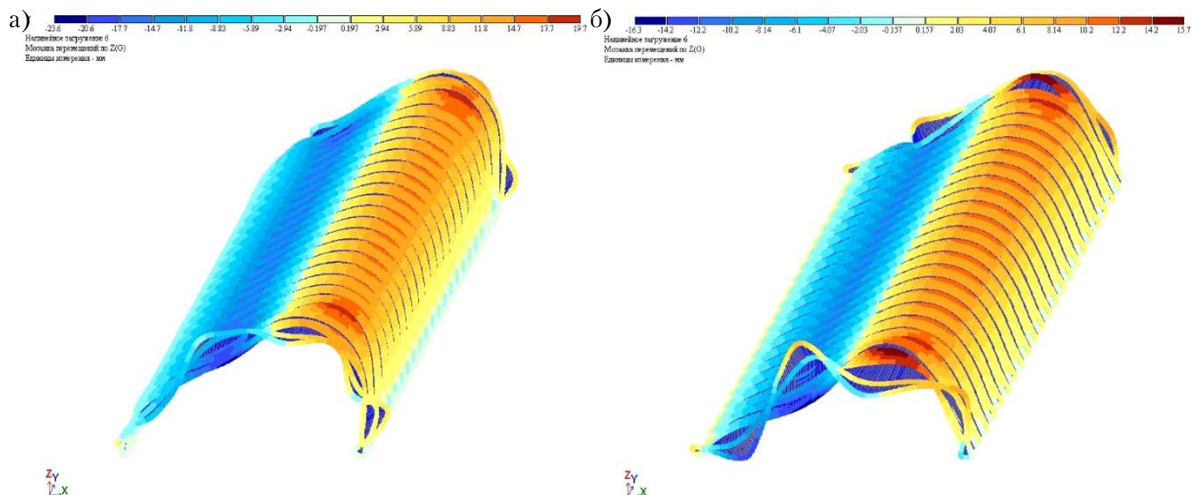
Анализируя представленные гистограммы на рис. 12 для сводчатых покрытий при изменении толщины от 1,5 до 0,8 мм, можно отметить следующее:

со стрелой подъема арки  $f = 0,3 \cdot L$  происходит:

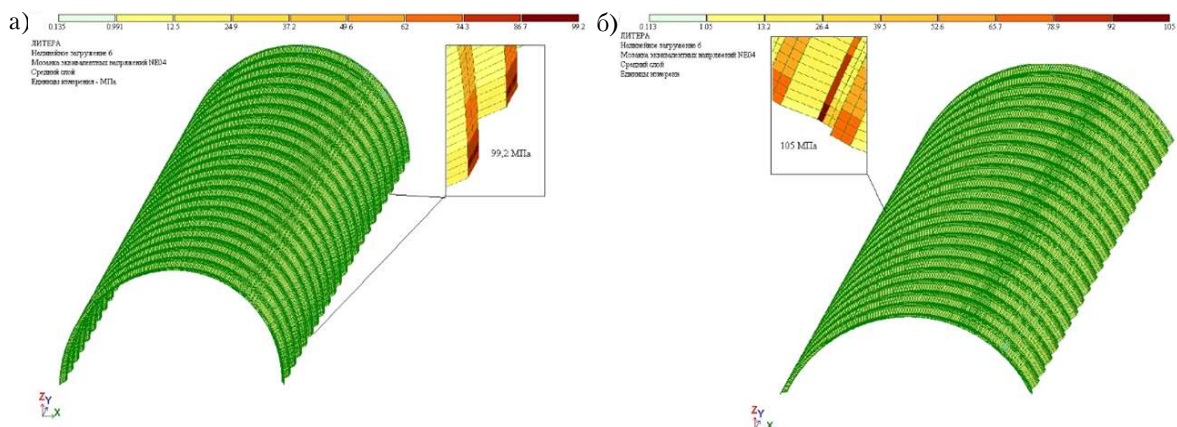
- увеличение вертикальных перемещений в среднем на 152,27 % в зависимости от расчетного сочетания нагрузок;
- увеличение кольцевых напряжений на 95 %;
- увеличение меридиональных напряжений на 126 %;
- увеличение приведенных напряжений в среднем на 88 %;
- расчетное значение максимального прогиба от действующих нагрузок не превышает предельно допустимого значения, а именно –  $16,3 < 47,37$  мм.

