

УДК 624.014

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДСТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

А. О. Запросян, А. А. Федчишена

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Проводится сравнение двух вариантов покрытия из металлических ферм — с подстропильными фермами и без них. При определенных исходных данных выполнены необходимые расчеты и вычислены стоимостные показатели вариантов покрытия. Анализ результатов расчета говорит о нецелесообразности вариантов покрытия с подстропильными фермами.

Ключевые слова: стропильная ферма, подстропильная ферма, стоимость материалов, стоимость изготовления, стоимость фермы.

FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF SUB-TRUSSES

A. O. Zaprosyan, A. A. Fedchishena

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The comparison of two variants of metal trusses coverage is carried out — with and without sub-trusses. With certain initial data, the necessary calculations were performed and the cost indicators of the coverage options were calculated. The analysis of the calculation results indicates the inexpediency of coverage options with sub-trusses.

Keywords: truss, sub-truss, cost of materials, cost of manufacturing, truss cost.

Введение. Металлические стропильные фермы являются весьма распространенными конструкциями, используемыми в качестве покрытий промышленных зданий, торговых, спортивных центров и пр. [1, 2]. Исследованию таких конструкций посвящено большое количество научных работ. В [3–5] рассмотрена возможность применения тонкостенных профилей в качестве стержней. В [6] для типовой фермы пролетом 24 м путем вычислений найдена её оптимальная высота по расходу металла. В работах [7, 8] рассмотрен вопрос применения бистальных ферм с поясами из более прочной марки стали. В [9] дано технико-экономическое обоснование целесообразности применения унификации стропильных ферм. В [10] приведены особенности проектирования криволинейных трехпоясных ферм.

Целью работы являлось технико-экономическое обоснование применения подстропильных ферм.

Материалы и методы. Как известно, архитектурно-проектировочное решение предполагает два варианта покрытия зданий. В случае варианта 1 применяются только стропильные фермы ФС12 (рис. 1). Во втором варианте используются стропильные фермы ФС6 и подстропильные фермы ПФ (рис. 2).

