

УДК 624.042.8

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ СЖАТОГО  
ИСКРИВЛЕННОГО СТЕРЖНЯ ФЕРМЫ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ  
ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ СЕЧЕНИЯ И РЕАЛЬНЫХ  
УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ В УЗЛАХ**

***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**

Показана методика определения предельной нагрузки для сжатого искривленного стержня фермы с учетом развития пластических деформаций сечения и жесткости узловых сопряжений. Представлены зависимости для определения параметра  $P_{кр}$ , соответствующего несущей способности всей фермы.

**Ключевые слова:** металлическая ферма, изгибная жесткость, пластическая деформация, жесткость узловых сопряжений, критическая сила

**THE DEFINITION OF LIMIT LOADS FOR COMPRESSED CURVED  
TRUSS ROD WITH THE DEVELOPMENT OF PLASTIC DEFORMATION  
SECTION AND THE ACTUAL CONDITIONS OF CONSOLIDATION IN  
THE NODES**

***Zernov Vladimir Victorovich,***

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

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

**Zaytsev Mihail Borisovich,**

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

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department "Mechanics".*

## **Abstract**

The method of determining the limiting load for compressed curved truss rod with the development of plastic deformations of the cross-section and stiffness nodal mates. Dependences for determining the parameter RRC, the corresponding bearing capacity of the entire farm.

**Keywords:** steel truss, Flexural rigidity, plastic deformation, stiffness nodal mates, critical force

Элементы реальных стержневых конструкций работают как сжато-изогнутые за счет неизбежных отклонений от идеальной прямолинейной схемы. Поэтому при анализе фактической работы конструкций необходим учет начальных несовершенств, действительной диаграммы работы материала и т.д.

При натурных обследованиях стропильных ферм часто встречаются погибы и искривления сжатых элементов. Эти искривления могут быть весьма значительными, со стрелкой  $f$  до 50-70 мм, которые превышают нормативные значения по СНиП (I/750) в 4-5 раз. Особенно опасными являются погибы и искривления сжатых раскосов и стоек в средней части ферм, хотя они не являются самыми напряженными, но гибкости этих элементов, как правило, значительно больше, чем у остальных.

При циклическом воздействии внешних нагрузок [3] и больших начальных искривлениях стержней величины прогибов (искривлений) и напряжений достигают больших значений, увеличивающихся со временем. Вследствие этого стержни начинают работать, как внецентренно сжатые, а краевые напряжения в зависимости от погнутостей увеличиваются почти в 2 раза.

Несущая способность металлических стропильных ферм определяется главным образом из условия потери устойчивости всей фермы, как стержневой системы с жесткими узлами. Поставим задачу проверки несущей способности ферм из условия прочности и устойчивости с учетом жесткости узлов и искривлений некоторых элементов, определенных натурными измерениями при обследовании. При этом такие элементы должны быть представлены как сжато-изогнутые со стрелкой начального искривления  $f_0=f$ . Для таких элементов расчетная изгибная жесткость должна быть определена с учетом искривлений и развития пластических деформаций по сечению.

В сварных фермах точки перегиба упругой линии на искривленном элементе не совпадают с узлами, а начальное искривление, отнесенное к участку длины между точками перегиба, оказывается значительно меньшим. Все это способствует некоторому повышению несущей способности искривленного элемента с жесткими узлами по сравнению с несущей способностью столь же искривленного элемента, но с шарнирно опертыми концами.

Покажем способ определения несущей способности фермы при учете жесткости узловых сопряжений. Вначале предполагается, что наиболее напряженный элемент принимается искривленным в плоскости фермы и развитие пластических деформаций возможно только в этом элементе.

Известно [1], что предельная нагрузка на сжато-изогнутый стержень может быть получена из условия устойчивости абсолютно прямого стержня, имеющего сечение, равное упругому ядру сжато-изогнутого стержня (2-е расчетное сечение). Поэтому, предельное состояние стержневой системы, обусловленное несущей способностью искривленного элемента, имеет вид:

$$P_{пр} = P_{кр}, \quad (1)$$

где  $P_{пр}$  – предельная сила для искривленного упруго защемленного стержня;  
 $P_{кр}$  – критическая сила для системы, определенная из условия устойчивости с использованием упругих ядер.

