

Исследование числа разнотипных элементов фермы
А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов, З.А. Гаджиев
Дагестанский государственный технический университет,
367015, г. Махачкала, пр. И.Шамиля,70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка алгоритма определения оптимального числа разнотипных элементов, которые обеспечат минимум стоимости конструкций. В статье приведены конкретные вычисления по оптимизации числа разнотипных элементов фермы пролётом 24 метра, 30 метров и 36 метров. **Метод.** Исследование основано на применении численно-аналитических методах расчета расхода стали в зависимости от числа разнотипных элементов фермы. **Результат.** Рассмотренные конструктивные и расчётные схемы позволяют опеределить оптимальное число разнотипных элементов фермы, которое обеспечивает минимум стоимости стержневой системы (фермы). Результаты приводятся в виде графиков и таблиц **Вывод.** Результаты проведенного исследования позволяют назначить оптимальное число разнотипных элементов еще на стадии компоновки фермы, имеющей различные пролёты.

Ключевые слова: фермы, шпренгельная система, решётка фермы, оптимальное число, панели, расход стали, графики, таблицы

Для цитирования: А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов, З.А. Гаджиев. Исследование числа разнотипных элементов фермы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(4):238-246. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-4-238-246

Study of the number of different types of truss elements
A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov, Z.A. Gadzhiev
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367015, Russia

Abstract. Objective. The purpose of this study is to develop an algorithm for determining the optimal number of different types of elements that will minimize the cost of structures. The article presents specific calculations for optimizing the number of different types of truss elements for spans of 24 meters, 30 meters, and 36 meters. **Method.** The study is based on the application of numerical and analytical methods for calculating steel consumption depending on the number of different types of truss elements. **Result.** The considered design and calculation schemes allow us to determine the optimal number of different types of truss elements that minimizes the cost of the rod system (truss). The results are presented in the form of graphs and tables. **Conclusion.** The results of this study allow us to determine the optimal number of different types of elements even at the design stage of trusses with different spans.

Keywords: trusses, truss system, truss lattice, optimal number, panels, steel consumption, graphs, tables

For citation: A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov, Z.A. Gadzhiev. Study of the number of different types of truss elements. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(4): 238-246. (In Russ) DOI:10.21822 /2073-6185-2025-52-4-238-246

Введение. Проектирование фермы начинают с ее компоновки [1-3,5]. На этой стадии выбирают статическую схему и очертание фермы, назначают вид решетки и определяют

генеральные размеры. Затем производят статический расчет фермы, подбор сечений элементов фермы, расчет и конструирование ее узлов [4, 6, 7, 9].

По напряженному состоянию фермы можно разделить на обычные и фермы с регулируемым напряжением – с затяжками (шпренгелями), со смещением уровня опор в неразрезных фермах и другие.

Генеральными размерами фермы являются её пролёт и высота. Пролёт выбирают в зависимости от технологического процесса, который протекает в здании (расстановка оборудования, назначения здания, организация потоков и т.п.). Если нет ограничений технологического характера, пролет назначается из экономических соображений. В целях типизации пролеты ферм унифицируются и принимаются кратными модулю 6 м, т.е. 18, 24, 30, 36, 42 м. В отдельных случаях допускается модуль 3 м.

Высота фермы в середине пролета определяется условиями минимального веса, требуемой жесткости, характеризуемой заданным прогибом, и габаритами при перевозке, как правило, железнодорожным транспортом (наибольший габарит по вертикали 3,85 м). Практически из условий стандартизации геометрической схемы высоту стропильных ферм рационально принимать одинаковой для всех ферм различных пролетов: в типовых фермах трапециoidalного очертания – 2,2 м (между обушками на разбивочной оси колонны) и в фермах с параллельными поясами 3,15 м.

По величине максимальных усилий условно различают легкие одностенчатые фермы с сечениями элементов из простых прокатных или гнутых профилей [10-12] (при усилиях в стержнях $N \leq 3000$ кН) и тяжелые фермы ($N > 3000$ кН). Стержни тяжелых ферм отличаются от легких более мощными сечениями, составленные из нескольких элементов, и обычно проектируются двустенчатыми. В качестве легких ферм обычно используются стропильные фермы (фермы кровельного покрытия).

