

ДИСКУССИОННЫЕ СТАТЬИ | DISCUSSION PAPERS

Современная наука и инновации.
2024. № 2 (46). С. 221-235.
Modern Science and Innovations.
2024;2(46):221-235.

ДИСКУССИОННЫЕ СТАТЬИ /
DISCUSSION PAPERS

Научная статья / Original article

УДК 624.014.9

<https://doi.org/10.37493/2307-910X.2024.2.23>

Елена Аристотелевна Ефремова
[Elena A. Efremova]^{1*},

Арина Аликовна Сергеева
[Arina A. Sergeeva]²,

Наринэ Юрьевна Аветян
[Narine Yu. Avetyan]³,

Александр Суменович Марутян
[Alexander S. Marutyanyan]⁴

Модернизация стержневых конструкций
Шуховской серии

The modernization of core structures of the
shukhov series

^{1, 2, 3, 4}Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорский институт (филиал), г. Пятигорск,
Россия / North-Caucasus Federal University, Pyatigorsk Institute (branch), Pyatigorsk, Russia

*Автор, ответственный за переписку: Елена Аристотелевна Ефремова, lena.efremova.ari@gmail.com /
Corresponding author: Elena A. Efremova, lena.efremova.ari@gmail.com

Аннотация. Представлены творчество и архитектура инженера В.Г. Шухова, как непревзойденного мастера, творца строительного искусства в целом и стержневых конструкций в особенности. Отмечены не только гиперболоидные башни, как пик этого творчества, но и стропильные фермы треугольного очертания, 2-го класса рациональности по определению. Показана возможность модернизации гиперболоидных сооружений и их сборно-разборных модификаций при использовании равноустойчивых П-образных профилей с болтовыми креплениями в стыковых и узловых соединениях. Обозначено дальнейшее облегчение ферм 2-го класса за счет разрежения их решеток стержневыми элементами Y- и Ψ-подобных очертаний, успешно реализованных в практике строительства. Отмечен штрих инженера В.Г. Шухова в мостах Кисловодска. Подчеркнута значимость изучения его творчества в учебном процессе подготовки специалистов, а также при повышении квалификации и уровня мастерства, включая навыки решения изобретательских задач. Не менее поучительно знакомство с таким творчеством в рамках введения в специальность для студентов первых курсов средних и высших учебных заведений.

Ключевые слова: инженерное творчество, стержневые конструкции, гиперболоид инженера Шухова, фермы 2-го класса рациональности, П-образные профили, Y- и Ψ-подобные стержни, введение в специальность, решение изобретательских задач

Для цитирования: Ефремова Е. А., Сергеева А. А., Аветян Н. Ю., Марутян А. С. Модернизация стержневых конструкций Шуховской серии // Современная наука и инновации. 2024. № 2 (46). С. 221-235. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2024.2.23>

Abstract. The work and architectonics of engineer V.G. Shukhov, as an unsurpassed master, creator of the art of construction in general and core structures in particular, are presented. Not only hyperboloid towers are marked as the peak of this creativity, but also triangular trusses, of the 2nd class of rationality by definition. The possibility of upgrading hyperboloid structures and their collapsible modifications using equally stable U-shaped profiles with bolted fasteners in butt and nodal joints is shown. The further simplification of class 2 farms is indicated due to the rarefaction of their lattices with rod elements of Y- and Ψ-like outlines, successfully implemented in construction practice. The stroke of

engineer V.G. Shukhov in the bridges of Kislovodsk is marked. The importance of studying his work in the educational process of training specialists, as well as in improving qualifications and skill levels, including skills in solving inventive tasks, is emphasized. The importance of studying his work in the educational process of training specialists, as well as in improving qualifications and skill levels, including skills in solving inventive tasks, is emphasized. It is no less instructive to get acquainted with such creativity as part of the introduction to the specialty for first-year students of secondary and higher educational institutions.

Keywords: engineering creativity, core structures, engineer Shukhov's hyperboloid, farms of the 2nd class of rationality, U-shaped profiles, Y- and Ψ -like rods, introduction to the specialty, solving inventive tasks

For citation: Efremova EA, Sergeeva AA, Avetyan NYu, Marutyan AS. The modernization of core structures of the Shukhov Series. *Modern Science and Innovations*. 2024;2(46):221-235. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2024.2.23>

Введение. 28 августа 2023 г. исполнилось 170 лет со дня рождения знаменитого отечественного инженера Владимира Григорьевича Шухова, а 2 февраля 2024 г. – 85 лет со дня трагической кончины. Его творчество – это синтез инженерии, экономики, эстетики. Изобретенные им конструкции обладают минимальным весом, имеют низкую стоимость, совмещают в себе прочностные и эстетические функции. Поэтому вполне закономерно, что юбилейный сборник 2013 г. был издан под названием «Архитектоника инженера В.Г. Шухова» [1]. Архитектоника в переводе значит строительное искусство, а В.Г. Шухов – его непревзойденный мастер и творец. Большую часть своего творчества он посвятил изысканию новых технических решений стержневых конструкций, их плоских и пространственных модификаций. Шуховская серия стержневых конструкций уникальна. Проявилась она в результате отражение его авторского подхода, подчерка, стиля, вкуса, апробированных математически безупречными расчетно-теоретическими выкладками, опытом внедрения в практику строительства и архитектуры. Пиком творчества в буквальном смысле этого слова стало возведение башенных сооружений в виде ярко выраженных стержневых структур, скомпонованных в форме гиперboloидов вращения из прямолинейных стержней, взаимно переплетенных между собой (рис. 1, а) [2]. Эти довольно специфические, но привлекающие внимание на вид конструкции использовались в качестве дроболитейных и водонапорных башен, корабельных мачт, различных опор для электропередач, дымоходов, антенн, метеостанций, маяков и для других различных целей.

