

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.04

DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-247-254



Оригинальная статья /Original article

**Оптимизация параметров 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.** В статье рассматриваются особенности работы ферм с целью определения оптимального числа разнотипных элементов при конструировании фермы. **Метод.** Исследование проведено на основе аналитических методов расчета обычных и шпренгельных ферм трапециевидального очертания на прочность, жесткость, устойчивость. С помощью теоретических исследований определяется расход стали в зависимости от числа разнотипных элементов фермы. Приведен числовой пример определения расхода стали для пролёта фермы 18м. **Результат.** Представлена методика расчета и исследование работы обычных и шпренгельных ферм трапециевидального очертания. Определен расход стали на все виды конструкций, составлены таблицы и построены графики с кривыми расхода стали. Рассмотренные конструктивные и расчётные схемы позволяют опеределить оптимальное число разнотипных элементов фермы, которое обеспечивает минимум расхода стали на конструкцию. **Вывод.** На основе представленных результатов можно определить оптимальное число разнотипных элементов еще на стадии компоновки фермы.

**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. Оптимизация параметров фермы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(3):247-254. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-247-254

**Optimizing farm parameters**

**A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov, Z.A. Gadzhiev**

Daghestan State Technical University,  
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

**Abstract. Objective.** This article examines the operational characteristics of trusses with the aim of determining the optimal number of different elements in truss design. **Method.** The study is based on analytical methods for calculating the strength, rigidity, and stability of conventional and trapezoidal trusses. Theoretical research is used to determine steel consumption depending on the number of different truss elements. A numerical example of determining steel consumption for an 18-meter truss span is provided. **Result.** A calculation method and study of the performance of conventional and trapezoidal trusses are presented. Steel consumption for all types of structures is determined, tables are compiled, and graphs with steel consumption curves are constructed. The considered design and calculation schemes allow us to determine the optimal number of different truss elements, which ensures a minimum steel consumption per structure. **Conclusion.** Based on the presented results, the optimal number of different elements can be determined at the truss assembly stage.

**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. Optimizing farm parameters. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(3): 247-254. (In Russ) DOI:10.21822 /2073-6185-2025-52-3-247-254

**Введение.** Ферма в целом работает преимущественно на изгиб, а ее элементы (если нагрузка приложена в узлах, оси элементов пересекаются в центре узлов) на осевые усилия (растяжение или сжатие). Жесткость узлов в легких фермах несущественно влияет на работу конструкции, поэтому в большинстве случаев их можно рассматривать как шарнирные [1-3]. Основными элементами фермы являются пояса, образующие ее контур, и решетка, состоящая из раскосов и стоек. Максимальное усилие в элементах пояса при шарнирном опирании однопролетной фермы действует в середине ее пролета, в раскосах – у опоры [4]. Классифицируются фермы по назначению, статической схеме, очертанию поясов, системе решетки, способу соединения элементов в узлах и на опоре, величине усилия в элементах, напряженному состоянию.

По назначению фермы подразделяются на стропильные, фермы мостов, подъемных кранов, опор линий электропередачи и другие. По статической схеме фермы подразделяются на балочные (разрезные, неразрезные, консольные), рамные, арочные и вантовые. Балочные разрезные системы наиболее просты в изготовлении и монтаже, но весьма металлоемки. Неразрезные фермы экономичнее по расходу материала, обладают большей жесткостью, что позволяет уменьшить их высоту, но они, как статически неопределимые системы, чувствительны к осадке опор. Рамные и арочные системы экономичны по расходу стали. Их применение рационально для большепролетных зданий. В вантовых фермах все стержни работают только на растяжение и могут быть выполнены из гибких элементов (стальных тросов). Промежуточными между фермой и сплошной балкой являются комбинированные системы, состоящие из балки, подкрепленной снизу шпренгелем или раскосами, либо сверху аркой. Шпренгелевые элементы уменьшают изгибающие моменты в балочных фермах и повышают жесткость системы.