Постановка задачи. Целью исследования является разработка методики определения оптимального числа разнотипных элементов стержней фермы, которая обеспечивает минимальный расход стали.

При работе ферм с элементами из уголков или тавров принимается допущение, что все стержни соединены в узлах шарнирно, оси всех стержней прямолинейны, расположены в одной плоскости и пересекаются в узле в одной точке.

Методы исследования. После предварительного определения опорных реакций фермы, усилия в элементах стропильных ферм от неподвижной нагрузки определяются, как правило, графическим методом – путем построения диаграммы Максвелла-Кремоны или аналитическим методом для всех загружений отдельно. Для симметричного нагружения диаграмма усилий строится для половины фермы.

При наличии опорных моментов строится диаграмма усилий от единичного момента M_1 , приложенного к левой опоре. Зеркальное отображение этих усилий дает значение усилий в стержнях фермы от единичного момента, приложенного к правой опоре. Единичный момент заменяется эквивалентной парой сил $H = M_1/h_0$ с плечом h_0 . Умножая значение усилий в стержнях фермы от единичных моментов соответственно на M_l и M_n , получаем фактические усилия в стержнях. Усилия от каждого нагружения оформляются в табличной форме. Лучше всего расчет ферм выполнять на компьютере, воспользовавшись любой из известных программ. Для подбора сечений элементов ферм необходимо получить для каждого элемента максимально возможное усилие при самом невыгодном сочетании нагрузок.

В случае приложения нагрузок вне узлов фермы её пояса рассчитываются как неразрезные балки на совместное действие продольных усилий и изгибающего момента. Значение изгибающего момента от сосредоточенной силы F приближенно определяется по формуле $M = 0,9Fd/4$, где коэффициент 0,9 учитывает неразрезность пояса; d – длина панели. Ферма состоит из различных стержней. При этом число разнотипных элементов стержней фермы существенно влияет на расход стали т.е. на собственный вес конструкции и её стоимость.

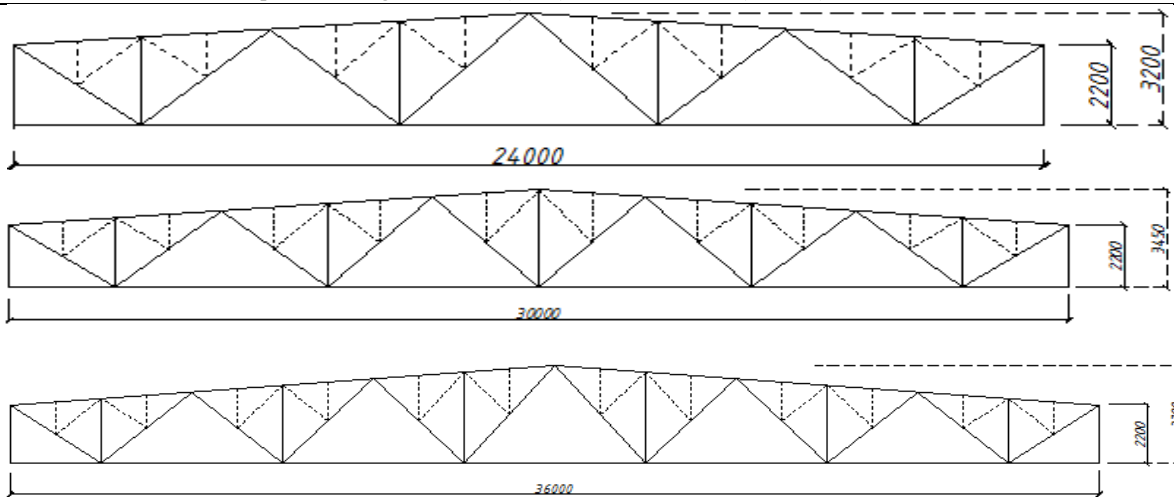


Рис. 1 – Конструктивные схемы шпренгельных ферм
 Fig. 1 – Structural diagrams of truss trusses

Здесь и далее пунктирными линиями показаны шпренгельные элементы (рис.1).