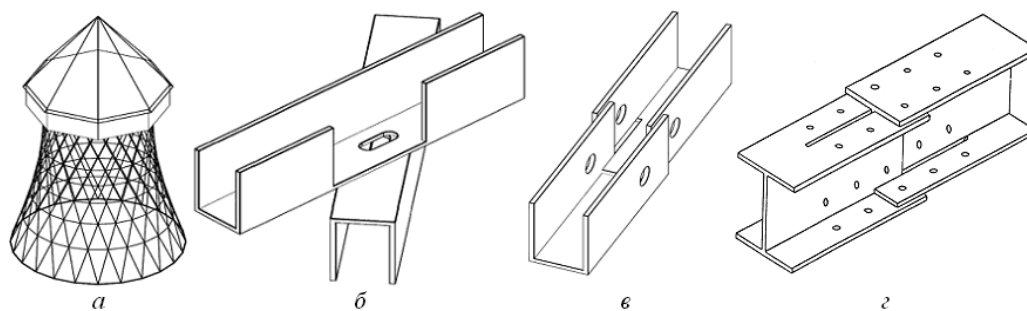


Рисунок 1 – Схемы гиперboloидной конструкции (а), болтового узла пересекающихся стержней (б) и болтового стыка стержня (в), а также его прототипа (г)

Figure 1 – Diagrams of the hyperboloid structure (a), the bolt assembly of the intersecting rods (b) and the bolt joint of the rod (c), as well as its prototype (d)

Материалы и методы исследований. Как у любой высотной конструкции, к которой приложена физическая нагрузка, изгибающий момент увеличивается к основанию и достигает своего максимума у основания. Поэтому башни имеют пирамидальную или, еще более рациональную, гиперboloидную форму [3, 4, 5]. За счет многократных пересечений прямолинейных стержней они обладают повышенными жесткостью, прочностью, экономичностью, ветро- и метеостойчивостью, простотой изготовления,

транспортирования, сборки-разборки на болтах (рисунок 1, б) и, конечно, выразительностью внешнего вид.

Гиперboloидные конструкции из П-образных профилей. Сетчатая решетка стержневых конструкций в виде гиперboloидных башен создана ради экономии материалов. Несмотря на такие привлекательные функции конструкции, ее можно оптимизировать при помощи прокатных, гнутых или трубчатых профилей, сплюснутых в узловых соединениях [6]. Гнутые профили можно применять без сплющивания. Так, в трехгранной башенной конструкции (рис. 2, а) пояса выполнены из незамкнутых трапецевидных гнутых элементов, которые имеют очертания П-образных профилей с косыми стенками (рис. 2, б) [7]. Жесткостные характеристики относительно центральных осей у таких профилей кратно разнятся между собой. Применительно к гиперboloидным конструкциям более предпочтительны профили с жесткостными характеристиками, равными относительно центральных осей. Таким требованиям вполне отвечают П-образные профили с вертикальными стенками и отношением ширины к высоте $1/1,366$ по средней линии расчетного сечения (рис. 2, в, г) [8, с. 252–264, 9].

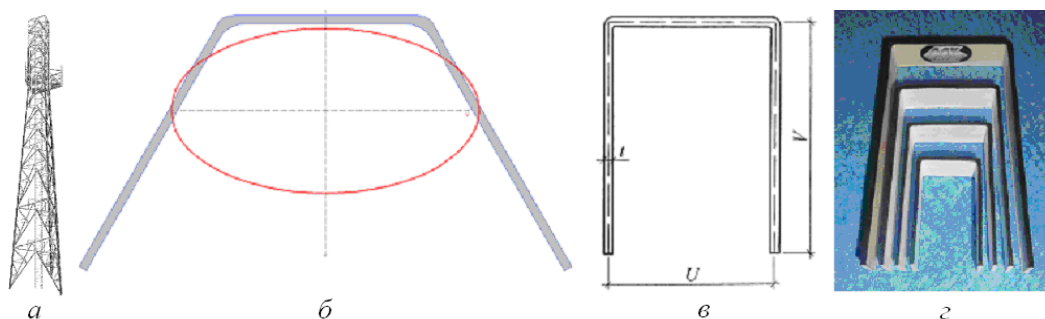


Рисунок 2 – Схемы трехгранной башенной конструкции (а), П-образных профилей со стенками косыми (б) и вертикальными (в), а также снимок среза разнокалиберных П-образных профилей (г)
 Figure 2 – Diagrams of a three-sided tower structure (a), U-shaped profiles with oblique (b) and vertical (c) walls, as well as a snapshot of a cross-section of different-caliber U-shaped profiles (d)

Когда высота собранной конструкции превышает отметку 11,5...12 метров, составные ее стержни из П-образных профилей до переплетения в сетчатую структуру гиперboloида необходимо сращивать. Для этого вполне подойдет узел стыкового соединения с использованием продольных прорезей (рис. 1, в, г) [8, с. 102–103, 10]. При этом круглые отверстия под болтовые крепления из стыковых узлов в узлах пересекающихся стержневых элементов более предпочтительно заменить овальными. Сборно-разборные модификации гиперboloидных конструкций не требуют отчуждения земельных участков под объекты недвижимости, что открывает перспективу их применения в агропромышленном комплексе, например, для ветрогенераторов фермерских хозяйств, занятых пчеловодством или разведением тонкорунных овец.

Шуховская серия стропильных ферм. Она включает плоские ферменные системы, которые относятся к числу наиболее распространенных строительных конструкций различных зданий и сооружений. Поэтому вполне закономерно, что в очерках по истории строительных металлоконструкций они занимают вторую позицию, уступая лидерство только балкам двутаврового профиля [11]. Модернизировать плоские фермы из серии инженера В.Г. Шухова можно при помощи стоек, имеющих Y-образные и Ψ-образные очертания (рис. 3, а) [8, с. 9–22, 12, 13].

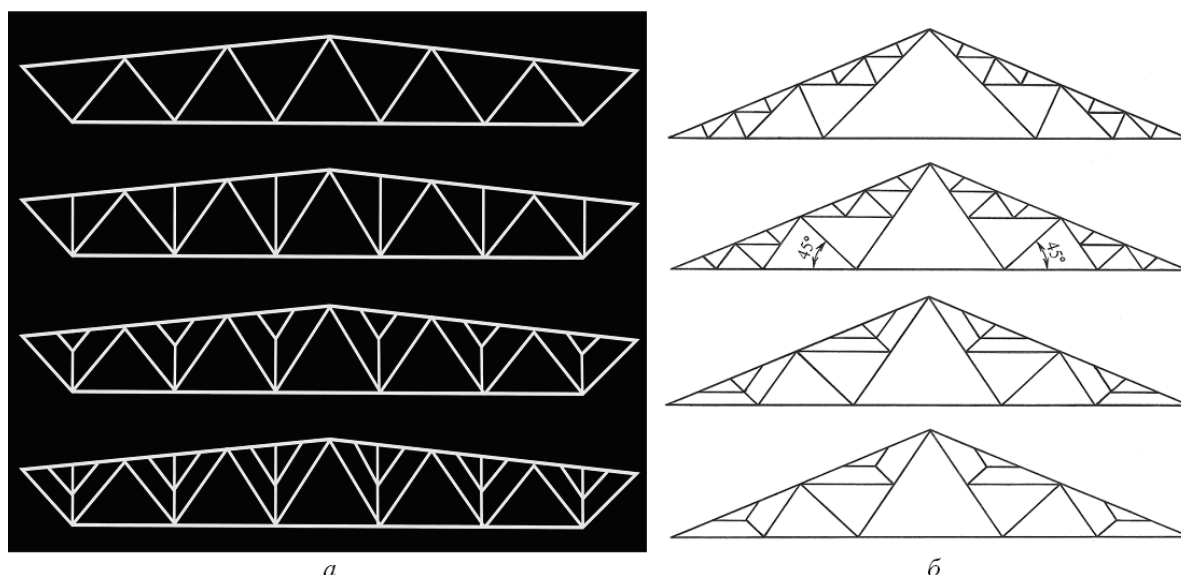


Рисунок 3 – Схемы плоских ферм с I-, Y-, Ψ-образными стойками в серии типа «Молодечно» (а) [14, 15, 16] и в серии инженера В.Г. Шухова (б) [17]