**Постановка задачи.** 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 [4, 6].

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 отдельно для всех загружений. 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. Для подбора сечений элементов ферм необходимо получить для каждого элемента максимально возможное усилие при самом невыгодном сочетании нагрузок. При приложении нагрузок вне узлов фермы ее пояса рассчитываются на совместное действие продольных усилий и изгибающего момента как неразрезные балки, опирающиеся на узлы ферм [4, 6, 7]. 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. Здесь даётся методика определения оптимального числа разнотипных элементов стержней фермы, которая обеспечивает минимальный расход стали.

**Методы исследования.** На рис. 1 пунктирными линиями показаны шпренгелевые элементы. Введение шпренгелевых 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 шпренгелевых ферм (уменьшается собственный вес фермы).

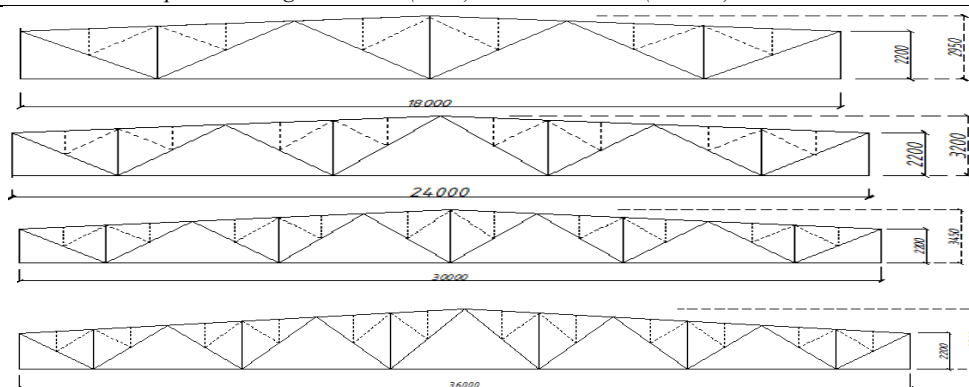


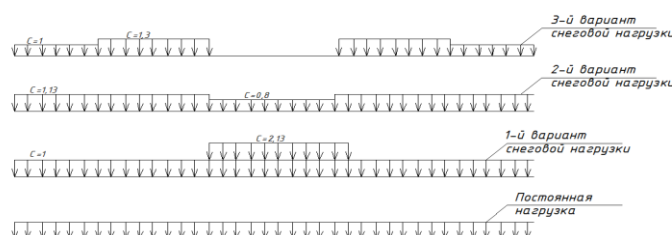
Рис. 1 - Шпренгельные фермы

Fig. 1 - Truss trusses

Проведем расчет стропильной фермы по следующей методике:

**Сбор нагрузок на ферму.** Материал стержней ферм – сталь марки Вст3пс6-1  
 $R=240\text{МПа}=24\text{ кН/см}^2$  ( $t<20\text{мм}$ ), фасонки Вст3пс5-1 по ТУ14-1-3023-80 [9-11]

а)



б)

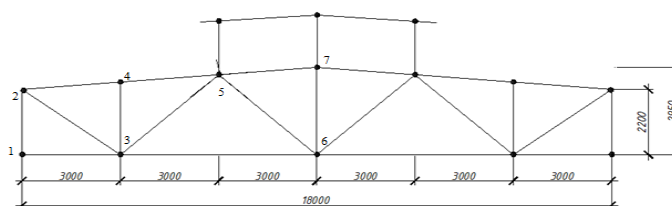


Рис. 2. - Расчетная схема стропильной фермы и варианты нагрузок

а – варианты нагрузок; б – расчетная схема

Fig. 2. - Calculation diagram of the rafter truss and load variants

а – load variants; б – calculation diagram

**Постоянная нагрузка** (рис. 2). Нагрузка от покрытия (за исключением веса фонаря):  
 $g_{кр}^1 = (g_{кр} \cdot n \cdot g_{фон}) \cdot \gamma_n = (1,6 - 1,05 \cdot 0,15) \cdot 0,95 = 1,4\text{ кН/м}^2$

где:  $g_{кр}$  – расчетная распределенная по площади нагрузка от покрытия;

$n$  – коэффициент перегрузки  $n=1,05$ ;

$g_{фон}$  – распределенная нагрузка от фонаря;

$\gamma_n$  – коэффициент условий работы,  $\gamma_n=0,95$ .