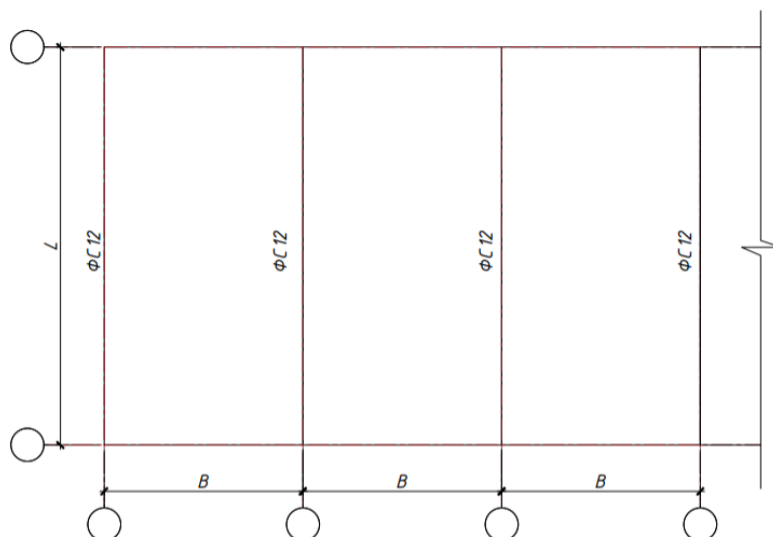


Рис. 1. Вариант 1 — покрытие без подстропильных ферм

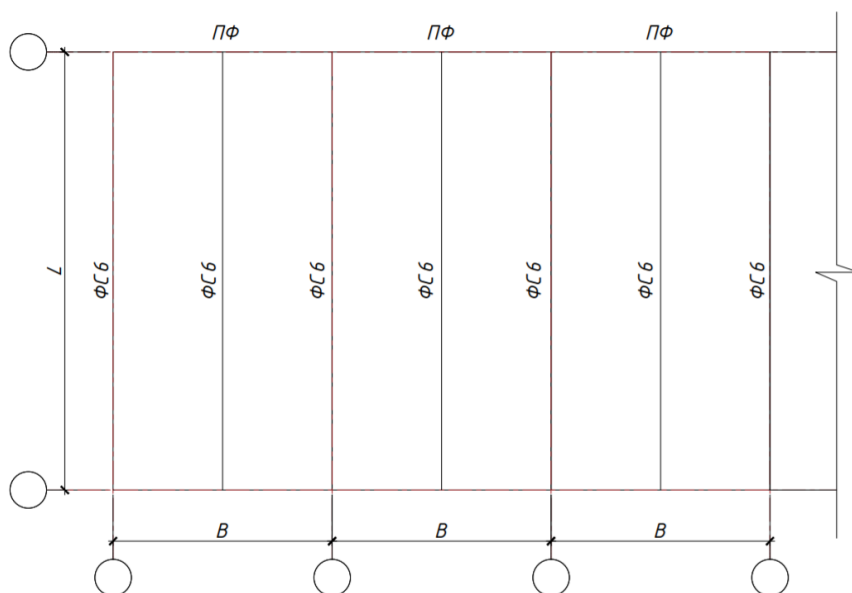


Рис. 2. Вариант 2 — покрытие с подстропильными фермами

Каждый из вариантов покрытия имеет свои достоинства и недостатки. Очевидным недостатком 2 варианта является большее количество конструкций, что приводит к увеличению транспортных и монтажных расходов при возведении сооружения. С другой стороны, масса стропильной фермы по 2 варианту намного меньше, чем по 1 варианту. Это объясняется тем, что узловая нагрузка, действующая на ферму по 2 варианту вдвое меньше, чем по 1 варианту. Происходит это вследствие того, что грузовая площадь $A_{гр}$ узла верхнего пояса по 2 варианту равна $l_{узн} \times B/2$, где $l_{узн}$ есть расстояние между узлами. В случае 1 варианта — $A_{гр} = l_{узн} \times B$. Естественно, что масса основных деталей G_0 и стоимость фермы $C_{фер}$ по 2 варианту будет меньше, чем по 1 варианту. С другой стороны, более правомерным будет сравнение вариантов по удельной стоимости покрытия $C_{уд}$ на 1 м^2 перекрываемой поверхности.

Результаты. Для решения этого вопроса в соответствии с [11] были выполнены необходимые расчеты для типовой стропильной фермы с пролетом $L=12 \text{ м}$, шагом $B=12 \text{ м}$ и

легким покрытием. Сечения стержней фермы приняты из равнополочных уголков. При этом расчеты выполнялись для восьми снеговых районов согласно [12]. Определение стоимостных показателей для технико-экономического сравнения вариантов выполнялось согласно [13]. При определении стоимости ферм $C_{фер}$ учитывались основные экономические показатели — стоимость материалов $C_{мат}$, стоимость изготовления $C_{изг}$, на величину которых существенно влияют масса G_0 и количество n_0 основных деталей, оптовая цена металлопроката, трудоемкость изготовления. Результаты вычислений приведены в таблице 1. В таблице 2 показаны результаты сравнения обоих вариантов покрытия по их удельной стоимости $C_{уд}$. Они же графически отображены на рис. 3.

Таблица 1

Технико-экономические показатели вариантов покрытий

№ Сн.р.	$G_0, т$		$C_{мат}, р$	$C_{изг}, р$	$C_{фер}$	$C_{уд}$	
	ФС12, В=12 м, $n_0=30$						
1	1,594			186180	8230	194410	675
2	1,884			220050	8950	229000	795
3	2,156			251820	9570	261390	908
4	2,404			280790	10110	290900	1010
5	2,660	310690	10630	321320	1116		
6	2,896	338250	10920	349170	1212		
7	3,283	383450	11810	395260	1372		
8	3,442	402030	12090	414120	1438		
ФС6, В=6м, $n_0=30$							
1	1,201	140280	7140	147420	1020		
2	1,257	146820	7310	154130	1070		
3	1,257	146820	7310	154130	1070		
4	1,329	155230	7510	162740	1130		
5	1,499	169240	7980	177220	1230		
6	1,659	193770	8400	202170	1400		
7	1,731	202180	8580	210760	1460		
8	1,798	210010	8740	218750	1520		
ПФ, $n_0=14$							
1	0,746	87130	3850	90980	320		
2	0,858	100210	4120	104330	360		
3	0,965	112710	4370	117080	410		
4	1,113	130000	4700	134700	470		
5	1,189	133880	4850	138730	480		
6	1,306	152540	5090	157630	550		
7	1,456	170060	5370	175430	610		
8	1,546	180570	5540	186110	650		

