

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОМБИНИРОВАННОЙ АРОЧНОЙ СТСТЕМЫ

**П.М. Сингаевский**

(Одесская Государственная Академия Строительства и Архитектуры,  
г. Одесса, Украина)

**А. Р. Шендеров**

(Одесская Государственная Академия Пищевых Технологий,  
г. Одесса, Украина)

Описание экспериментальной модели комбинированной арочной системы и принципиальное решение узлов приведено в [1]. Принятые в [1] допущения при расчете модели:

1. Панели верхнего пояса (участки между точками закрепления к нему гибких элементов решетки) приняты прямолинейными. Узлы ломаного верхнего пояса лежат на оси, описываемой уравнением квадратной параболы с соотношением подъема к пролету  $1/6$ .
2. Равномерно распределенная по пролету нагрузка приведена к узловой, приложенной в узлах жесткого верхнего пояса.
3. Внешне конструкция статически определима, одна из опор шарнирно-подвижная.
4. Устойчивость конструкции из ее плоскости обеспечена.
5. Расчет экспериментальной конструкции выполнялся по недеформированной схеме.
6. Расчетная длина верхнего пояса в плоскости арочной системы равна расстоянию между узлами (длине панели).

В настоящей работе уточняются 2 теоретических допущения, принятых в [1], а именно 5 и 6, и сопоставляются эти уточнения с данными эксперимента.

Исследование устойчивости стержневой системы проведено методом конечных элементов. Согласно методике, приведенной в [2], уравнение равновесия конструкции имеет вид

$$\left( [\bar{K}] - [\bar{T}_y] \right) * \{ \bar{\Delta} \} = \{ \bar{P} \}, \quad (1)$$

где  $\{ \bar{\Delta} \}, \{ \bar{P} \}$  - вектора узловых перемещений и сил соответственно;

$[\bar{K}]$  - матрица жесткости системы;

$[\bar{T}_y]$  - матрица геометрической жесткости системы, учитывающая влияние

продольных сил на перемещение.

Матрица геометрической жесткости системы  $[\bar{T}_y]$  формируется из матриц геометрической жесткости отдельных элементов  $[T_y]$ , по правилу, аналогичному формированию матрицы жесткости системы  $[\bar{K}]$  из матриц жесткости отдельных элементов  $[K]$ .

Для конечного элемента плоской стержневой системы матрица геометрической жесткости имеет вид

$$[T_y] = T \begin{bmatrix} 6/5L & & & \\ -1/10 & 2L/15 & & \\ 6/5L & -1/10 & 6/5L & \\ -1/10 & -L/30 & -1/10 & 2L/15 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $T$  - продольная сжимающая сила;  $L$  - длина элемента.

Вместо сжимающей силы  $T_i$  для  $i$ -го конечного элемента введем величину

$$T_i = t_0 \tau_i, \quad (3)$$

где  $\tau_i = T_i / t_0$ , а  $t_0$  - некоторая величина, имеющая размерность силы и являющаяся в дальнейшем силовым параметром.

С учетом (3), при  $\{\bar{P}\} = 0$ , можно представить (1) в виде

$$([\bar{K}] - t_0[\bar{T}_0]) * \{\bar{\Delta}\} = 0 \quad (4)$$

Приравняв нулю определитель однородной системы (4), получаем уравнение устойчивости конструкции

$$|[\bar{K}] - t_0[\bar{T}_0]| = 0 \quad (5)$$

Варьируя значение параметра  $t_0$ , находят минимальное значение корня, являющегося критическим параметром системы. Зная величину критического параметра находят значение критических сил в стержнях и соответствующие коэффициенты запаса устойчивости каждого стержня.

Одним из соавторов статьи разработана программа для IBM PC, реализующая описанный выше алгоритм, и проведены численные исследования комбинированной арочной системы.