Figure 3 – Diagrams of flat trusses with I-, Y-, Ψ-shaped racks in the Molodechno type series (a) [14, 15, 16] and in the series of engineer V.G. Shukhov (b) [17]

Результаты исследований и их обсуждение. Прорабатывая треугольные фермы покрытия (стропильные фермы), В.Г. Шухов выявил 2-ой класс рациональности фермы Полонсо и минимизировал ее массу (вес) за счет расположения ног решетки под углом 45 градусов относительно горизонтали, совпадающей с нижним поясом (рис. 3, б) [18, 19]. Если в решетке такой фермы удалить самые короткие полустойки в количестве 8 штук, а самые короткие полураскосы соединить с серединами оставшихся стоек, то эти стойки приобретут Ψ-образные очертания. Сократится при этом и количество узлов. Использование стоек Y-образного очертания сопровождается еще большим разрежением решетки ферменной конструкции.

Y- и Ψ-образные стойки в фермах инженера В.Г. Шухова. Количественную оценку применения Y- и Ψ-образных стоек в решетках треугольных ферм 2-го класса рациональности более наглядно можно представить в табличной форме.

Таблица 1 – Расчет количества стержней решеток и их узловых соединений
Table 1 – Calculation of the number of lattice rods and their nodal connections

Схемы ферм	Наименование стержней	Кол-во, шт.	Наименование узлов	Кол-во, шт.
	Раскосы	6	Опорные	2
	Стойки	2	Верхние	15
	Полураскосы	8	Нижние	6
	Полустойки	12	Промежуточные	8
	Итого	28 100%	Итого	31 100%
	Раскосы	6	Опорные	2
	Стойки	2	Верхние	15
	Полураскосы	8	Нижние	4
	Полустойки	4	Промежуточные	6
	Итого	20 71,4%	Итого	27 87,1%
	Раскосы	6	Опорные	2
	Стойки	2	Верхние	10
	Полураскосы	8	Нижние	4
	Полустойки	4	Промежуточные	6
	Итого	20 71,4%	Итого	22 71,0%

Как видно из табл. 1, количество стержней решеток сократилось на 28,6%, а количество их узловых соединений – на 12,9...29%, что способствует соответствующему дополнительному уменьшению массы (веса) ферменной конструкции 2-го класса рациональности и, как следствие, снижению расхода конструкционного материала. При этом модернизированные таким образом ферменные конструкции менее трудоемки и затратны на изготовление, сборку, транспортирование, монтаж, эксплуатацию, демонтаж.

У- и Ψ-образные стойки в фермах с параллельными поясами. Для обобщения опыта проработки таких стоек и его применения в фермах типа «Молодечно» выполнен сравнительный анализ с использованием в качестве базового объекта стержневой конструкции (фермы) беспрогонного покрытия из замкнутых гнутосварных профилей (профильных труб) прямоугольного сечения по ГОСТ Р 54157-2010, где решетка принималась: треугольной; треугольной с дополнительными стойками (I-образными стойками); треугольной с дополнительными стойками и полураскосами (Ψ-образными стойками); треугольной с дополнительными полустойками и полураскосами (У-образными стойками).

При этом общие для всех вариантов исходные данные составили:

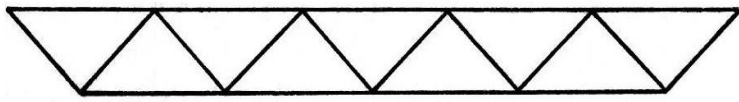
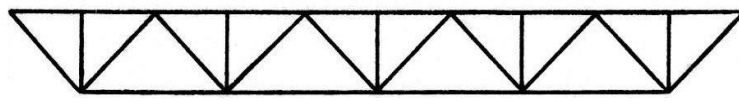
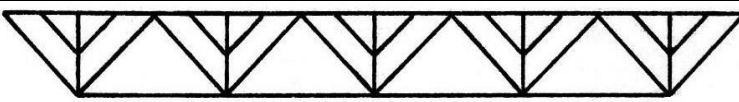
1. пролет фермы $l=20$ м, высота $h=2$ м ($h/l=1/10$), угол наклона раскосов $\alpha=45^\circ$;
2. расчетная нагрузка $q=1280$ кгс/м;
3. расчетное сопротивление конструкционного материала (стали) $R_y=2100$ кгс/см²;
4. узловые соединения стержней решетки и поясов выполнены бесфасоночными, с учетом недопущения продавливания или выдергивания ($0,6 \leq d/D$, где d – ширина сечения стержня решетки, D – ширина сечения пояса);
5. минимальная толщина стенок стержней решетки и поясов $t_{\min}=3$ мм.

Как видно из табл. 2, применение в треугольной решетке традиционных дополнительных стоек, имеющих I-образное очертание, позволило уменьшить расход конструкционного материала (стали) на 7,44%. Замена I-образных стоек стойками Ψ-образными и У-образными приводит к дальнейшему снижению материалоемкости на 9,96% и 14,02%. Обратной стороной такой инновации является увеличение количества стержневых элементов решеток и их узловых соединений, вызывающих определенный рост трудоемкости и затрат. Минимизировать эти издержки можно за счет серийного изготовления стержневых конструкций на специализированных заводах. Опытно-промышленное производство таких конструкций не только успешно реализовано на объектах Краснодарского и Ставропольского краев (рис. 4), но и обладает весомым заделом для более широкого внедрения в практику строительства. Успех реализации во многом подготовлен результатами вариантного и оптимизационного проектирования, включая курсовые и расчетно-графические работы, а также дипломное проектирование.