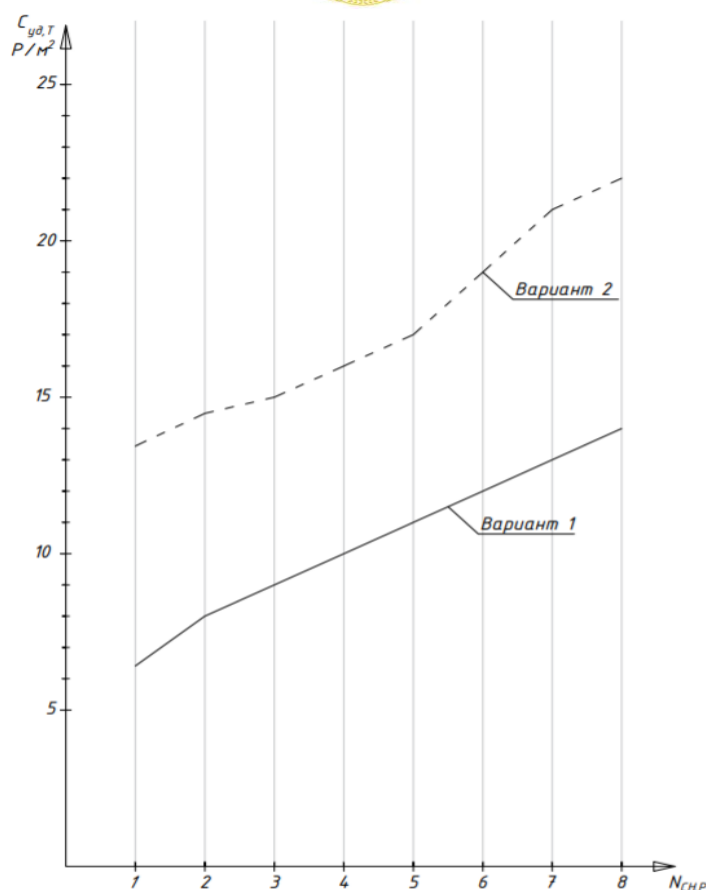


Рис. 3. Результаты сравнения вариантов покрытия

Таблица 2

Сравнение значений удельной стоимости $C_{уд}$ вариантов покрытий

№ варианта	№ снегового района							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	675	795	908	1010	1116	1212	1372	1438
2	1340	1430	1480	1600	1710	1950	2070	2170

Обсуждение. Анализ результатов вычислений позволяет сделать следующие выводы:

1) Для всех снеговых районов 2 вариант покрытия с подстропильными фермами в 1,5–2 раза дороже, чем 1 вариант без подстропильных ферм.

2) С увеличением нагрузки на ферму (т.е. с увеличением снеговой нагрузки) наблюдается тенденция к уменьшению разницы $C_{уд}$ с 99 % до 51 %. Это объясняется тем, что при небольших нагрузках на стропильную ФСБ и подстропильную ПФ фермы во 2 варианте усилия в элементах оказывались небольшими и сечения элементов принимались конструктивно (т.е. с запасом). Такое решение вызвано тем, что при изготовлении ферм сечения уголков менее, чем 50×5 мм не принимаются. Естественно, что такой подход приводит к увеличению массы ферм G_0 и стоимостных показателей.

3) При оптовых ценах на уголковую сталь марки ВСтЗпс около 100 руб/т по состоянию на 1980 г. стоимость материалов $C_{мат}$ от общей стоимости фермы $C_{фер}$ составляла в среднем 80 %, а стоимость изготовления $C_{изг}$ — 20 %. В настоящее время при оптовых ценах на уголковую сталь марки С245 80 000 руб/т по состоянию на 2021 г. та же стоимость материалов $C_{мат}$ уже составляет 95–97 % от стоимости фермы, а стоимость изготовления лишь 3–5 %. В такой ситуации абсолютно

нецелесообразным является унификация строительных ферм, когда пояса принимаются одного большего сечения, а все типоразмеры элементов решетки сводятся к 2–3 значениям в сторону увеличения сечения стержней.