Введение шпренгельных элементов в обычные фермы: уменьшает расчетные длины соответствующих стержней и увеличивает критические силы; обеспечивает узловую передачу нагрузки от перекрытия (плит). Все это приводит к повышению эффективности шпренгельных ферм (уменьшается собственный вес фермы)

Алгоритм определения усилий в стержнях фермы, который был изложен в статье [13], остаётся без изменения и для ферм, который мы будем рассматривать далее. Здесь для определения усилий в стержнях фермы, как и ранее, используются методы строительной механики.

Обсуждение результатов. Расчетные усилия в стержнях шпренгельной фермы.

При $L = 24$ м. $k=1$ (k -коэффициент характеризующий степень нагрузки)

$F_1 = F_2 = F_3 = 37 \cdot 1 = 37$ Кн $F_4 = 40$ Кн $F_5 = 80$ Кн --1-й вариант снеговой нагрузки [8]. Усилия от вариантов снеговой нагрузки при $k=1$ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Усилия от вариантов снеговой нагрузки
 Table 1. Efforts from snow load variants

Элемент Element	№ стержней No. of rods	Усилия от постоянной нагрузки Efforts from constant load	Усилия от снеговой нагрузки Efforts from snow load			Усилия от опорных моментов Efforts from support moments S_1 от M_1
			1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	
Верхний пояс Upper belt	1-3	-187	-190.3	-208.64	-243.64	-0,177
	3-5	-187	-190.3	-208.64	-243.64	-0,376
	5-7	-250	-309.76	-339.6	-396.57	-0,095
	7-8	-320	-309.76	-339.6	-396.57	-0,048
Стойки Racks	1-2	-200	-194	-177	-238	0
	3-4	-40	-37	-42	-37	-0,125
	6-7	-30	-68	-36	-97	0,063
Нижний пояс Lower belt	1-3	0	0	0	0	0,375
	3-6	120	312.573	314.491	401.198	0,175
	6-9	155	362.584	430.853	433.294	0,07
Раскосы Braces	1-4	108	238	204.545	304.545	0,175
	4-5	-72	-173.65	-112.32	-216.86	-0,301
	5-6	45	115	53.4848	65.7163	-0,113
	6-8	-28	-44.231	-13.371	-28.572	0,077

Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы при $k=1$ приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы
Table 2. Calculated forces in the truss rods

Расчетные усилия Calculated forces			
№ усилий No. of efforts	Растяжение Stretching	№ усилий No. of efforts	Сжатие Compression
---	---	1+3 ^й	-438
---	---	1+3 ^й	-438
---	---	1+3 ^й	-730
---	---	1+3 ^й	-800
---	---	1+3 ^й	-438
---	---	1+3 ^й	-85
---	---	1+3 ^й	-120
0	0	---	---
1+3 ^й	525	---	---
1+3 ^й	588	---	---
1+3 ^й	415	---	---
---	---	1+3 ^й	-288
1+1 ^й	160	---	---
---	---	1+1 ^й	-71

При $L = 30$ м. $k=1$

$F_1 = F_2 = F_3 = 37 * 1 = 37$ Кн $F_4 = 40 * 1 = 40$ Кн $F_5 = 78$ Кн--1-й вариант снеговой нагрузки.
 Усилия от вариантов снеговой нагрузки при $k=1$ приведены в табл. 3.