со стрелой подъема арки  $f = 0,5 \cdot L$  происходит:

- увеличение вертикальных перемещений в среднем на 35,33 %;



**Рисунок 10.** Мозаика вертикальных перемещений при РСН 6: а) стрела подъема арки  $f = 0,5 \cdot L$ ; б) стрела подъема арки  $f = 0,3 \cdot L$ .



**Рисунок 11.** Мозаика приведенных напряжений при РСН 6: а) стрела подъема арки  $f = 0,5 \cdot L$ ; б) стрела подъема арки  $f = 0,3 \cdot L$ .



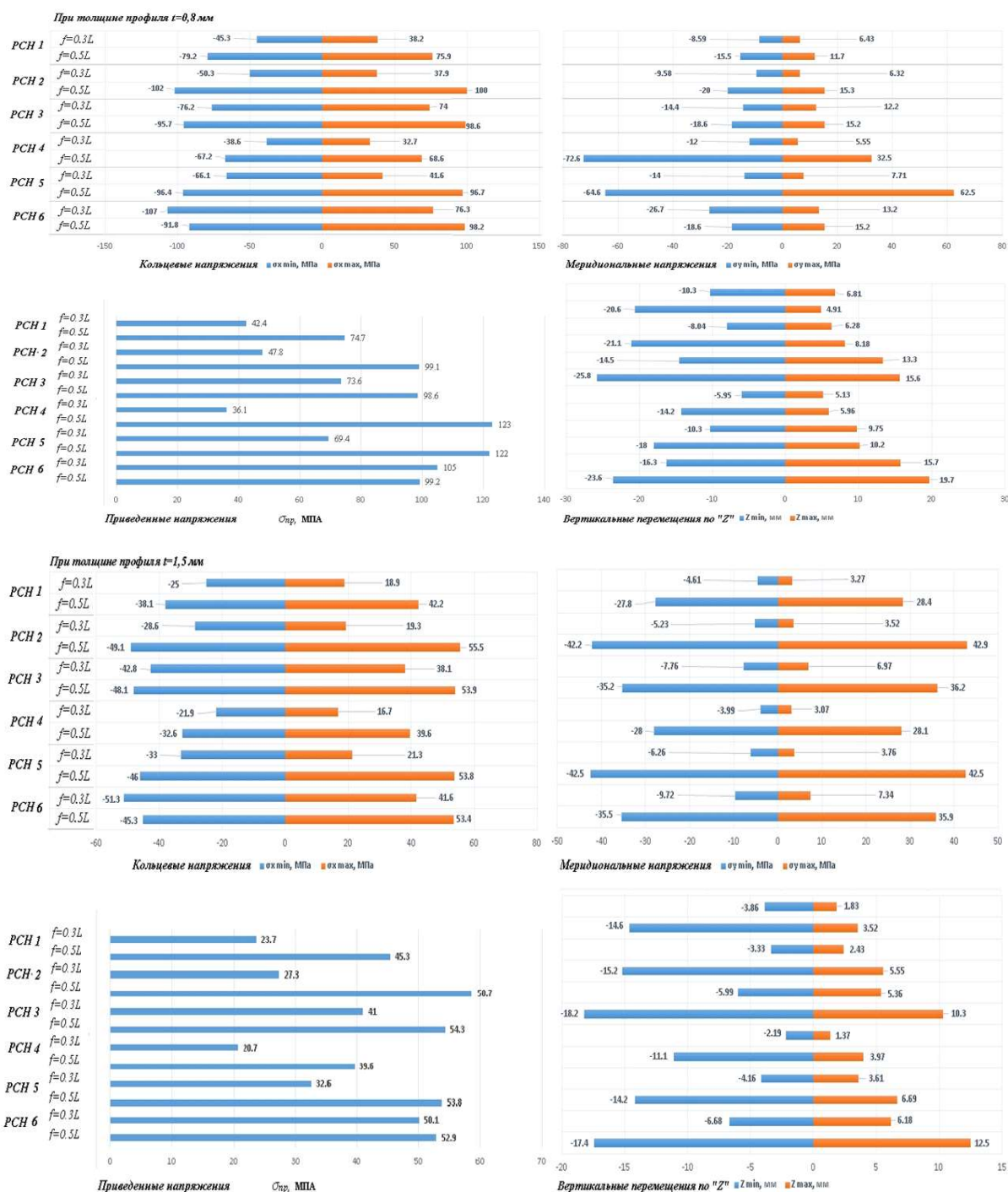


Рисунок 12. Сравнительный анализ полученных значений исследуемых параметров при толщине профиля 0,8 и 1,5 мм.

- увеличение сжимающих кольцевых напряжений 80–106 %;
- увеличение сжимающих меридиональных напряжений в среднем на 154 %;

- увеличение приведенных напряжений в среднем на 107 %;
- расчетное значение максимального прогиба от действующих нагрузок не превышает

предельно допустимого значения, а именно –  $25,8 < 47,37$  мм.

## Выводы

1. Пространственные модели сводчатого покрытия в программном комплексе ПК LIRA-SAPR 2015 позволяют определить кольцевые, меридиональные и приведенные напряжения на стадии проектирования покрытий пролетом 10 м с учетом изменения конструктивных особенностей.
2. Результаты исследования показали, что вариант устройство опорного узла оказывает влияние на изменение напряжений в зоне его расположения. При болтовом соединении профилей к уголкам отмечается увеличение кольцевых напряжений на 18 % и уменьшение меридиональных напряжений на 58 %. Приведенные напряжения уменьшаются на 3 %.
3. Устройство торцевых диафрагм позволяет уменьшить кольцевые напряжения в зоне

опорного узла на 30 %, меридиональные – на 81 % и приведенные на 23 %.

4. Приведенные напряжения имеют обратную зависимость к величине толщины профиля: при изменении толщины профиля от 0,8 мм до 1,5 мм напряжения уменьшаются в 1,8 раз.