Существуют различные варианты подстропильных ферм в промышленных зданиях с шагом $B=12$ м (рис. 4). По средним осям устраивают шаг колонн 24 м для освобождения производственных площадей.

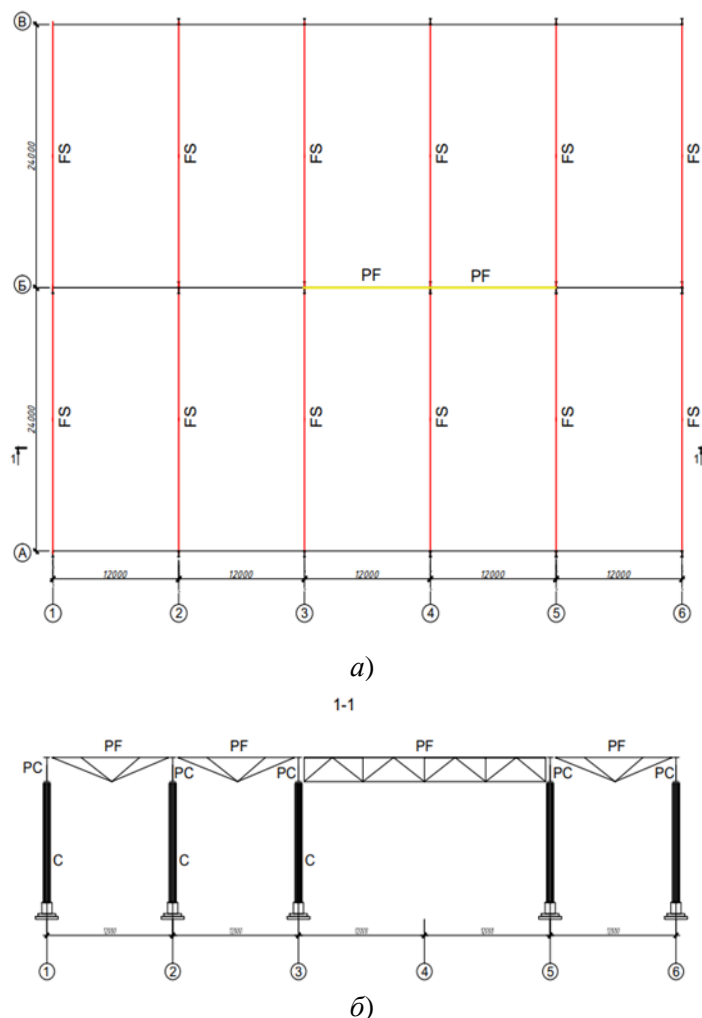


Рис. 4. Промышленное здание: а — вид сверху; б — вид в разрезе 1-1

Очень часто подстропильные фермы применяют при беспрогонном решении покрытия типа «Молодечно» (рис. 5). В качестве несущих конструкций покрытий укладываются стропильные фермы с шагом 4 м, к которым крепится стальной профилированный настил. При этом по крайним осям используются подстропильные балки, а по средним осям — подстропильные фермы (рис. 6). Это объясняется тем, что по средним осям на подстропильную ферму приходится нагрузка из двух соседних пролетов. Несущая способность ее должна быть повышена.