Рисунок 4 – Снимки ферм покрытия с параллельными поясами и Ψ-образными стойками решеток диагонального направления (а) и ортогонального направления (б)

Figure 4 – Images of coating trusses with parallel belts and Ψ -shaped lattice posts of diagonal direction (a) and orthogonal direction (b)Таблица 2 – Расчет масс стержневых элементов конструкций
Table 2 – Calculation of the masses of core structural elements

Table 2 – Calculation of the masses of core structural elements					
Сечение, мм (маркировка)	Длина, мм	Кол-во, шт.	Масса, кг		
			1 м	1 шт.	всех
					
□220×100×5 (ВП)	20000	1	23,83	476,6	476,6
□100×4 (НП)	16000	1	11,73	187,7	187,7
Итого пояса					664,3
□90×3,5 (Р)	2828	2	9,26	26,2	52,4
□80×3 (Р)	2828	6	7,07	20,0	120,0
□60×3 (Р)	2828	2	5,19	14,7	29,4
Итого решетка					201,8
Всего (100%)					866,1
					
□200×100×4 (ВП)	20000	1	18,01	360,2	360,2
□100×4 (НП)	16000	1	11,73	187,7	187,7
Итого пояса					547,9
□90×3,5 (Р)	2828	2	9,26	26,2	52,4
□80×3 (Р)	2828	6	7,07	20,0	120,0
□60×3 (Р)	2828	2	5,19	14,7	29,4
□60×3 (С)	2000	5	5,19	10,4	52,0
Итого решетка					253,8
Всего (92,56%)					801,7
					
□140×100×4 (ВП)*	20000	1	14,25	285,0	285,0
□100×4 (НП)	16000	1	11,73	187,7	187,7
Итого пояса					472,7
□90×3,5 (Р)	2828	2	9,26	26,2	52,4
□80×3 (Р)	2828	6	7,07	20,0	120,0
□60×3 (Р)	2828	2	5,19	14,7	29,4
□60×3 (С)	2000	5	5,19	10,4	52,0
□30×60×3 (ПР)	1414	10	3,77	5,33	53,3
Итого решетка					307,1
Всего (90,04%)					779,8
*0,919 – коэффициент использования элемента					

Сечение, мм (маркировка)	Длина, мм	Кол-во, шт.	Масса, кг		
			1 м	1 шт.	всех
					
□140×100×4 (ВП)*	20000	1	14,25	285,0	285,0
□100×4 (НП)	16000	1	11,73	187,7	187,7
Итого пояса					472,7
□90×3,5 (Р)	2828	2	9,26	26,2	52,4
□80×3 (Р)	2828	6	7,07	20,0	120,0
□60×3 (Р)	2828	2	5,19	14,7	29,4
□60×3 (ПС)	1333	5	5,19	6,92	34,6
□30×60×3 (ПР)	943	10	3,77	3,56	35,6
Итого решетка					272,0
Всего (85,98%)					744,7
*0,975 – коэффициент использования элемента					

У- и Ψ-образные стойки в фермах «Молодечно». Такие фермы являются типовыми, изготавливают их серийно на специализированных заводах для различных зданий и сооружений с пролетами (межопорными расстояниями) 18, 24, 30 метров [14, 15, 16]. По их образу и подобию спроектировано множество ферменных модификаций.

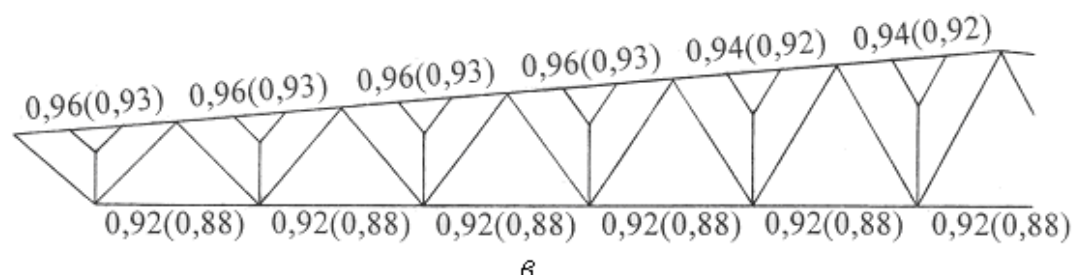
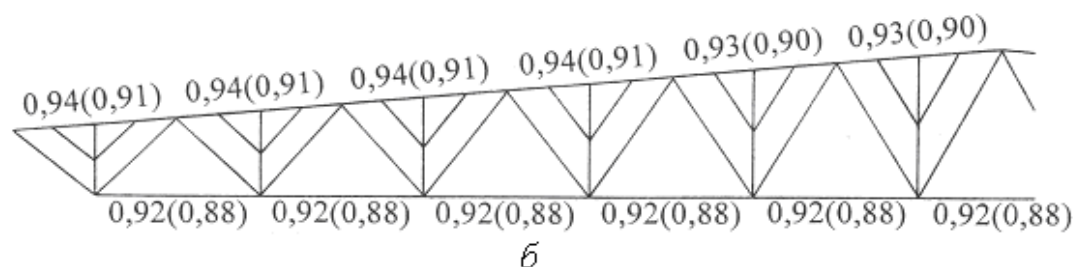
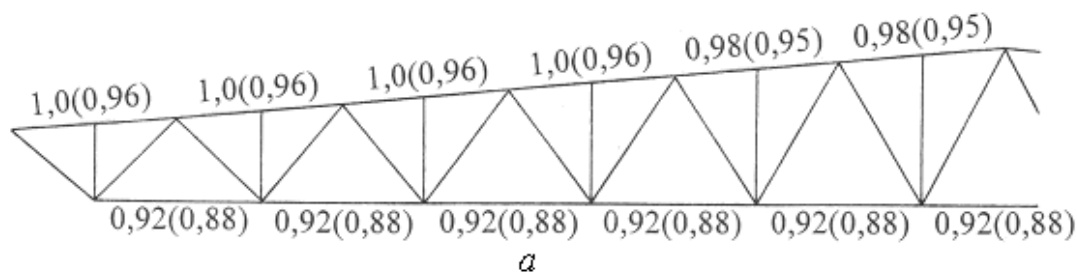


Рисунок 5 – Схемы 36-метровых ферм «Молодечно» с треугольными решетками и поясами из квадратных труб сечением $140 \times 140 \times 8$ мм ($140 \times 140 \times 5$ мм) со стойками: I-образными (а), Ψ-образными (б), Y-образными (в)

Figure 5 – Diagrams of 36-meter Molodechno farms with triangular grids and belts of square pipes with a cross section of $140 \times 140 \times 8$ mm ($140 \times 140 \times 5$ mm) with racks: I-shaped (a), Ψ-shaped (b), Y-shaped (c)

В частности, для верхних и нижних поясов 36-метровых ферм приняты квадратные трубы сечениями $140 \times 140 \times 8$ мм под нагрузку 2,1 тс/м и $140 \times 140 \times 5$ мм под нагрузку 1,3 тс/м [20]. Полученные результаты расчетных выкладок показали, что сечение $140 \times 140 \times 8$ мм ($140 \times 140 \times 5$ мм) в верхнем поясе имеет коэффициент использования элементов 0,98...1,0 (0,95...0,96), а в нижнем поясе – 0,92 (0,88) (рис. 5, а).