5. Приведенные напряжения имеют прямую зависимость к величине стрелы подъема арки: при увеличении стрелы подъема арки напряжения возрастают почти в 2 раза.
6. Установлено, что значительное влияние на НДС покрытия в данном регионе оказывает снеговая нагрузка, прилагаемая к покрытию по сравнению с ветровой. Наиболее невыгодной схемой приложения снеговой нагрузки является неравномерно распределенная по своду и неравномерно распределенная на одной из половин пролета свода. Покрытия пролетами 10 метров рекомендуется возводить из профилей толщиной 0,8 мм.
7. Дальнейшие исследования направлены на исследование напряженно-деформированного состояния сводчатых покрытий пролетом до 36 м.

## Литература

1. Айрумян, Э. Л. Особенности расчета стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей / Э. Л. Айрумян. – Текст : непосредственный // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2008. – № 3. – С. 2–7.
2. Белый, Г. И. Пространственная работа и предельные состояния стержневых элементов металлических конструкций : специальность 05.23.01. «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискания ученой степени доктора технических наук / Белый Григорий Иванович; Ленинградский инженерно-строительный институт. – Ленинград, 1987. – 464 с. – Текст : непосредственный.
3. Енджиевский, Л. В. Численные и экспериментальные исследования рамы каркаса здания из тонколистовой оцинкованной стали / Л. В. Енджиевский, А. В. Тарасов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 10. – С. 52–54.
4. Усиление и расчет стальных конструкций из тонкостенных холодногнутох профилей с учетом податливости узловых соединений / Ю. С. Кунин, А. И. Колесов, И. А. Ямбаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2012. – № 11. – С. 74–81.