**Снеговая нагрузка** [8]. Расчетная нагрузка  $p=p_0 \cdot n \cdot c \cdot \gamma_n = 1,5 \cdot 1,45 \cdot 0,95 \cdot c = 2,07 \cdot c$

$n$  – коэффициент перегрузки  $n=1,45$ ;

**Узловые силы:** От постоянной нагрузки (рис. 2).

$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = p \cdot B \cdot d = 2,07 \cdot 6 \cdot 3 = 37\text{ кН}$

Опорные реакции  $F_A = 4 \cdot F_1 = 130\text{ кН}$ ;  $B$  – шаг колонн,  $B=6\text{ м}$ ;  $d$  – ширина панели фермы,  $d=3\text{ м}$ . 1-й вариант снеговой нагрузки (рис. 2)

$F_1 = F_2 = p \cdot B \cdot d \cdot c_2 = 2,07 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 1 = 37\text{ кН}$

$F_3 = p \cdot B \cdot d \cdot (c_1 + c_2) / 2 = 2,07 \cdot 6 \cdot 3 \cdot (1 + 1,13) / 2 = 40\text{ кН}$

$F_4 = p \cdot B \cdot d \cdot (c_1 + c_2) = 2,07 \cdot 6 \cdot 3 \cdot (1 + 1,13) = 78\text{ кН}$

Опорные реакции  $F_A = 2 \cdot F_1 + F_3 + F_4 / 2 = 153\text{ кН}$

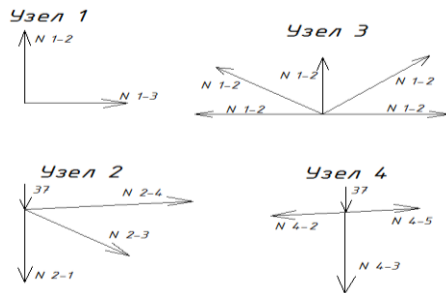
2-й вариант снеговой нагрузки (рис. 2)  $F_1 = F_2 = 42\text{ кН}$ ;  $F_3 = 36\text{ кН}$ ;  $F_4 = 45\text{ кН}$

Опорные реакции  $F_A = 2 \cdot F_1 + F_3 + F_4 / 2 = 142,5\text{ кН}$

3-й вариант снеговой нагрузки (рис. 2)  $F_1 = 37\text{ кН}$ ;  $F_2 = 45\text{ кН}$ ;  $F_3 = 97\text{ кН}$ ;  $F_4 = 0$

Опорные реакции  $F_A = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 180\text{ кН}$

**Определение усилий в стержнях фермы.** Усилия в стержнях фермы определяем методом вырезания узлов, отдельно для каждой нагрузки. Для симметричных нагрузок (постоянной и 1-й вариант снеговой нагрузки) достаточно определить усилия только для половины фермы.