Применение в треугольной решетке дополнительных стоек (I-образных стоек) позволило унифицировать сечения верхнего и нижнего поясов. Однако нижний пояс оказался менее нагруженным в сравнении с верхним поясом, который на приопорных участках ферменной конструкции остался практически с нулевым запасом несущей способности. Определенной разгрузкой верхнего пояса и соответствующим увеличением запаса несущей способности сопровождается замена в треугольной решетке обычных стоек с I-образными очертаниями на стойки Ψ-образные (рис. 5, б) или Y-образные (рис. 5, в) [8, с. 9–22]. Здесь положительный эффект от унификации верхних (сжатых) и нижних (растянутых) поясов и, как следствие, снижения расхода конструкционного материала оказался более весомым, чем негатив от увеличения количества стержней и их узловых соединений. Кроме того, дополнительные узлы верхних поясов позволяют весьма рационально опереть на них кровельные прогоны, что и было реализовано на строительстве одного из промышленных объектов в Ставропольском крае (рис. 6).



Рисунок 6 – Снимки монтажа каркаса промышленного здания с 10-тонными подвесными кранами в г. Лермонтов из перекрестных стальных ферм типа «Пятигорск» [21] с Ψ-образными стойками в треугольных решетках: виды боковой (а) и фронтальный (б)

Figure 6 – Pictures of the installation of the frame of an industrial building with 10-ton suspended cranes in Lermontov from cross steel trusses of the Pyatigorsk type [21] with Ψ-shaped racks in triangular grids: side (a) and front (b) types

Оптимизация опорной сети под прогоны. Практический интерес представляют прогонные покрытия, где соединительные узлы верхних поясов с Y- и Ψ-образными стойками позволяют опереть на них определенное количество дополнительных прогонов кровельного ограждения. По мере увеличения общего количества прогонов и сгущения их сети происходит весьма заметное облегчение, что может иметь определяющее значение для несущих конструкций, рассчитанных на особые нагрузки и воздействия (сейсмические, техногенные, взрывные, ударные). Такое облегчение сопровождается уменьшением

расхода конструкционного материала, что количественно можно оценить по принципу соответствия минимальной массы балки минимальной площади эпюры моментов (рис. 7) [22].

Если за «систему отсчета» принять серийные фермы типа «Молодечно» [14, 15], то эффективность оптимизации опорной сети под прогоны может проявиться в уменьшении массы (веса) прогонов:

- при пролете $l = 18$ м – на 18,8...23,1%;
- при пролете $l = 24$ м – на 15,0...17,6%;
- при пролете $l = 30$ м – на 12,5...14,3%.

Многодельность из-за увеличения количества прогонов и стержневых элементов решеток можно существенно минимизировать при их серийном изготовлении.

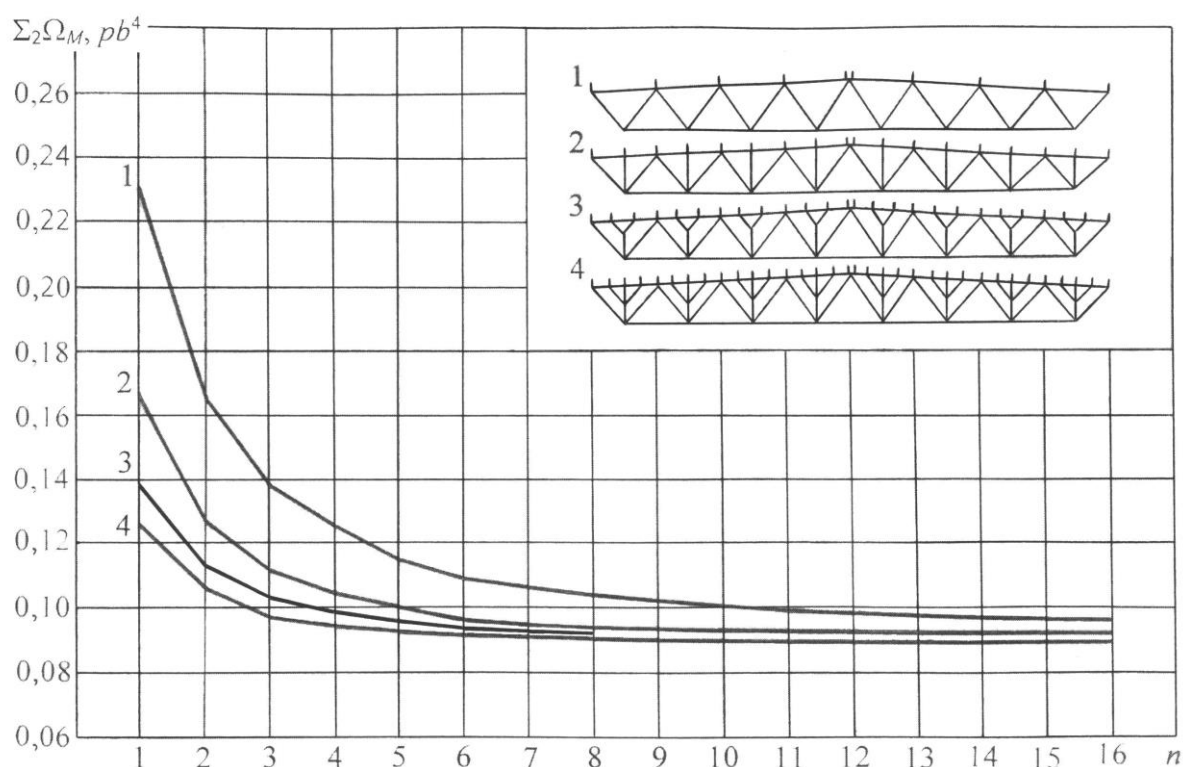


Рисунок 7 – Графики зависимостей сумм площадей эпюр моментов в прогонах 2-скатных кровель от количества панелей верхних поясов стропильных ферм

Figure 7 – Graphs of the dependence of the sum of the areas of the moment plots in the runs of 2-pitched roofs on the number of panels of the upper belts of rafter trusses

У- и Ψ-образные стойки (подвески) в перекрестных решетках. Компоновка таких решеток состоит из двух систем раскосов, непосредственные крепления которых между собой в узлах взаимных пересечений образуют ряд или ряды промежуточных узлов, дополнительных к соединительным узлам верхних и нижних поясов (рис. 8).