## References

1. Ayrumyan, E. L. Features of calculation of steel structures made of thin-walled bent profiles. – Text : direct. – In: *Installation and special works in construction*. – 2008. – № 3. – P. 2–7. (in Russian)
2. Bely, G. I. Spatial work and limit states of rod elements of metal structures: specialty 05.23.01. «Building structures, buildings and structures» : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Grigory Bely; Leningrad Civil Engineering Institute. – Leningrad, 1987. – 464 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Endzhievsky, L. V.; Tarasov, A. V. Numerical and experimental studies of the frame of a building made of thin-sheet galvanized steel. – Text : direct. – In: *Industrial and civil construction*. – 2012. – № 10. – P. 52–54. (in Russian)
4. Kunin, Yu. S.; Kolesov, A. I.; Yambaev, I. A. [et al.]. Strengthening and analysis of steel structures made of thin-walled cold-bent profiles with account for the yield of joint connections. – Text : direct. – In: *Bulletin of MGSU*. – 2012. – № 11. – P. 74–81. (in Russian)
5. Liplenko, M. A.; Ayrumyan, E. L. Features of the work of frameless arched coverings made of cold-formed steel profiles. – Text : direct. – In: *Industrial and civil construction*. – 2011. – № 6. – P. 42–44. (in Russian)

5. Липленко, М. А. Особенности работы бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутох профилей / М. А. Липленко, Э. Л. Айрумян. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 6. – С. 42–44.
6. Зверев, В. В. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния элементов покрытия бескаркасного складчатого здания типа «Эксергия» / В. В. Зверев, К. Е. Жидков, А. Ю. Салдаев. – Текст : непосредственный // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 2. – С. 9–15.
7. Yu, Wei-Wen. Cold-formed steel Design / Wei-Wen Yu, Roger A. LaBoube. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2010. – 489 p. – Текст : непосредственный.
8. Dusenberry, D. Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse / D. Dusenberry, G. Juneja. – Текст : непосредственный // Workshop on Prevention of Progressive Collapse. – 2002. – № 1. – P. 1–31.
9. AISI S100-12. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members : Approved in Canada by CSA Group : Endorsed in Mexico by CANACERO. – Washington : DC, 2012. – 242 p. – Текст : непосредственный.
10. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3 : Design of steel structures : Part 1–3. General rules : Supplementary rules for cold-formed members and sheeting = Еврокод 3 : Проектирование стальных конструкций : Часть 1–3. Общие правила : Дополнительные правила для холодногнутох элементов и профилированных листов : supersedes ENV 1993-1-3:1996 : this European Standard was approved by CEN on 16 January 2006. – Brussels : CEN, 2006. – 132 p. – Текст : непосредственный.
11. Жабинский, А. Н. Моделирование арочных покрытий из тонкостенных холодногнутох профилей / А. Н. Жабинский, А. Ф. Старовойтов. – Текст : непосредственный // Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. – 2012. – № 4. – С. 20–21.
12. Арменский, М. Ю. Опыт использования численных методов в исследованиях геометрических характеристик тонкостенных профилей / М. Ю. Арменский. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 6. – С. 23–26.
13. Кузнецов, И. Л. Причины обрушения бескаркасного арочного сооружения пролетом 30 м / И. Л. Кузнецов, А. В. Исаев, Л. Р. Гимранов. – Текст : непосредственный // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 4. – С. 166–170.
14. Yagodich, J. Y. Numerical evaluation of thin-shelled structural panels : Master of Science in Mechanical Engineering / Yagodich Matthew John ; University of Pittsburgh. – Pittsburgh, 2003. – 55 p. – Текст : непосредственный.
15. Zverev, V. V.; Zhidkov, K. Ye.; Saldaev, A. Yu. Experimental researches of stress strain behavior of elements of the cover of frameless fold type building «Exergia». – Текст : direct. – In: *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. – 2012. – № 2. – P. 9–15. (in Russian)
16. Yu, Wei-Wen; LaBoube, Roger A. Cold-formed steel Design. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2010. – 489 p. – Текст : direct.
17. Dusenberry, D.; Juneja, G. Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse. – Текст : direct. – In: *Workshop on Prevention of Progressive Collapse*. – 2002. – № 1. – P. 1–31.
18. AISI S100-12. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members : Approved in Canada by CSA Group : Endorsed in Mexico by CANACERO. – Washington : DC, 2012. – 242 p. – Текст : direct.
19. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3 : Design of steel structures : Part 1–3 : General rules : Supplementary rules for cold-formed members and sheeting : supersedes ENV 1993-1-3:1996 : this European Standard was approved by CEN on 16 January 2006. – Brussels : CEN, 2006. – 132 p. – Текст : direct.
20. Zhabinsky, A. N.; Starovoytov, A. F. Modeling of arched coverings from thin-walled cold-formed profiles. – Текст : direct. – In: *Technical regulation, standardization and certification in construction*. – 2012. – № 4. – P. 20–21. (in Russian)
21. Armensky, M. Yu. Experience of using numerical methods in studying the geometric characteristics of thin-walled profiles. – Текст : direct. – In: *Industrial and civil construction*. – 2009. – № 6. – P. 23–26. (in Russian)
22. Kuznetsov, I. L.; Isaev, A. V.; Gimranov, L. R. The causes of collapse of 30 m span frameless arch structure. – Текст : direct. – In: *News of KazGASU*. – 2011. – № 4. – P. 166–170. (in Russian)
23. Yagodich, J. Y. Numerical evaluation of thin-shelled structural panels : Master of Science in Mechanical Engineering / Yagodich Matthew John ; University of Pittsburgh. – Pittsburgh, 2003. – 55 p. – Текст : direct.
24. Xiliang, L.; Yong, Zh.; Fuhai, Zh. Experimental Study on Full-sized Models of Arched Corrugated Metal Roof. – Tianjin : Department of Civil Engineering Tianjin University, 2000. – P. 209–216. – Текст : direct.
25. SP 16.13330.2017. Steel structures : updated version of SNiP II-23-81\* (with Amendment, with Changes № 1, 2) : approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated February 27, 2017 № 126/pr : date of introduction 2017-08-28 / performers of JSC «Research Center «Construction», MGSU, SPbGASU. – Moscow : Ministry of Construction of Russia, 2017. – 151 p. – Текст : direct. (in Russian)
26. SP 20.13330.2016. Set of rules. Loads and actions : official publication : approved and put into effect by