Рассмотрим характер искривления пояса при приложении поперечной нагрузки и развитие этих искривлений при последующем действии внешней нагрузки. Если приложить в средней части панели пояса сосредоточенную поперечную нагрузку, то ввиду неразрезности пояса его ось будет искривляться с двумя точками перегиба.

Такие стержни работают как некоторая часть более длинного стержня с заземленными концами (рисунок 1,а).

От действия в поясе продольных усилий на искривленной панели образуется эпюра изгибающих моментов, повторяющая в определенном масштабе очертание оси панели (рисунок 1,а).

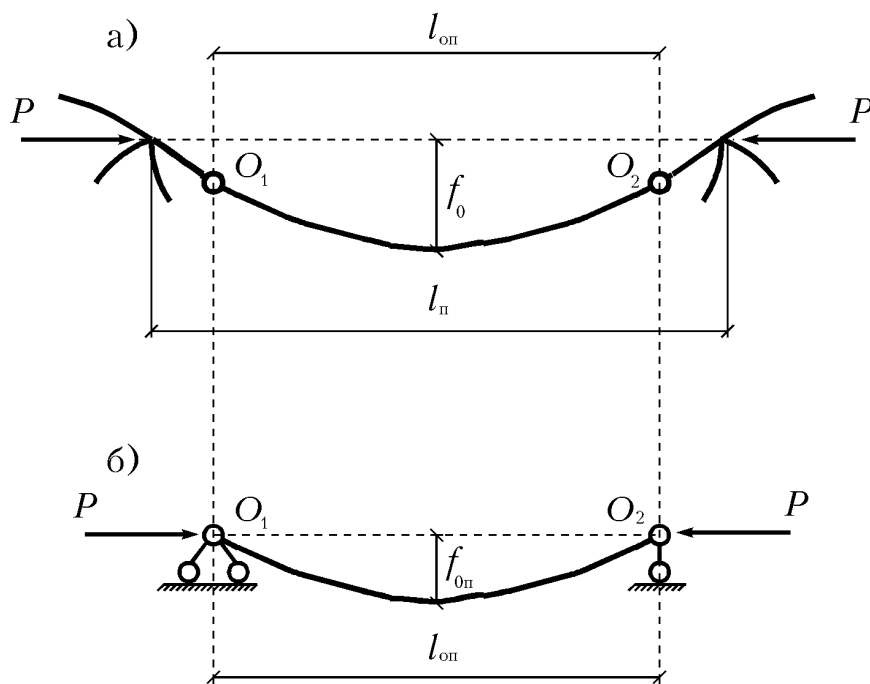


Рисунок 1 – Сжато-искривленный стержень фермы

Как показывают эксперименты, при возрастании продольной силы ординаты эпюры моментов увеличиваются, но положение нулевых точек мало изменяется. При образовании пластических зон точки перегиба упругой линии сближаются на весьма малую величину. Этот экспериментальный результат объясняется тем, что на форму первоначального искривления уже оказывали влияние развивавшиеся при этом пластические деформации.

Учитывая практически неизменное положение точек перегиба упругой линии, представляется возможным предельную нагрузку  $P_{пр}$  определить из рассмотрения части длины панели, заключенной между этими точками, т.е. из рассмотрения шарнирно опертого искривленного стержня.

Определение предельного состояния конструкции производится методом последовательных приближений. Можно задаться положением точек перегиба упругой линии, или сечением упругого ядра искривленного элемента. Приведем последовательность второго решения: задаемся величиной момента инерции упругого ядра и, заменив искривленный элемент прямым, но с сечением, равным упругому ядру, решаем задачу устойчивости в упругой постановке.