Таблица 3. Усилия от вариантов снеговой нагрузки
Table 3. Efforts from snow load variants

Элемент Element	№ стержней No. of rods	Усилия от постоянной нагрузки Efforts from constant load	Усилия от снеговой нагрузки Efforts from snow load			Усилия от опорных моментов Efforts from support moments S_1 от M_1
			1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	
Верхний пояс Upper belt	1-3	-200	-260	-188	-125	-0,443
	3-5	-200	-260	-188	-125	-0,413
	5-7	-310	-470	-335	-165	-0,257
	7-8	-310	-470	-335	-165	-0,254
	8-9	-310	-470	-313	-141	-0,119
Стойки Racks	1-2	-200	-232	-192	-137	0
	3-4	-38	-48	-48	-44	-0,06
	7-6	-24	-44	-36	0	-0,016
	9-10	-75	-96	-62	-28	-0,016
Нижний пояс Lower belt	2-4	0	0	0	0	0,453
	4-6	280	390	285	177	0,313
	6-9	340	500	340	154	0,124
Раскосы Braces	1-4	185	155	232	320	-0,034
	4-5	-157	-181	-133	-71	0,136
	5-6	85	163	65	120	-0,122
	6-8	-32	-46	-11	-78	0,119
	8-9	20	63	43	19	0,119

Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы при $k=1$ приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы
Table 4. Calculated forces in the truss rods

Расчетные усилия Calculated forces			
№ усилий No. of efforts	Растяжение Stretching	№ усилий No. of efforts	Сжатие Compression
---	---	1+1 ^й	-460
---	---	1+1 ^й	-460
---	---	1+1 ^й	-780
---	---	1+1 ^й	-780
---	---	1+1 ^й	-780
---	---	1+1 ^й	-432
---	---	1+1 ^й	-86
---	---	1+1 ^й	-68
---	---	1+1 ^й	-171
0	0	0	0
1+1 ^й	670	---	---
1+1 ^й	840	---	---
1+3 ^й	505	---	---
---	---	1+1 ^й	-338
1+1 ^й	248	---	---
---	---	1+3 ^й	-110
1+1 ^й	83	---	---

При **L = 36 м. κ=1**

$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 37 \cdot 1 = 37 \text{ Кн}$, $F_5 = 40 \text{ Кн}$, $F_6 = 42 \text{ Кн}$ -- 1-й вариант снеговой нагрузки. Усилия от вариантов снеговой нагрузки при $\kappa=1$ приведены в табл.5.

Таблица 5. Усилия от вариантов снеговой нагрузки
Table 5. Efforts from snow load variants

Элемент Element	№ стержней No. of rods	Усилия от постоянной нагрузки Efforts from constant load	Усилия от снеговой нагрузки Efforts from snow load			Усилия от опорных моментов Efforts from support moments S ₁ от M ₁
			1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	
Верхний пояс Upper belt	1-3	-220	-241	-240	-174	-0,413
	3-5	-220	-241	-240	-174	-0,413
	5-7	-350	-485	-468	-308	-0,333
	7-8	-350	-485	-468	-308	-0,333
	8-10	-430	-542	-497	-270	-0,292
	10-11	-430	-542	-500	-270	-0,292
Стойки Racks	1-2	-200	-230	-234	-174	0
	3-4	-30	-37	-42	-37	0
	7-6	-15	-50	-26	-20	-0,022
	9-10	-45	-77	-63	-18	0,019
Нижний пояс Lower belt	2-4	0	0	0	0	0,45
	4-6	72	400	395	273	0,38
	6-9	157	532	500	287	0,09
	9-12	200	490	440	240	
Раскосы Braces	1-4	160	300	298	212	0,047
	4-5	-140	-213	-204	-135	-0,042
	5-6	85	107	93	45	0,067
	6-8	-44	-70	-48	-28	-0,03
	8-9	15	10	4	25	0,027
	9-11	-58	-92	-85	-46	-0,02

Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы при $k=1$ приведены в табл. 6.