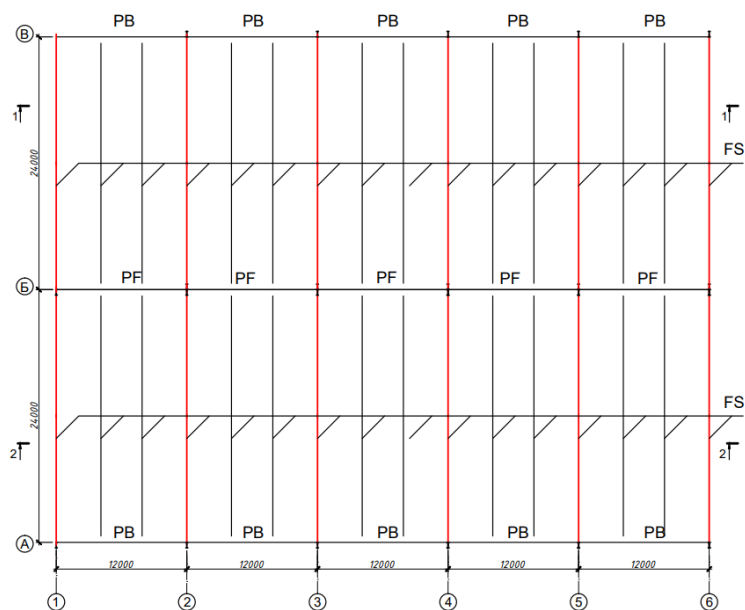
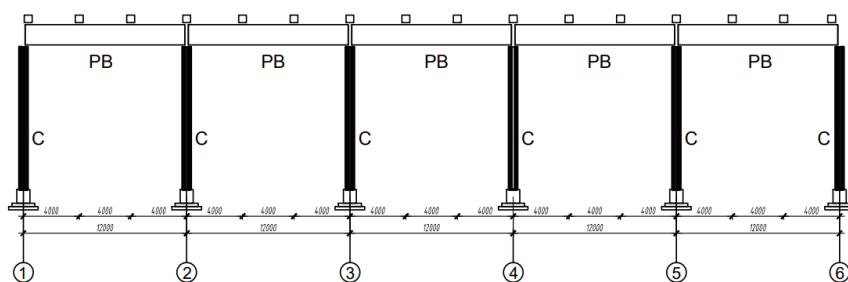


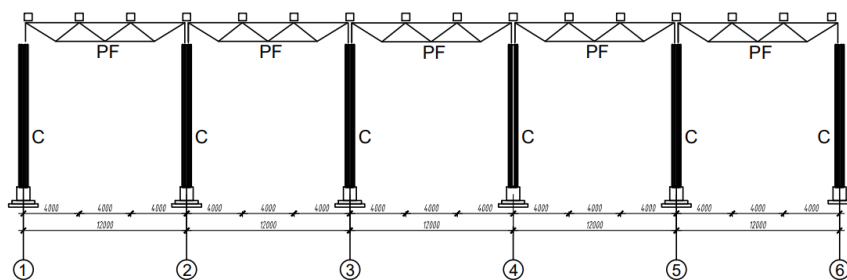
Рис. 5. Молодечно

1-1



а)

2-2



б)

Рис. 6. Виды в разрезе типа «Молодечно»: а — разрез 1–1; б — разрез 2–2

Также подстропильные фермы применяются в покрытиях торговых центров типа «О'кей» и «Метро», в которых они идут с шагом в 3 м (рис. 7).