**Рис. 3 - Нумерация усилий в узлах**  
**Fig. 3 - Numbering of forces in nodes**

Узел 1 (рис. 3)

$$\Sigma y=0; N_{21}+153=0 \quad N_{21}= -153 \text{ КН} \quad \Sigma x=0; \quad N_{23}=0 \quad (\text{рис. 3})$$

Узел 2. (рис. 3)

$$\Sigma y=0; \quad -N_{23}-37+N_{21} \cdot \cos \alpha=0 \quad N_{23}= (153-37)/(2,2/3,8)= 190 \text{ КН} \quad \Sigma x=0; \quad N_{23} \cdot \cos \alpha+ N_{24} \cdot \cos \beta=0 \quad N_{24}= -(190 \cdot (3,1/3,7))/1,03= -145 \text{ КН}$$

Узел 3. (рис. 3)

$$\Sigma y=0; \quad N_{34}+N_{32} \cdot \sin \beta +N_{35} \cdot \sin \alpha=0 \quad N_{35}=-N_{34}-N_{32} \cdot 0,62 \quad N_{35}=-150 \cdot 0,64-37 \quad N_{35}= -105 \text{ КН}$$

$$\Sigma x=0; \quad N_{36} \cdot \cos \alpha+ N_{35}+ N_{32} \cdot \sin \beta=0 \quad N_{36}= 105/(3,1/3,8)+270/0,8=286 \text{ КН}$$

Узел 4. (рис. 3)

$$\Sigma x=0; \quad N_{45} \cdot \cos \alpha+ N_{42} \cdot \cos \beta=0 \quad N_{42}= -150 \cdot (3,1/3)/1,03= -145 \text{ КН} \quad \Sigma y=0; \quad -N_{43}-F_2=0$$

$$-N_{43}= F_2= -37 \text{ КН}$$

Узел 5. (рис. 4)

$$\Sigma y=0; \quad -40-N_{56} \cdot \cos \alpha-N_{53} \cdot \sin \beta -N_{54} \cdot \sin \gamma +N_{57} \cdot \sin \gamma=0$$

$$-40-N_{56} \cdot 0,67-N_{53} \cdot 0,67-N_{54} \cdot 0,87+ N_{57} \cdot 0,87=0 \quad \Sigma x=0; \quad N_{56} \cdot \cos \gamma-N_{53} \cdot \sin \gamma -N_{54} \cdot \sin \alpha+ N_{57} \cdot \sin \beta=0$$

$$N_{56} \cdot 0,76-N_{53} \cdot 0,76-N_{54} \cdot 0,96+ N_{57} \cdot 0,96=0$$

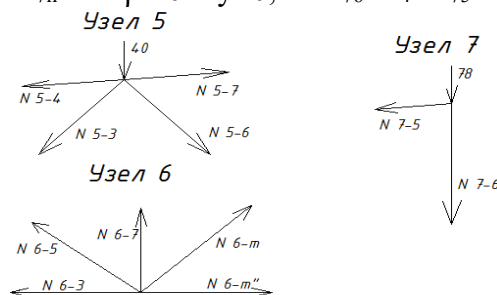
Узел 6. (рис. 4)

$$\Sigma y=0; \quad N_{67}+N_{65} \cdot \sin \beta +N_{6п} \cdot \sin \alpha=0 \quad N_{65} \cdot 0,64= -N_{67}-N_{6п} \cdot 0,62 \quad N_{65}=16 \cdot 0,64-78$$

$$N_{65}= 5 \text{ КН} \quad \Sigma x=0; \quad -N_{63}+N_{6п} \cdot \sin \alpha -N_{65} \cdot \cos \alpha+ N_{6п} \cdot \sin \beta=0 \quad N_{63}= 105/(3/4)+105/0,75=280 \text{ КН}$$

Узел 7. (рис. 4)

$$\Sigma x=0; \quad N_{75} \cdot \cos \alpha+ N_{7п} \cdot \cos \beta=0 \quad \Sigma y=0; \quad -N_{76}-F_4-N_{75} \cdot \cos \alpha+ N_{7п} \cdot \cos \beta=0$$



**Рис. 4 - Нумерация усилий в узлах**  
**Fig. 4 - Numbering of forces in nodes**

Сравним значение усилий, вычисленных вручную с полученными на компьютере. Значение усилий, вычисленных вручную с полученными на компьютере приведем в табл. 1. Как видим из табл.1 погрешность небольшая в пределах 5%, что вполне допустимо и дальнейшие расчеты производим на компьютере. Для определения усилий от опорных моментов удобно найти усилия в стержнях фермы от единичного момента, приложенного к левой опоре. Зеркальное отображение этих усилий дает значения усилий в стержнях фермы от единичного момента, приложенного к правой опоре. Усилия от единичных моментов умножаются на соответствующие значения моментов и суммируются.