Таблица 6. Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы

Table 6. Calculated forces in the truss rods

Расчетные усилия Calculated forces			
№ усилий No. of efforts	Растяжение Stretching	№ усилий No. of efforts	Сжатие Compression
---	---	1+1 ^й	-461
---	---	1+1 ^й	-461
---	---	1+1 ^й	-835
---	---	1+1 ^й	-835
---	---	1+1 ^й	-972
---	---	1+1 ^й	-972
---	---	1+2 ^й	-434
---	---	1+2 ^й	-72
---	---	1+1 ^й	-65
---	---	1+1 ^й	-122
0	0	0	0
1+1 ^й	472	---	---
1+1 ^й	689	---	---
1+1 ^й	690	---	---
1+1 ^й	460	---	---
---	---	1+1 ^й	-353
1+1 ^й	192	---	---

Стоимость металлоконструкций складывается из следующих составных частей: стоимости проектирования, зависящей от вида конструкций, их сложности и повторяемости; стоимости металла и других материалов (электроды, метизы); издержек производства, зависящих от механовооруженности завода изготовителя, трудоемкости, серийности изготовления конструкций; транспортные расходы на перевозку конструкций; стоимости монтажа. Основные процессы строительства делятся: на заводские и на стройплощадке.

Примерное распределение стоимости по процессам выглядит так (в %) табл. 7.

Таблица 7. Распределение стоимости по процессам

Table 7. Cost distribution by processes

1.	Проектирование Design	2-3%%
2.	Сталь и др. материалы/ Steel and other materials	40-60%%
3.	Изготовление/ Manufacturing	20-25%%
4.	Транспортные расходы/Transportation costs	5-7%%
5.	Монтаж/ Installation	15-25%%

Из табл.7 видно, что основные затраты идут на сталь и др. материалы; изготовление и монтаж. Поэтому с целью снижения стоимости конструкций необходимо экономить сталь путем применения точных расчетов на прочность, устойчивость, жесткость; оптимизации компоновки конструкции (выбор очертания, узлы, отправочные марки и т. д.); снижения собственного веса, применяя высокопрочные стали и преднапряжение.

Экономия можно достичь за счет повышения технологичности изготовления конструкций (оптимизации числа разнотипных элементов и отправочных марок, применения типовые конструкции, перенесение основных операций по изготовлению конструкций на завод, использование современных технологий, автоматизированных технологических линий и т.д.).

Общую стоимость C_0 конструкции можно представить в виде суммы стоимости металла C_m , стоимости технологических затрат на изготовление $C_{изг}$, стоимости на восстановление в случае аварии $C_{ав}$: $C_0=C_m+C_{изг}+C_{ав}$.

Если же исходить только из начальной стоимости C_n , то можно сказать, что существует оптимальное число разнотипных элементов, которое обеспечивает минимум начальной стоимости C_n типовой конструкции (рис. 2).

$C_H = C_M + C_{изг}$, где n -число разнотипных элементов, (рис. 2.)

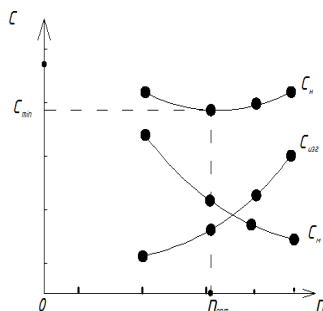


Рис. 2 – Зависимость расхода металла от количества разнотипных элементов

Fig. 2 – Dependence of metal consumption on the number of different types of elements

В данной статье сравнивается общий вес отправочной марки при различных n ($n=3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13$ и т.д.) и стоимость металла. Стоимость изготовления не приводится так как на форму кривых и на оптимальное значение n она не влияет, а лишь увеличивает значения координат по оси ординат, поэтому при построении графиков эту стоимость не учитываем.

На рис. 2 приведены три кривые. Нисходящая кривая от начала координат является кривой, показывающей расход материала- G (кгс) в зависимости от количества разнотипных элементов – n , чем больше разнотипных элементов, тем меньше вес.

Вторая кривая -обратная кривой расхода G , показывает стоимость материала C_M в зависимости от количества разнотипных элементов и количества элементов от общего числа элементов отправочной марки, в каждом типе элемента (при $n=3$, при $n=5$ и т. д.).

Третья кривая начальной стоимости получаем графически при суммировании двух кривых расход материала- G и стоимость материала C_M , которая необходима для нахождения оптимального числа разнотипных элементов n_{opt} .

