

УДК 624.04

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМЫ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ  
ИЗ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ**

***Зернов Владимир Викторович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».*

***Зайцев Михаил Борисович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».*

**Аннотация**

Представлена методика определения слабых частей ферм на основе анализа схемы деформаций при потере устойчивости. Показано практическое использование этого анализа для выявления наиболее рациональной схемы усиления металлических ферм.

**Ключевые слова:** металлическая ферма, критическая нагрузка, потеря устойчивости, схема деформаций, рациональное усиление

**THE SCHEME OF DEFORMATION TO DETERMINE THE RATIONAL  
METHOD OF STRENGTHENING OF METAL TRUSSES FROM THE  
STABILITY CONDITION**

***Zernov Vladimir Victorovich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of department “Mechanics”.*

***Zaytsev Mihail Borisovich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of department “Mechanics”.*

## **Annotation**

The technique of determination of weak parts of farms on the basis of the analysis of the scheme of deformations at loss of stability is presented. Practical use of this analysis for revealing of the most rational scheme of strengthening of metal farms is shown.

**Keywords:** metal truss, critical load, buckling, deformation scheme, rational amplification.

Увеличение нормативного значения снеговой нагрузки в новой редакции строительных норм, физический износ существующих конструкций зданий и сооружений, увеличение эксплуатационных нагрузок, связанных с реконструкцией, увеличение технологических нагрузок при замене устаревшего оборудования – все эти факторы являются основной причиной общего усиления конструкций.

Выбору того или иного способа усиления металлических ферм предшествует проверка несущей способности не усиленной фермы, т.е. статический расчет и расчет на устойчивость.

Подбор наиболее рациональной схемы усиления сжатых элементов металлических ферм определяется видом их предельного состояния (прочность, устойчивость или деформации), условием нагружения, соотношениями и значениями жесткостей.

Известно [1-4], что различные сжатые стержни фермы не одинаково эффективно участвуют в обеспечении ее общей устойчивости. Это положение является основным теоретическим обоснованием выбора рациональной схемы усиления с точки зрения устойчивости и наибольшего увеличения параметра критической нагрузки.

В связи с этим, при принятии решения о выборе рациональной схемы усиления, требуется определить те части и элементы фермы, усиление которых в наибольшей степени повлияет на повышение устойчивости всей конструкции, определяемой параметром критической нагрузки.

Известны несколько способов нахождения наиболее слабых частей и элементов стальных ферм [1, 5, 8]. Самый практичный метод - использование схемы деформаций фермы в критическом состоянии.

Представим алгоритм метода.

1. Статический расчет фермы и определение соотношений между продольными силами в элементах.

2. Расчет фермы на общую устойчивость и определение параметра критических сил [6].

3. Определение углов поворота узлов в критическом состоянии и построение формы потери устойчивости, которая определяет наиболее слабые части (стержни) фермы.

Пример.

Рассмотрим стропильную ферму покрытия цеха локомотивного депо станции Пенза-I. На рисунке 1 представлена ее схема деформаций в критическом состоянии при потере устойчивости, полученная при помощи программного средства [7].

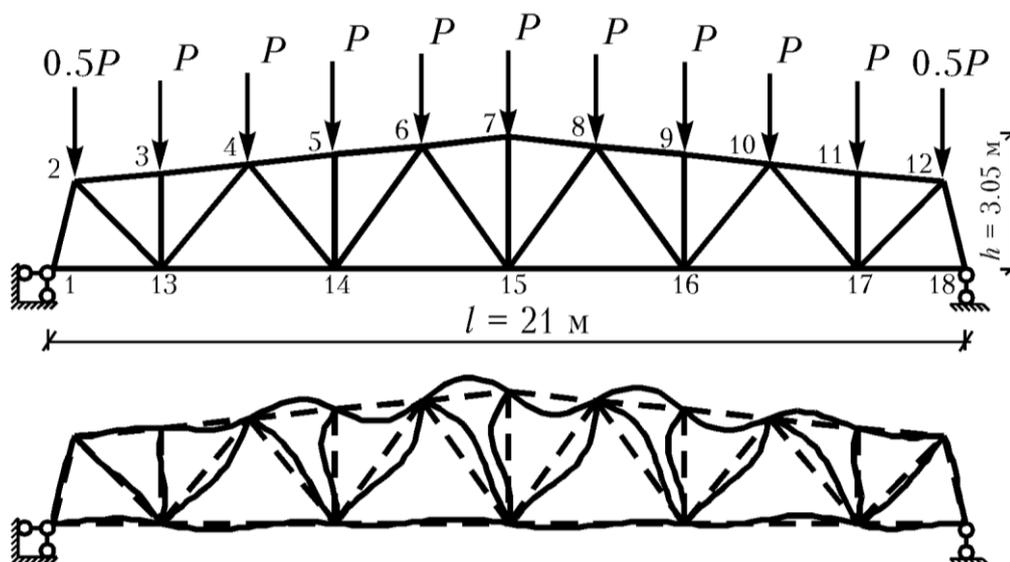


Рисунок 1 – Расчетная схема фермы и форма потери устойчивости

Таблица 1. Характеристики стержней фермы.