Рисунок 8 – Снимки стержневых конструкций с перекрестными решетками Эйфелевой башни, 1889 г. (а), железнодорожного моста в Кисловодске, 1894 г. (б), Шуховской башни на Шаболовке, 1920 г. (в)
 Figure 8 – Photographs of rod structures with cross gratings of the Eiffel Tower, 1889 (a), the railway bridge in Kislovodsk, 1894 (b), the Shukhov Tower on Shabolovka, 1920 (c)

В случае необходимости промежуточные узлы перекрестных решеток можно использовать в качестве опор для Y- и Ψ-образных полустоек при сжатии или для таких же по очертаниям полуподвесок при растяжении (рис. 9) [8, с. 56–65].

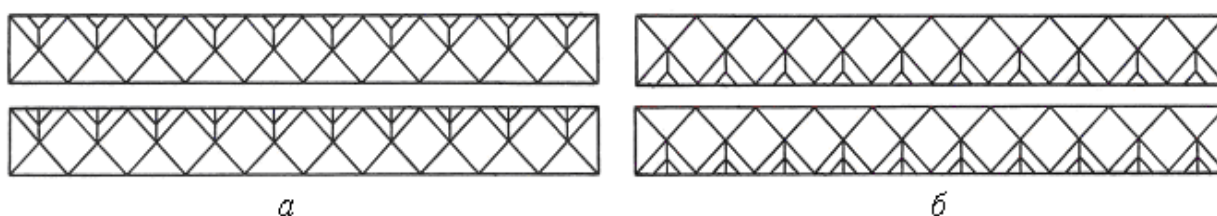


Рисунок 9 – Схемы перекрестных решеток ферм с грузовыми верхними поясами и Y-, Ψ-образными полустойками (а), а также с грузовыми нижними поясами и Y-, Ψ-образными полуподвесками (б)
 Figure 9 – Diagrams of cross grids of farms with cargo upper belts and Y-, Ψ-shaped semi-pillars (a), as well as with cargo lower belts and Y-, Ψ-shaped half-suspensions (b)

Шуховский штрих в мостах Кисловодска. При создании ансамбля Курзала (ныне – Госфилармония на Кавказских Минеральных Водах) было решено устроить небольшой детский парк с развлечениями на северной возвышенности, которая отделялась от основного здания проезжей дорогой (ныне – ул. Вокзальная). Чтобы соединить парк с Курзалом, следовало построить над дорогой узкий и протяженный пешеходный мостик. Видимо, за свою длину и пугающую высоту этот изящный северный виадук, по которому ходили дети в свой парк, получил романтическое название «Мостик вздохов» (рис. 10, а, б, в) [23].

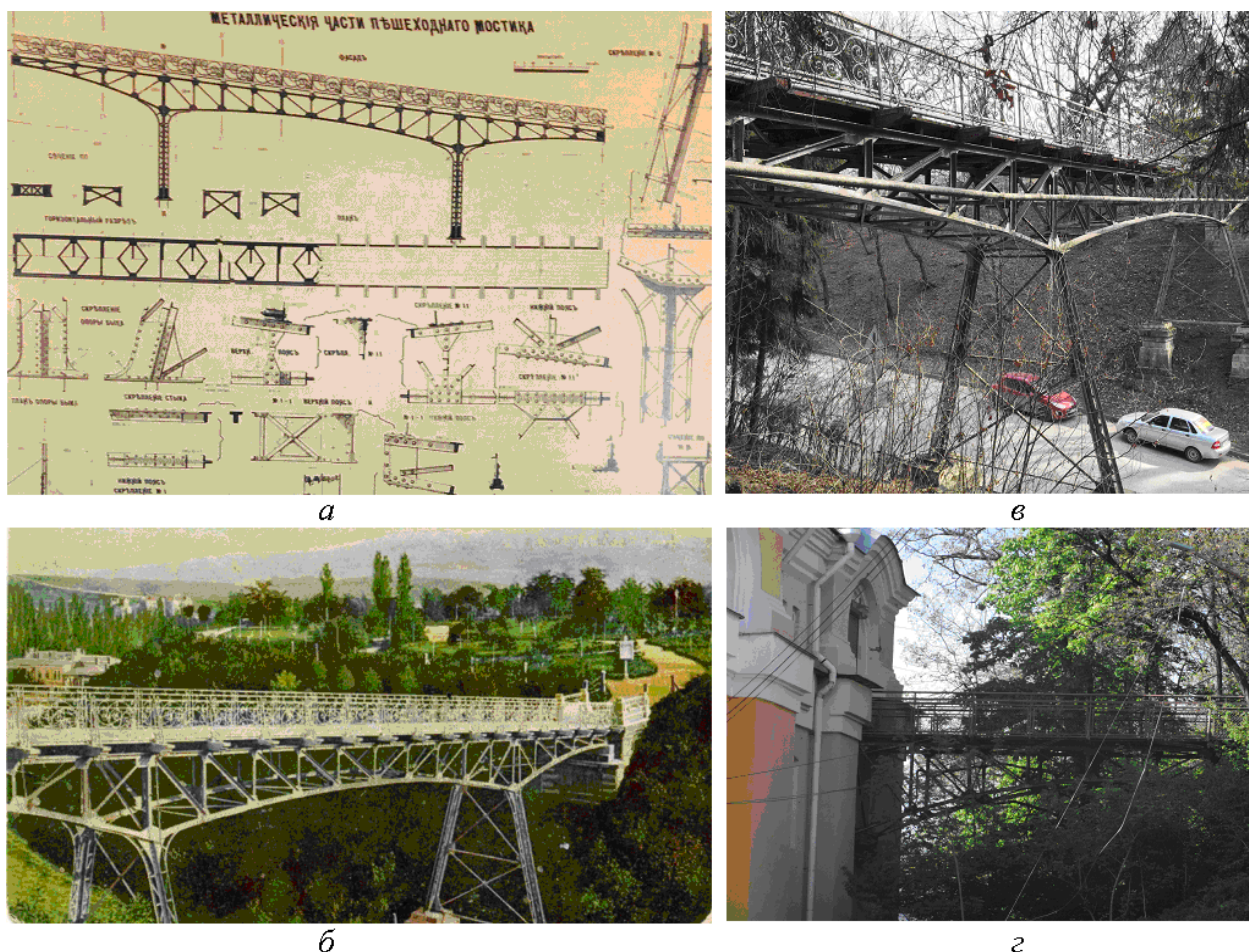


Рисунок 10 – Фрагмент рабочих чертежей моста в Кисловодске, 1896 г. (а), его снимки в конце XIX века (б) и в начале XXI века (в), а также снимок консольного моста (г)
 Figure 10 – A fragment of the working drawings of the bridge in Kislovodsk, 1896 (a), its pictures in the late 19th century (b) and early 21st century (c), as well as a picture of the cantilever bridge (d)