В силу ограниченности объёма статьи здесь приводим не все таблицы расчёта, сохранив только соответствующие графики, которые характеризуют оптимальное число разнотипных элементов, представленных на рис.3-6.

Результаты расчётов элементов фермы при $L=24$ м приведены в табл.8.

Таблица 8. Результаты расчётов элементов фермы при $L=24$ м

Table 8. Results of calculations of truss elements at $L=24$ m

Элементы фермы Element	Длина Length	Погонный вес Linear weight	Вес стержня Rod weight
Верхний пояс Upper belt	3	23.3	69.9
	3	23.3	69.9
	3	36	108
	3	39.5	118.5
Стойки Racks	2.2	10.9	23.98
	2.5	3.44	8.6
	3	5.72	17.16
Нижний пояс Lower belt	3	8	24
	6	32.5	195
	3	43.2	129.6
Раскосы Braces	3.75	15.1	56.625
	4.2	12.2	51.24
	4.2	8.51	35.742
	4.4	5.38	23.672

Влияние числа разнотипных элементов на стоимость затрачиваемого материала приведено в табл. 9.

Таблица 9. Влияние числа разнотипных элементов на стоимость материала
Table 9. The influence of the number of different types of elements on the cost of the material

Общая стоимость отправочной марки обычной фермы Total cost of farm shipping stamp	Число разнотипных элементов Number of different types of elements			
	n=3	n=5	n=7	n=9
Вес (кгс) Weight (kgf)	390.6	282.6	238.6	235.6
Решетка Grate	390.6	282.6	238.6	235.6
Пояса Belts	1365	975	915	875
Общий вес (кгс) Total weight (kgf)	1756	1257.6	1153.6	1111
Стоимость металла Metal cost, в т.ч.	41	62	71	80
в условных единицах in conventional units	29	42	56	58

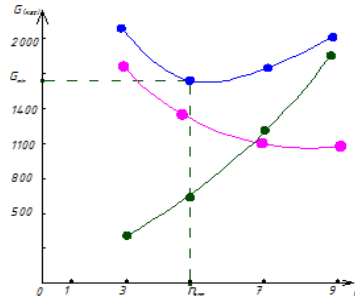


Рис. 3 – Графическое определение оптимального числа разнотипных элементов при L=24 м
Fig. 3 – Graphical determination of the optimal number of different types of elements for L=24 m

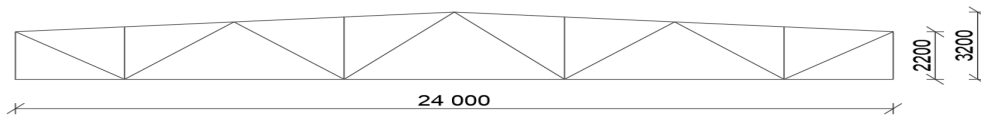


Рис. 4 – Конструктивная схема фермы с $n_{\text{опт}}=5$ а $G_{\text{min}}=1650$ кгс при L=30 м
Fig. 4 – Structural diagram of a truss with $n_{\text{opt}}=5$ and $G_{\text{min}}=1650$ kgf at L=30 m

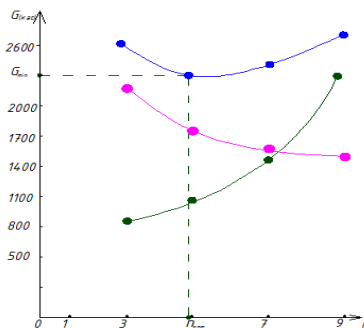


Рис. 5 – Графическое определение $n_{\text{опт}}$ при L=30 м
Fig. 5 – Graphical definition of n_{opt} at L=30 m

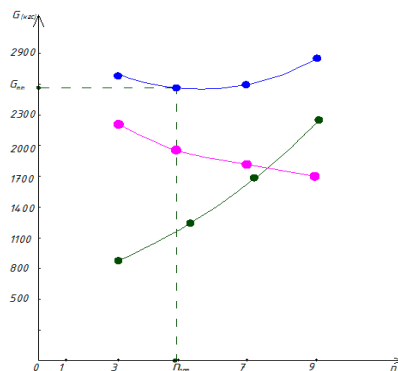


Рис. 6 – Графическое определение $n_{\text{опт}}$ при L=36 м
Fig. 6 – Graphical definition of n_{opt} at L=36 m