**Таблица 1. Значение усилий, вычисленных вручную с полученными на компьютере**  
**Table 1. The value of forces calculated manually with those obtained on the computer**

Расчет методом вырезания узлов (ручной способ расчета) Calculation by cutting out nodes (manual calculation method)	Расчет по программе «Лира» с использо- ванием компьютера Calculation using the Lira program using a computer	Погрешность, % Error, %
-146	-145	0,6
-146	-145	0,6
-240	-236	1,7
-153	-153	0
-37	-37	0
-16	-16	0
0	0	0
232	226	1,9
190	180	5
-105	-105	0
12	12	0

$$\delta = (146 - 145) / 145 * 100\% = 0,6\%; \delta = (240 - 236) / 236 * 100\% = 1,7\%; \delta = (190 - 180) / 180 * 100\% = 5\%$$

Для расчета единичный момент заменяется парой сил с плечом, равным расчетной высоте фермы на опоре. Результаты расчета на компьютере приводятся в табличной форме.

**Обсуждение результатов.** Расчетные усилия в стержнях шпренгельной фермы.

При  $L = 18 \text{ м}$ .  $\kappa = 0,2$

$F_1 = F_2 = 37 * 0,2 = 7,4 \text{ Кн}$   $F_3 = 40 * 0,2 = 8 \text{ Кн}$   $F_4 = 78 * 0,2 = 15,6 \text{ Кн}$  - 1-й вариант снеговой нагрузки

$F_1 = F_2 = 40 * 0,2 = 8,4 \text{ Кн}$   $F_3 = 36 * 0,2 = 7,2 \text{ Кн}$   $F_4 = 45 * 0,2 = 9 \text{ Кн}$  - 2-й вариант снеговой нагрузки

$F_1 = 37 * 0,2 = 7,4 \text{ Кн}$   $F_2 = 45 * 0,2 = 9 \text{ Кн}$   $F_3 = 97 * 0,2 = 19,4 \text{ Кн}$   $F_4 = 0 * 0,2 = 0 \text{ Кн}$  - 3-й вариант снеговой нагрузки (рис. 2). Усилия от вариантов снеговой нагрузки при  $\kappa = 0,2$  приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Усилия от вариантов снеговой нагрузки**

**Table 2. 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
			1 вариант	2 вариант	3 вариант	
Верхний пояс Upper chord	2-4	-157	-44.252	-39.515	-55.19	-0,078
	4-5	-157	-44.252	-39.515	-55.19	-0,078
	5-7	-207	-56.642	-43.466	-56.85	-0,298
Стойки Uprights	1-2	-130	-30.6	-28.5	-35.8	0
	3-4	-40	-7.4	-8.4	-12.6	0
	7-6	-5	-1.7333	-0.9	-13.857	
	2 <sup>1</sup> -3 <sup>1</sup>	-25	-5.2857	-4.9333	-6.667	-0,5
	5 <sup>1</sup> -4 <sup>1</sup>	15	-3.36	-3	-4	
	6 <sup>1</sup> -7 <sup>1</sup>	-2	-0.8	-0.72	-1.141	
Нижний пояс Lower chord	1-3	0	0	0	0	0,45
	3-6	90	50.9369	34.2587	66.311	0,084
Раскосы Biases	2-3	155	42.963	38.3636	53.585	0,064
	3-5	-102	-24.489	-18.031	-29.47	0,04
	5-6	10	2.72099	1.12693	9.8239	0,04
	3 <sup>1</sup> -4	48	10.5714	9.86667	13.333	-0,04
	4-4 <sup>1</sup>	-8	-2.856	-2.55	-3.4	0,04
	6 <sup>1</sup> -7	3	1	0.612	-0.97	0,04