Его клепаные металлические конструкции изготовили на заводе фирмы «А.В. Бари и Ко», главным инженером которой был В.Г. Шухов. Вполне вероятно, что он участвовал в проектировании северного мостика Курзала. Большое сходство с северным имеет и южный пешеходный мостик. Самый малозаметный мостик отличается консольной компоновкой и соединяет площадку Курзала с верхним этажом «Гранд-отеля» (ныне – санаторий «Нарзан») (рис. 10, г). За истекшее время клепаные конструкции мостиков обновлены их сварными копиями, в очертаниях которых можно заметить штрих знаменитого отечественного инженера.

Заключение. Прошедший юбилей инженера В.Г. Шухова – это замечательный повод еще раз обратиться к его уникальному творчеству, наследию. Их, безусловно, можно и нужно не просто изучать, но рассматривать как своего рода учебное пособие, хрестоматию решения технических задач с безупречными математическими выкладками и прорывными изобретениями, продолжающими открывать все новые перспективы их дальнейшего совершенствования. Иллюстрируют такой подход приведенные примеры модернизации серии стержневых конструкций, начиная с ее пика – гиперboloидной башни. Поэтому в завершение представляется целесообразным сформулировать ряд основных выводов и обобщений.

1. Компактные сборно-разборные модификации гиперboloидных конструкций из равноустойчивых П-образных профилей с болтовыми креплениями в узловых и стыковых соединениях могут оказаться весьма конкурентоспособными и востребованными в

городском строительстве, коммунальном хозяйстве, транспорте и связи, агропромышленном комплексе и других объектах.

2. Треугольные фермы 2-го класса рациональности по терминологии инженера В.Г. Шухова можно дополнительно облегчить за счет разрежения их решеток при использовании Y-образных и Ψ-образных стержневых элементов: стоек при сжатии и подвесок при растяжении.

3. Y-образные и Ψ-образные стержневые элементы представляют собой достаточно эффективный и универсальный инструментарий для обновления, модернизации ферменных конструкций, результатами чего уже стали:

- унификация верхних и нижних поясов стандартизированных ферм типа «Молодечно»;
- оптимизация опорной сети под прогоны кровельного ограждения;
- усиление поясов в конструкциях с перекрестными решетками, характерными для таких сооружений как Эйфелева башня и первый железнодорожный мост в Кисловодске.

4. Документальное подтверждение участия инженера В.Г. Шухова в проектировании пешеходных мостиков Курзала в Кисловодске позволит удлинить список его наследия, пополнить историю развития науки и техники, обогатить краеведение.

5. Весьма и весьма значимо, перспективно изучение технического творчества знаменитого отечественного инженера в учебном процессе подготовки специалистов особенно при повышении квалификации и уровня мастерства, включая навыки решения изобретательских задач. Не менее увлекательно и поучительно знакомство с таким творчеством в рамках введения в специальность для студентов первых курсов средних и высших учебных заведений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектоника инженера В.Г. Шухова. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова (13-14 ноября 2013 г.). М.: МАРХИ, 2013. 302 с.
2. Шухов В. Г. Заявка на привилегию «Ажурная башня». 11 января 1896 г. Привилегия № 1895 выдана 12 марта 1899 г.
3. Куцев И. Е., Романченко Д. А. Влияние исторического опыта на разработку четырехъярусных конструкций в виде гиперболоидов вращения // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2023. № 4. С. 67–71.
4. Куцев И. Е., Романченко Д. А. Моделирование пятиярусных конструкций в виде гиперболоидов вращения и проведения лабораторных испытаний по изучению изменений нагрузок на узловые крепления // Вестник ЮУрГУ. 2024. № 1. С. 14–19.
5. Романченко Д. А. Изучение деформаций в узловых соединениях полимерных сетчатых оболочек гиперболоидов вращения // Строительная механика и расчет сооружений. 2024. № 1. С. 70–77.
6. Кирющенко В. Н., Сикорская В. В., Чикнизов А. Ю., Назарова Е. В., Ефремова Е. А., Аветян Н. Ю., Марутян А. С. Оптимизация решеток из трубчатых профилей // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйвер социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Материалы XIII международной научно-практической конференции. Томск, ТГАСУ. 2023. С. 282–286.
7. Самохвалов И. А. Расчет напряженно-деформированного состояния металлического башенного сооружения, предназначенного для размещения оборудования сотовой связи, при наличии коррозионных поражений отдельных элементов и соединений его опоры // Научный журнал строительства и архитектуры. 2024. № 1. С. 88–97.
8. Марутян А. С. Оптимизация ферменных конструкций зданий и сооружений. Пятигорск: Издательство ПИ СКФУ, 2022. 276 с.

9. Марутян А. С. Конструкция с решеткой из П-образного профиля // Патент № 2099448. 24.03.2022.
10. Марутян А. С. Стыковое соединение растянутого пояса металлической фермы // Авторское свидетельство № 1723281. 30.03.1992.
11. Перельмутер А. В. Очерки по истории металлических конструкций: Научно-популярное издание. М: Издательство АСВ, 2015. С. 81–86.
12. Марутян А. С. Треугольная решетка стержневых конструкций с дополнительными полустойками и полураскосами (У-образными стойками) // Патент № 2618810. 11.05.2017.
13. Марутян А. С. Треугольная решетка стержневых конструкций с дополнительными стойками и полураскосами // Патент № 2573889. 27.01.2016.
14. Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно»: типовой проект: серия 1.460.3-14 / разраб. ГПИ Ленпроектстальконструкция. Госстрой СССР. 1980. 135 с.: чертежи КМ.
15. Стальные конструкции покрытий производственных зданий из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения пролетом 18, 24 и 30 м с уклоном кровли 10%: типовой проект: серия 1.460.3-23.98. Выпуск I / разраб. ОАО ПИ Ленпроектстальконструкция. Госстрой РФ. 2000. 78 с.: чертежи КМ.
16. ГОСТ 27579-88. Фермы стальные стропильные из гнутосварных профилей прямоугольного сечения. Технические условия. М.: Госстандарт СССР. 1988. 10 с.
17. Металлические конструкции академика В. Г. Шухова / Отв. ред. В.П. Мишин. М.: Наука, 1990. 112 с.
18. Шухов В. Г. Стропила. Изыскания рациональных типов прямолинейных стропильных ферм и теория арочных ферм. М.: «Русское Т-во печатн. и изд. дела», 1897. 125 с.
19. Шухов В. Г. Строительная механика / Избранные труды. М.: Наука, 1977. С. 65–139.
20. Барановский М. Ю., Тарасов В. А. Стандартизированные ферменные конструкции с уклоном 10% пролетами 24, 30, 36 метров // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7. С. 92–106.
21. Марутян А. С. Проектирование легких металлоконструкций из перекрестных систем, включая модули типа «Пятигорск». Пятигорск: ПФ СКФУ, 2013. 436 с
22. Москалев С. Н., Попова Р. А. Стальные конструкции легких зданий. М.: Издательство АСВ. 2003. С. 71–72.
23. Баглачев С. В., Савенко С. Н. Архитектура старого Кисловодска. Пятигорск: Издательство «Снег», 2006. 512 с.