В первом приближении принимаем для всех элементов фермы моменты инерции сечений в упругой стадии работы, т.е.  $k''=1$  и тогда имеем:

$$I_{расч} = I_{упр.ядра} \cdot k'' \quad (2)$$

В формуле (2) коэффициент  $k''$  физически означает относительную долю момента инерции упругого ядра в наиболее напряженном сечении изогнутого стержня, который соответствует второму расчетному сечению [1].

Далее производится расчет на устойчивость и для искривленного стержня определяются  $N_{(jt)кр}$ ,  $\nu_{(jt)кр}$ , а далее расчетная длина  $l_0$  и гибкость  $\lambda_{(jt)}$ .

С другой стороны несущая способность искривленного сжатого стержня фермы можно определить известными методами или по СНиП [2], как  $N_{пр}$  для внецентренно сжатого стержня с относительным эксцентриситетом

$$m = e_0 \frac{A}{W_{min}} = f_{0,p} \frac{A}{W_{min}},$$

где  $f_{0,p}$  – первоначальная стрела искривления сжатого стержня фермы, соответствующая расчетной длине  $l_0$ , которая получается при расчете всей фермы на устойчивость (рисунок 1,б). Она может быть определена как часть синусоиды по формуле

$$f_{0,p} = f_0 \left[ 1 - \frac{1}{2} \sin \pi \frac{l_n - l_0}{2l_0} \right].$$

По этим параметрам предельное значение  $N_{np}$  можно представить в виде:

$$N_{(jt)np}^* = \varphi_e R_y A, \quad (3)$$

где  $\varphi_e$  можно определить по таблицам.

Аналитически  $\varphi_e$  можно вычислить из уравнения

$$\lambda^2 = \frac{\pi^2 E}{\varphi_e \sigma_{\square}} \left( 1 - \frac{m \eta \chi \varphi_e}{1 - \varphi_e} \right),$$

решение которого дает выражение:

$$\varphi_e = \frac{1}{2} [(1 + m_{np}) \gamma + 1] - \sqrt{\frac{1}{4} [(1 + m_{np}) \gamma + 1]^2 - \gamma}, \quad (4)$$

здесь 
$$m_{np} = m \chi \eta, \quad \gamma = \frac{\sigma_{np}^y}{\sigma_{\square}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 \sigma_{\square}};$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций в сечении;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий форму сечения и вычисляется по формуле

$$\eta = (1.25 - 0.005m) - 0.01(5 - m)\bar{\lambda}$$

в том случае, если отношение площади полки ( $A_f$ ) к площади стенки ( $A_w$ ) в пределах  $0,5 \div 1$ . Если отношение  $A_f / A_w \geq 1$ , то

$$\eta = (1.5 - 0.1m) - 0.01(5 - m)\bar{\lambda},$$

где  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{\sigma_{\tau}}{E}}$  – условная гибкость.

Таким образом, в каждом цикле итерации, варьируя значением  $k''$ , определяются значения  $N_{кр}$  и  $N_{(jt)np}^*$ , добиваясь их равенства:

$$N_{(jt)np}^* = N_{кр} \quad (5)$$

При удовлетворении равенства (5) определяется параметр  $P_{кр}$ , соответствующий несущей способности всей фермы с учетом искривления отдельных элементов и реальной жесткости узлов.

### **Библиографический список:**

1. Геммерлинг А.В. Расчет стержневых систем. М.: Стройиздат, 1974. 207 с.
2. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. М.: ЦИТП, 1990. 96 с.
3. Зернов В.В., Зайцев В.В., Азимова Я.А. Способ усиления железобетонной рамы под нагрузкой [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №1. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/at_download/file)
4. Земцова О.Г., Володин В.А. Комплексы программ, применяемые для моделирования и расчета конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №1. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/kompleksy-programm-primenyaemye-dlya-modelirovaniya-i-rascheta-konstrukcii-zdaniy-i-sooruzhenii/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/kompleksy-programm-primenyaemye-dlya-modelirovaniya-i-rascheta-konstrukcii-zdaniy-i-sooruzhenii/at_download/file)