| Элементы фермы  | $E$ , ГПа | $I$ , см <sup>4</sup> | $A$ , см <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Верхний пояс    | 210       | 233.3                 | 46.72                 |
| Нижний пояс     | 210       | 109.28                | 27.86                 |
| Сжат. раскосы   | 210       | 109.28                | 27.86                 |
| Растян. раскосы | 210       | 109.28                | 27.86                 |
| Опорный раскос  | 210       | 109.28                | 27.86                 |
| Стойки          | 210       | 22.4                  | 9.6                   |

Очевидно, что наиболее слабыми с точки зрения устойчивости являются элементы верхнего пояса и сжатые раскосы средних панелей и их усиление (например, увеличение сечений) приведет к наибольшему повышению критической нагрузки.

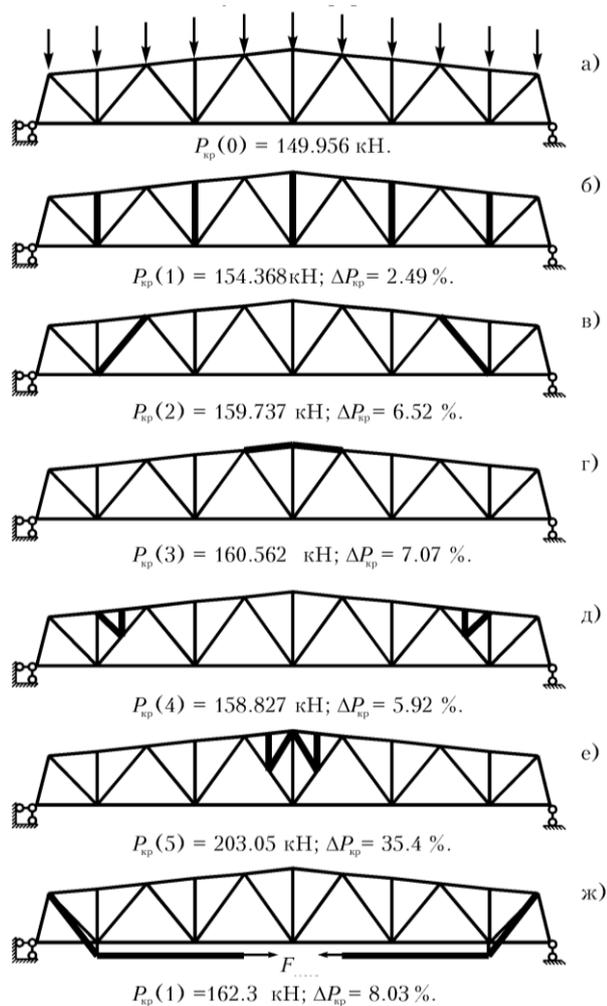


Рисунок 2 – Схемы усиления фермы

В результате определения несущей способности фермы с точки зрения потери устойчивости при нескольких способах усиления (рисунок 2) получены следующие результаты:

**1 способ** (рисунок 2б). Результаты усиления фермы способом увеличения жесткостей стоек изображены на рисунке 3.

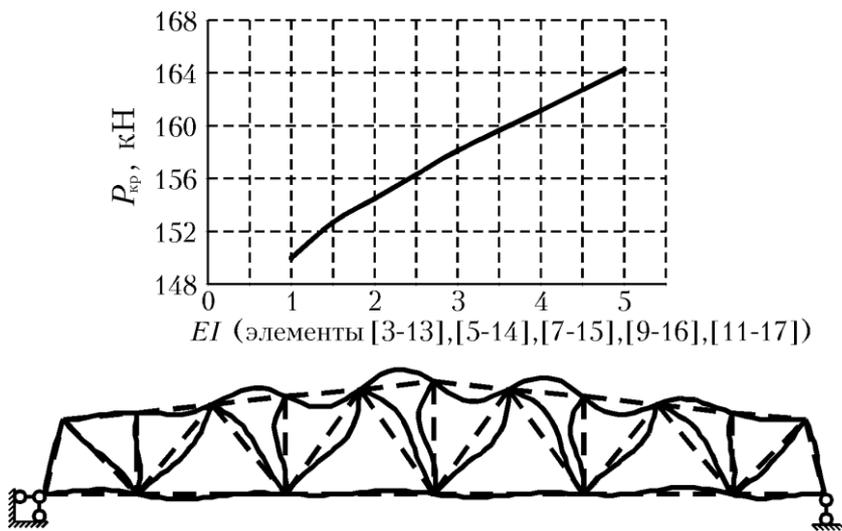


Рисунок 3. Зависимость параметра критической нагрузки от жесткости стоек

**3 способ.** При усилении фермы увеличением сечений стержней верхнего пояса получены результаты, изображенные графически на рисунке 4.