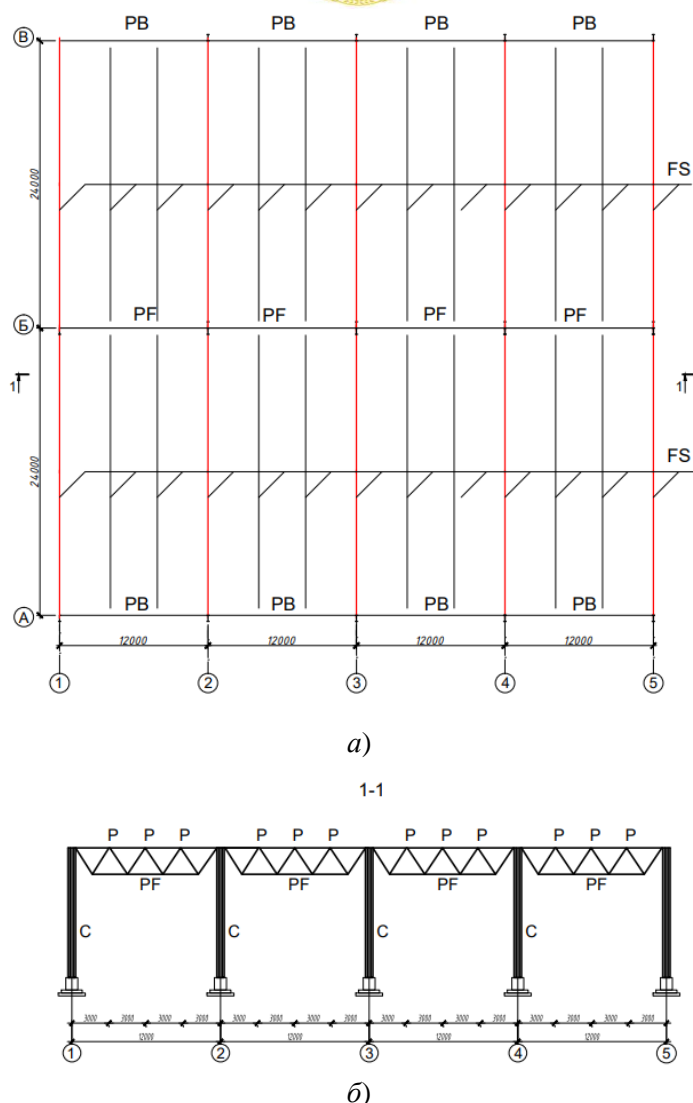


Рис. 7. Торговый центр: *а* — вид сверху; *б* — вид в разрезе 1–1

Заключение. Проведенные исследования позволяют сделать однозначный вывод о нецелесообразности применения схемы покрытия с подстропильными фермами при выбранных исходных данных.

Библиографический список

1. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под ред. Н. П. Мельникова. — Москва: Стройиздат, 1980. — 776 с.
2. Кутухтин, Е. Г. Легкие конструкции одноэтажных производственных зданий / Е. Г. Кутухтин, В. М. Спиридонов, Ю. Н. Хромец. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Стройиздат, 1988. — 261 с.
3. Устименко, Е. Е. Экспериментальное исследование рамно-стержневых конструкций с элементами из тонкостенных стальных профилей / Е. Е. Устименко, С. В. Скачков // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 5(56). — С. 53.
4. Милосердов, К. А. Конструктивные особенности узла трехгранных ферм из тонкостенных стальных профилей / К. А. Милосердов, С. В. Скачков // Студенческий вестник. — 2019. — № 41–4(91). — С. 54–56.

5. Фроловская, А. В. Исследование несущей способности элементов стропильной фермы из тонкостенных оцинкованных профилей / А. В. Фроловская, Ю. М. Петрова, Н. Н. Химченко // Молодая мысль: наука, технологии, инновации : мат-лы VIII (XIV) Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — Братск : Братский государственный университет, 2016. — С. 35–39.

6. Запросян, А. О. Определение оптимальной высоты стропильной фермы / О. А. Запросян, И. В. Глушкова // Студенческий вестник. — 2019. — № 41(91).

7. Запросян, А. О. Техничко-экономическое обоснование применения бистальных стропильных ферм. / А. О. Запросян // Мат-лы науч.-практ. конф. «Строительство и архитектура-2017». — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2017. — С. 138–140.

8. Абаев, А. С. Техничко-экономическое сравнение вариантов моностаальной и бистальной стропильных ферм / А. С. Абаев // Молодой исследователь Дона. — 2018. — № 2(11). — С. 2–4.

9. Запросян, А. О. Техничко-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм / А. О. Запросян, Д. А. Леонова, Р. А. Шкрылев // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 8(80). — С. 425–431

10. Запросян, А. О. Техничко-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм / А. О. Запросян, Д. А. Леонова, Р. А. Шкрылев // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 8(80). — С. 425–431

11. СП16.13330.2017. Стальные конструкции. — Москва : 2017 — 151 с.

12. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. — Москва : 2016 — 80 с.

13. Лихтарников, Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. — Москва : Стройиздат, 1979. — 319 с.

Об авторах:

Запросян Аведик Ованесович, доцент кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344022, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), кандидат технических наук, доцент, spu-52.2@donstu.ru

Федчишена Анастасия Анатольевна, магистрант кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344022, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), afedchishena@mail.ru

About the Authors:

Zaprosyan, Avedik O., Associate professor, Department of Metal, Wooden and Plastic Structures, Don State Technical University (162, Socialist Str., Rostov-on-Don, 344022, RF), Cand.Sci. (Eng.), associate professor, spu-52.2@donstu.ru

Fedchishena, Anastasiya A., Master's degree student, Department of Metal, Wooden and Plastic Structures, Don State Technical University (162, Socialist Str., Rostov-on-Don, 344022, RF), afedchishena@mail.ru