15. Xiliang, L. Experimental Study on Full-sized Models of Arched Corrugated Metal Roof / L. Xiliang, Zh. Yong, Zh. Fuhai. – Tianjin : Department of Civil Engineering Tianjin University, 2000. – P. 209–216. – Текст : непосредственный.
16. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменениями № 1, 2) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : дата введения 2017-08-28 / исполнители АО «НИЦ «Строительство», МГСУ, СПбГАСУ. – Москва : Минстрой России, 2017. – 151 с. – Текст : непосредственный.
17. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : взамен СНиП 2.01.07-85\* : дата введения 2017-06-04 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 95 с. – Текст : непосредственный.

Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Minstroy of Russia) dated December 3, 2016 № 891/pr : replacing SNiP 2.01.07-85\* : date of introduction 2017-06-04 / prepared by the Department of Urban Planning and Architecture of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. – Moscow : Standardinform, 2018. – 95 p. – Text : direct. (in Russian)

**Чайка Мария Александровна** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование конструктивных решений утеплённых бескаркасных сводчатых покрытий из стальных тонкостенных холодногнутых профилей.

**Миронов Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций в том числе трубобетонных конструкций.

**Мазур Виктория Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству и капитальному ремонту ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**Оленич Елена Николаевна** – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: сравнение методик расчета высотных сооружений, расчет и проектирование зданий и сооружений, оценка состояния существующих конструкций, усиление конструкций.

**Chaika Maria** – Assistant, Technology and Management in Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: improvement of design solutions for insulated frameless vaulted coverings made of thin-walled cold-bent steel profiles.



**Mironov Andrey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Metal Constructions and Structures, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: fatigue strength of metal structures, stress concentration in truss nodes using wide-band I-beams and bent-welded closed profiles, stress-strain state of steel-reinforced concrete structures, including pipe-concrete structures.

**Mazur Victoria** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: improvement of structural and technological solutions for the installation and overhaul of enclosing structures of buildings and structures.

**Olenich Elena** – Assistant, of the Department of Metal Constructions and Structures, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: comparison of methods for calculating high-rise structures, calculation and design of buildings and structures, assessment of the condition of existing structures, reinforcement of structures.