2<sup>1</sup>-3<sup>1</sup>; 3<sup>1</sup>-4-элементы шпренгеля

Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы при  $\kappa = 0,2$  приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы**  
**Table 3. Calculated forces in the truss rods**

№ усилий No. of efforts	Растяжение Stretching	№ усилий No. of efforts	Сжатие Compression
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-213
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-213
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-264
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-166
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-53
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-19
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-32
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-19
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-3,5
0	0	0	0
1+3 <sup>й</sup>	157	---	---
1+3 <sup>й</sup>	209	---	---
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-132
1+3 <sup>й</sup>	13	---	---
1+3 <sup>й</sup>	62	---	---
---	---	1+3 <sup>й</sup>	-12
1+1 <sup>й</sup>	4	---	---

При L = 18 м. κ=1

**Таблица 4. Усилия от вариантов снеговой нагрузки**  
**Table 4. Efforts from snow load variants**

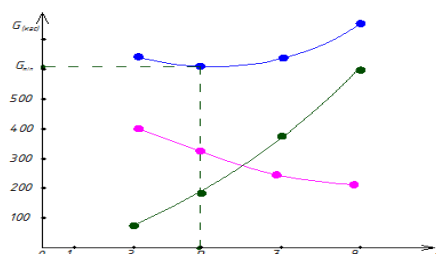
Элемент Element	№ стержней No. of rods	Усилия от постоянной нагрузки Efforts from constant load	Усилия от снеговой нагрузки Efforts from snow load		
			1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
Верхний пояс Upper chord	2-4	-157	-187	-160	-230
	4-5	-157	-133	-116	-163
	5-7	-207	-240	-184	-237
Стойки Uprights	1-2	-130	-153	-142	-180
	3-4	-40	-20	-42	-66
	7-6	-5	-6	-2	-73
	2 <sup>1</sup> -3 <sup>1</sup>	-25	-26	-23	-33
	5 <sup>1</sup> -4 <sup>1</sup>	15	16	14	20
	6 <sup>1</sup> -7 <sup>1</sup>	-2	-4	-3	-4
Нижний пояс Lower chord	1-3	0	0	0	0
	3-6	90	225	183	275
Раскосы Biases	2-3	155	218	190	270
	3-5	-102	-122	-90	-148
	5-6	10	15	3	51
	3 <sup>1</sup> -4	48	53	46	67
	4-4 <sup>1</sup>	-8	-14	-12	-17
	6 <sup>1</sup> -7	3	5	2	-4

Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы при κ=1 приведены в табл. 5.

Как видно из графика (рис.5), самая низкая точка на кривой, соответствующая начальной-минимальной стоимости  $G_{\min}$ - этой величине соответствует  $n_{\text{опт}}$  оптимальное число разнотипных элементов, которое обеспечивает минимальную стоимость.

**Таблица 5. Расчётные усилия в стержнях шпренгельной фермы**  
**Table 5. Calculated forces in the truss rods**

№ усилий No. of efforts	Растяжение Stretching	№ усилий No. of efforts	Сжатие Compression
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-387
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-320
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-444
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-310
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-104
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-78
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-58
1+3 <sup>ii</sup>	35	---	---
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-6
0	0	0	0
1+3 <sup>ii</sup>	365	---	---
1+3 <sup>ii</sup>	425	---	---
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-250
1+3 <sup>ii</sup>	61	---	---
1+3 <sup>ii</sup>	115	---	---
---	---	1+3 <sup>ii</sup>	-25
1+1 <sup>ii</sup>	8	---	---



**Рис. 5 - График для нахождения оптимального числа разнотипных элементов шпренгельной фермы при L=18м**

**Fig. 5 - Graph for finding the optimal number of different types of truss elements for L=18m**

Для данной фермы  $n_{opt}=5$  а минимальный вес  $G_{min}=600$  кгс. Если  $n_{opt}$  не целое число, то принимаем ближайшее к нему что вполне допустимо. Расход стали приведен в табл. 6.