Вывод. По результатам выполненных расчетов можно сделать следующий вывод:

1. Рассмотренный алгоритм определения оптимального числа разнотипных элементов обеспечивает минимум стоимости конструкций.
2. Результаты исследования даны в виде таблиц и графиков, пользуясь которыми можно оптимизировать параметры проектируемой фермы.
3. Изложенная методика может найти применение при проектировании стержневых систем металлических конструкций (оболочки, балочные клетки, фахверки).

Библиографический список:

1. Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании. А.К. Юсупов, Махачкала, ДГТУ – 2010 г.
2. Металлические конструкции. Под редакцией Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986 г.
3. Металлические конструкции. Под редакцией Ю.И. Кудишин, Москва, Академия, 2008 г.
4. Расчет стальных конструкций. Клыков В.М., Я.М. Лихтарников, Москва, 1995 г.
5. Металлические конструкции. Справочник по редакции Мельникова С.П., Москва, 1982г.
6. Примеры расчета металлических конструкций. Михайлов А., Москва, 1982 г.
7. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Свод правил – Москва.- Стройиздат, 2017г. – 126 с.
8. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Свод правил – Москва - Стройиздат, 2016. – 95 с.,
9. Справочник конструктора «Стальные конструкции». Под редакцией Шумакова, Академия, Москва, 2004 г.
10. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные.
11. ГОСТ 26020-83 Двутавр нормальный (Б).
12. ТУ 14-2-685-86 Тавр (ШТ.)
13. А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов, З.А. Гаджиев. Оптимизация параметров фермы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(3):247-254.

References:

1. Metal Structures: Questions, Answers, and Design. A.K. Yusupov, Makhachkala, DSTU – 2010. (In Russ)
2. Metal Structures. Edited by E.I. Belenya, Moscow, Stroyizdat, 1986. (In Russ)
3. Metal Structures. Edited by Yu.I. Kudishin, Moscow, Academy, 2008. (In Russ)
4. Steel Structure Calculation. V.M. Klykov, Ya.M. Likhtarnikov, Moscow, 1995. (In Russ)
5. Metal Structures. Handbook edited by S.P. Melnikov, Moscow, 1982. (In Russ)
6. Metal Structure Calculation Examples. Mikhailov, Moscow, 1982. (In Russ)
7. SP 16.13330.2017 "Steel Structures." Code of Practice – Moscow. - Stroyizdat, 2017 – 126 p. (In Russ)
8. SP 20.13330.2016 "Loads and Impacts." Code of Practice – Moscow - Stroyizdat, 2016. – 95 p. (In Russ)
9. Designer's Handbook "Steel Structures." Edited by Shumakov, Academy, Moscow, 2004. (In Russ)
10. GOST 8509-93 Hot-Rolled Equal-Flange Steel Angles (In Russ)
11. GOST 26020-83 Normal I-Beam (B) (In Russ)
12. TU 14-2-685-86 I-Beam (ShT) (In Russ)
13. A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov, Z.A. Gadzhiev. Optimizing farm parameters. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(3): 247-254. (In Russ)

Сведения об авторах:

Абусупян Курашевич Юсупов, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Хайрулла Магомедмуратович Муселемов, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Раджаб Исабекович Вишталов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Зубаир Абдулмеджидович Гаджиев, студент, gadzievzubair56@mail.ru

Information about the authors:

Abusupyayn K. Yusupov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

Hairulla M. Muselemov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

Rajab I. Vishtalov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof. Department of Building Structures and Hydrotechnical Structures; hairulla213@mail.ru

Zubair A. Gadzhiev, Student, gadzievzubair56@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 10.08.2025.

Одобрена после рецензирования/Revised 20.09.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 04.11.2025.