REFERENCES

1. Architectonics of engineer VG Shukhov. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 160th anniversary of V.G. Shukhov's birth (November 13-14, 2013). Moscow: MARCHI; 2013. 302 p.
2. Shukhov VG. Application for the privilege "Openwork Tower". January 11, 1896. Privilege No. 1895 issued on March 12, 1899.
3. Kushchev IE, Romanchenko DA. The influence of historical experience on the development of four-tier structures in the form of hyperboloids of rotation. Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN. 2023;(4):67-71.
4. Kushchev IE, Romanchenko DA. The modeling of five-tiered structures in the form of hyperboloids of rotation and changes in loads on nodal fasteners. Bulletin of the South Ural State University. 2024;(1):14-19.
5. Romanchenko DA. Study of deformations in nodal joints of polymer mesh shells of hyperboloids of rotation. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2024;(1):70-77.

6. Kiryushchenko VN, Sikorskaya VV, Chiknizov AYU, Nazarova EV, Efremova EA, Avetyan NYu, Marutyan AS. Optimization of gratings from tubular profiles. Investments, urban development, real estate as a driver of socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population. Proceedings of the XIII international scientific and practical conference. Tomsk; TGASU. 2023. P. 282-286.
7. Samokhvalov IA. Growing Stress-Strain State of a Metal Tower Structure Intended for Placing Cellular Communication Equipment in the Presence of Corrosion Damages of Individual Elements and Connections of its Support. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2024;(1):88-97.
8. Marutyan AS. Optimization of truss structures of buildings and structures. Pyatigorsk: Publishing house of PI SKFU; 2022. 276 p.
9. Marutyan AS. Construction with a lattice made of a U-shaped profile // Patent No. 2099448. 03.24.2022.
10. Marutyan AS. Butt joint of a stretched belt of a metal truss. Author's certificate No. 1723281. 30.03.1992.
11. Perelmutter AV. Essays on the history of metal structures: Popular science publication. Moscow: ASV Publishing House; 2015. P. 81–86.
12. Marutyan AS. Triangular lattice of rod structures with additional half-posts and half-braces (Y-shaped posts) // Patent No. 2618810. 11.05.2017.
13. Marutyan AS. Triangular lattice of rod structures with additional posts and half-braces // Patent No. 2573889. 01/27/2016.
14. Steel structures for roofs of industrial buildings with spans of 18, 24 and 30 m using closed bent-welded rectangular sections of the Molodechno type: standard design: series 1.460.3-14 / developed by GPI Lenproektstalkonstruktsiya. USSR Gosstroy. 1980. 135 p.: KM drawings.
15. Steel structures of industrial building roofs made of closed bent-and-welded rectangular sections with a span of 18, 24 and 30 m with a roof slope of 10%: standard design: series 1.460.3-23.98. Issue I / developed by OAO PI Lenproektstalkonstruktsiya. Gosstroy RF. 2000. 78 p.: KM drawings.
16. GOST 27579-88. Steel rafter trusses made of bent-welded rectangular sections. Technical conditions. Moscow: USSR State Standard. 1988. 10 p.
17. Metal structures of academician VG. Shukhov. Ed. VP Mishin. Moscow: Nauka; 1990. 112 p.
18. Shukhov VG. Rafters. Research of rational types of rectilinear rafter trusses and the theory of arched trusses. Moscow: "Russian Printing and Publishing House"; 1897. 125 p.
19. Shukhov VG. Structural Mechanics / Selected Works. Moscow: Nauka; 1977. P. 65-139.
20. Baranovskiy MIU, Tarasov VA. The standardized farm designs with 10% slope for 24, 30, 36 meters span // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014;7:92-106.
21. Marutyan AS. Design of light metal structures from cross systems, including modules of the "Pyatigorsk" type. Pyatigorsk: PF SKFU; 2013. 436 p.
22. Moskalyev SN, Popova RA. Steel structures of light buildings. Moscow: ASV Publishing House; 2003. P. 71-72.
2. Baglachev SV, Savenko SN. Architecture of old Kislovodsk. Pyatigorsk: Sneg Publishing House; 2006. 512 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена Аристотелевна Ефремова – студентка колледжа, Пятигорский институт (филиал), Северо-Кавказский федеральный университет, [lena.efremova.ari@gmail.com](mailto:lana.efremova.ari@gmail.com)

Сергеева Арина Аликовна – студентка колледжа, Пятигорский институт (филиал), Северо-Кавказский федеральный университет, s-arina-04@mail.ru

Наринэ Юрьевна Аветян – преподаватель колледжа, Пятигорский институт (филиал), Северо-Кавказский федеральный университет, n.avetyan@bk.ru

Александр Суренович Марутян – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела организации проектно-грантовой деятельности, преподаватель

колледжа, Пятигорский институт (филиал), Северо-Кавказский федеральный университет, al_marut@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Efremova – College Student, Pyatigorsk Institute (branch), North-Caucasus Federal University, lena.efremova.ari@gmail.com

Arina A. Sergeeva – College Student, Pyatigorsk Institute (branch), North-Caucasus Federal University, s-arina-04@mail.ru

Narine Yu. Avetyan – College Teacher, Pyatigorsk Institute (branch), North-Caucasus Federal University, n.avetyan@bk.ru

Alexander S. Marutyan – Cand. Sci. (Techn.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Organization of Project and Grant activities, College Teacher, Pyatigorsk Institute (branch), North-Caucasus Federal University, al_marut@mail.ru

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию: 13.03.2024;
одобрена после рецензирования: 19.04.2024;
принята к публикации: 10.06.2024.*

*The article was submitted: 13.03.2024;
approved after reviewing: 19.04.2024;
accepted for publication: 10.06.2024.*