**Таблица 6. Расход стали**  
**Table 6. Steel consumption**

Элемент Element	18м шпренгельная/18m truss		
	длина length	погонный вес linear weight	вес стержня rod weight
Верхний пояс Upper chord	3	8.51	25.53
	3	7.96	23.88
	3	9.65	28.95
Стойки Uprights	2.2	8.37	18.414
	1.2	2.32	2.784
	2.5	3.44	8.6
	1.2	1.85	2.22
	2.5	1.85	4.625
	1.4	1.85	2.59
Нижний пояс Lower chord	1.4	1.85	2.59
	6	6.89	41.34
Раскосы Biases	3.7	7.36	27.232
	2	6.78	13.56
	4	1.85	7.4
	1.2	3.37	4.044
	4	3.37	13.48
	2.2	8.33	18.326

Общая стоимость отправочной марки шпренгельной фермы дана в табл. 7.

**Таблица 7. Общая стоимость отправочной марки шпренгельной фермы**  
**Table 7. Total cost of the truss truss shipping mark**

Показатели Indicators	Число разнотипных элементов/ Number of different elements			
Вес (кг) Weight (kg)	n=3	n=5	n=7	n=9
Решетка Grate	154.4	117.6	113.1	103.1
Пояса Belts	246	207.59	146.5	110
Общий вес (кг) Total weight (kg)	400.4	325.19	259.6	213.1
Стоимость металла, тыс. руб. Cost.	29	39	53	70

**Вывод.** По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны конструктивные и расчетные схемы шпренгельных ферм;
2. Составлены таблицы для определения необходимых параметров конструкций;
3. Составлены графики для нахождения оптимального числа разнотипных элементов при различных нагрузках и длине фермы 18м, по которым можно назначать оптимальное число разнотипных элементов еще на стадии компоновки фермы.

#### Библиографический список:

1. А.К. Юсупов. Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании. 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. В.М. Клыков, Я.М. Лихтарников, Москва, 1995 г.
5. Металлические конструкции. Справочник под редакцией Мельникова С.П., Москва, 1982 г.
6. Примеры расчета металлических конструкций. А. Михайлов, Москва, 1982 г.
7. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Свод правил – Москва, Стройиздат, 2017 г. – 126 с.
8. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Свод правил – Москва, Стройиздат, 2016 г. – 95 с.
9. Справочник конструктора «Стальные конструкции». Под ред. Шумакова, Академия, Москва, 2004.
10. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные
11. ГОСТ 26020-83 Двутавр нормальный (Б)
12. ТУ 14-2-685-86 Тавр (ШТ)

#### References:

1. A.K. Yusupov. Metal Structures: Questions, Answers, and Design. 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, A.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)

#### Сведения об авторах:

Абусупян Курашевич Юсупов, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; [hairulla213@mail.ru](mailto:hairulla213@mail.ru)

Хайрулла Магомедмурадович Муселемов, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; [hairulla213@mail.ru](mailto:hairulla213@mail.ru)

Раджаб Исабекович Вишталов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; [hairulla213@mail.ru](mailto:hairulla213@mail.ru)

Зубаир Абдулмеджидович Гаджиев, студент, [gadzievzubair56@mail.ru](mailto:gadzievzubair56@mail.ru)

#### Information about the authors:

Abusupyan K. Yusupov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures; [hairulla213@mail.ru](mailto:hairulla213@mail.ru)

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

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

Zubair A. Gadzhiev, Student, [gadzievzubair56@mail.ru](mailto: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 30.03.2025.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.04.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 14.07. 2025.