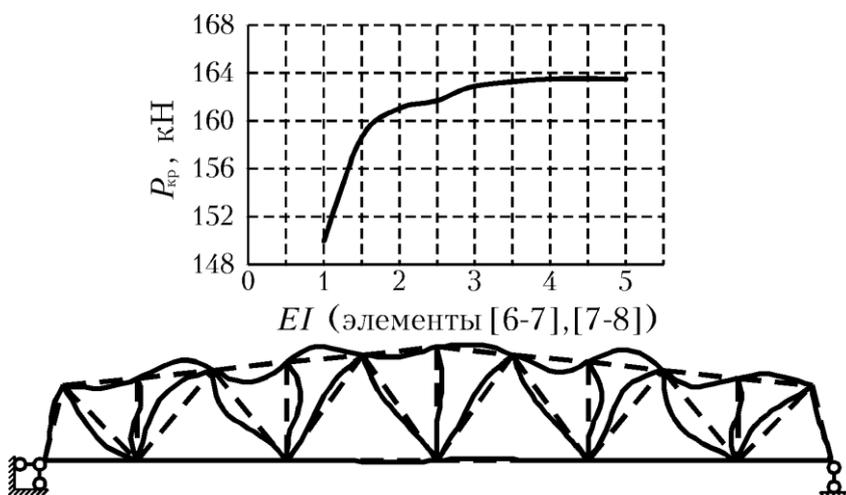


Рисунок 4 – Зависимость параметра критической нагрузки от жесткости элементов верхнего пояса

**5 способ** (рисунок 5). Уменьшение расчетной длины стержней средних панелей верхнего пояса за счет постановки шпренгелей повысило значение параметра нагрузки на 35.4 %.

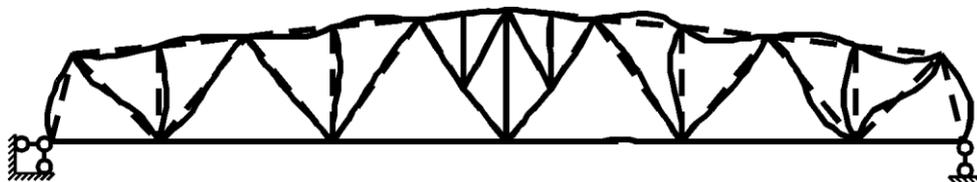


Рисунок 5 – Схема потери устойчивости

### **Выводы:**

1. Представленная методика позволяет выявлять слабые части и элементы металлических ферм, усиление которых приведет к наибольшему увеличению критической нагрузки.

2. На основе анализа схемы деформаций при потере устойчивости можно успешно решить вопрос о выборе наиболее рациональной схемы усиления.

### **Библиографический список:**

1. Раевский А.Н., Зайцев М.Б. Проверка несущей способности металлических ферм с учетом искривлений отдельных элементов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1999. № 12.

2. Ласьков Н.Н., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение критической нагрузки для стропильных ферм в упругой упруго-пластической стадиях работы // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4.

3. Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение предельной нагрузки для сжатого искривленного стержня фермы с учетом развития пластических деформаций сечения и реальных условий закрепления в узлах [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №2. Систем.

требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/2.17/view>

4. Монахов В.А., Зайцев М.Б., Бураева Д.А. Методы численного расчета сжатых стержней на устойчивость [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnaya-mehanika/4.5/at\\_download/file](http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnaya-mehanika/4.5/at_download/file)

5. Шейн А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Некоторые причины отказа строительных конструкций // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т.8. №6(37). С. 88.

6. Монахов В.А., Зайцев М.Б. Расчет стержневых систем с использованием теории графов в среде «Matlab» [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnaya-mehanika/3.13/at\\_download/file](http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnaya-mehanika/3.13/at_download/file).

7. Зернов В.В., Зайцев М.Б., Анурьева Ю.В. Анализ устойчивости стержневых систем в упруго-пластической стадии работы [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №6. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no6/stroitelnaya-mehanika/6.4/at\\_download/file](http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no6/stroitelnaya-mehanika/6.4/at_download/file)

8. Шейн А.И., Бакушев С.В., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Опыт обследования зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №5. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.16/at\\_download/file](http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.16/at_download/file)