

**Губайдуллин Тимур Ильшатovich,**  
магистрант  
Уфимский государственный нефтяной  
Технологический университет

**Ахмадуллин Ришат Рашитович**  
Кандидат технических наук, доцент  
Уфимский государственный нефтяной  
Технологический университет

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЫСОТЫ СТАЛЬНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ ЗДАНИЙ

**Аннотация.** Представлены результаты параметрического исследования стальных стропильных конструкций покрытий с пролётами 24-60 м. На основе 99 расчётных моделей в ПК SCAD++ для четырёх типов конструкций (фермы с параллельными поясами, треугольной, полигональной и арки с затяжкой) установлены количественные значения рациональной относительной высоты  $h/L$ , обеспечивающие минимум массы.

**Ключевые слова:** Стальные конструкции покрытий; большепролётные здания; стропильные фермы; трёхшарнирная арка; оптимизация; расход стали; относительная высота; гнутосварные профили; параметрический анализ.

### Введение

Стальные конструкции покрытия составляют 60-70 % металлоёмкости каркаса, поэтому выбор схемы и геометрии стропильной конструкции во многом определяет экономику проекта [1]. Справочные рекомендации ( $h = L/8 \dots L/12$  для ферм с параллельными поясами,  $f = L/5$  для арок [1, 2]) формировались для уголковых сечений и не всегда корректны для замкнутых гнутосварных профилей по ГОСТ 27579–88 [6] из-за дискретности сортамента [4].

Цель работы – установить рациональные значения  $h/L$  для четырёх типов стропильных конструкций при пролётах 24, 36, 48 и 60 м и сопоставить их с традиционными рекомендациями [1, 2, 5].

### Методика исследования.

Для каждого из четырёх типов конструкций и каждого пролёта (24, 36, 48, 60 м) сформированы серии моделей с шагом по высоте 0,5 м – всего 99 расчётных схем, выполненных в ПК SCAD++ [8]. Унифицированные условия: шаг ферм 6 м; г. Уфа (V снеговой район,  $S_0 = 2,5$  кН/м<sup>2</sup>); сечения – квадратные гнутосварные профили [6]; сталь С255; подбор по СП 16.13330.2017 [7]. Критерий оптимальности – минимум суммарной массы  $G_{\text{сумм}}$  при выполнении всех нормативных проверок [7].

### Рациональные значения относительной высоты

Полученные значения  $h/L$ , при которых достигается минимум массы, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рациональные значения  $h/L$

Тип конструкции	$L=24$ м	$L=36$ м	$L=48$ м	$L=60$ м
Ферма с параллельными поясами	1/6	1/9	5/48	1/12
Треугольная ферма	3/16	1/8	11/96	1/10



Тип конструкции	$L=24$ м	$L=36$ м	$L=48$ м	$L=60$ м
Полигональная ферма	1/8	1/8	5/48	1/10
Арка трёхшарнирная ( $f/L$ )	1/6	1/8	1/8	7/60

С ростом пролёта рациональное  $h/L$  закономерно снижается: для ферм с параллельными поясами – с 1/6 до 1/12. С увеличением высоты длина раскосов растёт пропорционально, и масса решётки начинает компенсировать снижение массы поясов [1, 4].

Чувствительность массы к выбору высоты различна: для ферм с параллельными поясами и арок отклонение от оптимума даёт перерасход до 20–40 %, для полигональных ферм – менее 5 % при отклонении  $\pm 15$  % [4, 5].

#### Сопоставление с традиционными рекомендациями

Для ферм с параллельными поясами рекомендация  $h = L/8 \dots L/12$  [1, 2] подтверждается при  $L = 36–60$  м, но при  $L = 24$  м оптимум смещается к 1/6. Для арок рекомендация  $f/L = 1/5 \dots 1/8$  [2, 3] подтверждается частично. Для треугольных ферм традиционная высота  $h = L/3 \dots L/5$  [1, 5] оказалась **завышенной**: при таких значениях масса конструкции на 25–40 % выше оптимальной; рациональные значения  $h/L = 1/10 \dots 3/16$ .

#### Сопоставление типов по металлоёмкости

Минимальная масса конструкций в точках оптимума приведена в таблице 2.

Таблица 2

Минимальная масса в рациональных вариантах, т

$L$ , м	Парал. пояса	Треугольная	Полигональная	Арка
24	1,47	1,49	1,50	<b>1,16</b>
36	3,49	3,92	3,93	<b>2,83</b>
48	7,13	8,29	8,16	<b>4,90</b>
60	12,57	14,79	14,42	<b>8,30</b>

Превышение массы ферменных вариантов относительно арки нарастает с 27 % при  $L = 24$  м до 51 % при  $L = 60$  м. Полигональная ферма не показала ожидаемого преимущества перед фермой с параллельными поясами: разница не превышает 3 % и укладывается в погрешность дискретного подбора по сортаменту [6]. Теоретическая экономия 7–10 %, отмеченная в [1, 2], при использовании квадратных труб не реализуется.

#### Заключение

Установлены количественные значения рациональной относительной высоты  $h/L$  для четырёх типов стропильных конструкций при пролётах 24–60 м; с ростом пролёта оптимум  $h/L$  снижается. При использовании квадратных гнutosварных профилей по ГОСТ 27579–88 [6] полигональные фермы не имеют преимущества перед фермами с параллельными поясами, а арка с затяжкой даёт минимальную массу – её преимущество нарастает с пролётом от 21 до 34 %, но достигается ценой существенно более сложного изготовления и монтажа.



Наиболее технологичной остаётся ферма с параллельными поясами благодаря однотипным узлам и прямолинейным поясам. С учётом совокупности факторов при пролётах 24–36 м целесообразно применять фермы с параллельными поясами, а при пролётах 48–60 м – арку с затяжкой при наличии возможностей её качественного изготовления

**Список литературы:**

1. Беленя Е.И. Металлические конструкции: учебник для вузов / Е.И. Беленя [и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 688 с.
2. Мельников Н.П. Металлические конструкции: справочник проектировщика / Н.П. Мельников. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.
3. Демина А.В. Здания с большепролётными покрытиями: учеб. пособие / А.В. Демина. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2003. – 80 с.
4. Колотов О.В. Стальная стропильная ферма покрытия: учеб.-метод. пособие / О.В. Колотов, В.В. Пронин. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2020. – 96 с.
5. Трофимов В.И. Металлические конструкции (включая сварку): учебник / В.И. Трофимов, А.И. Каминский. – М.: АСВ, 2002. – 680 с.
6. ГОСТ 27579-88. Фермы стальные стропильные из гнутосварных профилей прямоугольного сечения. Технические условия.
7. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*.
8. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. Справочник