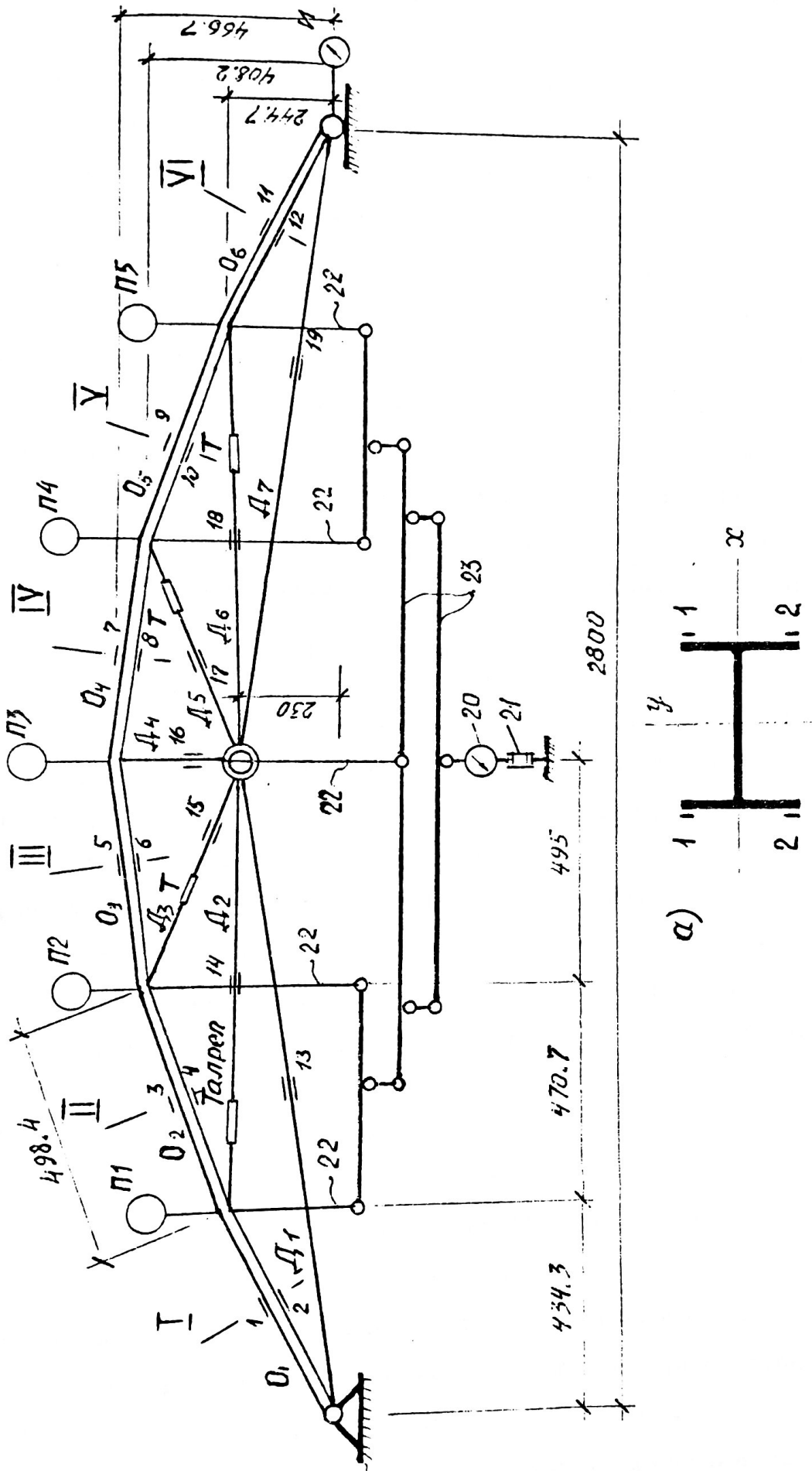


Рис. 1. Схема опытной комбинированной арочной системы и расположения измерительных приборов.

O<sub>1</sub>÷O<sub>6</sub> - панели верхнего пояса; Д<sub>1</sub>÷Д<sub>7</sub> - элементы гибкой решетки; Т - талрепы; П<sub>1</sub>÷П<sub>5</sub> - прогибометры; И - индикатор; 20 - динамометр; 21 - натяжной винт; 22 - подвески рычажной системы; 23 - система рычагов; а - схема расположения тензорезисторов в сечениях I÷VI верхнего пояса.

Теоретическое значение критической силы для исследуемой конструкции получено в элементе верхнего пояса  $O_3$  (рис.1), величина которой соответствовала распределенной нагрузке 9,1 Н/см.

Исчерпание несущей способности испытываемой конструкции произошло при нагрузке 9,3 Н/см. Попытка дальнейшего увеличения нагрузки привела к искривлению верхнего пояса по форме синусоиды с точками перегиба в узлах, а показание по динамометру, контролирующему величину нагрузки, резко уменьшилось. При этом максимальные напряжения в стержне  $O_3$ , вычисленные по усилиям в деформированной схеме, так и полученные в эксперименте не превышали 85 МПа. Расчетное сопротивление  $R_y$  алюминиевого сплава, из которого изготовлен двутавр для верхнего пояса, определенное по условному пределу текучести  $\sigma_{02}$  равно 110 МПа. Таким образом можно утверждать, что потеря несущей способности экспериментальной конструкции наступила в связи с потерей устойчивости верхнего пояса, что подтверждается расчетом.

Численное значение критической силы в сжато-изогнутом элементе верхнего пояса  $O_3$  позволяет уточнить коэффициент приведения длины наиболее нагруженного элемента.

#### Выводы

1. Методика расчета плоских стержневых систем на продольно-поперечный изгиб, а также программа, реализующая эту методику, позволят определять критическую силу, критическую нагрузку и коэффициент запаса устойчивости каждого стержня. Это дает возможность более рационально распределять материал по элементам конструкции.
2. Для такой относительно гибкой конструкции учет ее работы по деформированной схеме в большей мере проявляется в увеличении продольных сил, нежели изгибающих моментов.
3. Расчет критической нагрузки показал, что величина коэффициента приведенной длины панели верхнего пояса равна 0,85 в отличие от принятой в допущении и равной 1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сингаевский П. М. Экспериментальные исследования модели комбинированной арочной системы. Сборник докладов Международного симпозиума "Современные строительные конструкции из металла и древесины". - Одесса, 1997.- с.213-218.
2. Постнов В. А. Численные методы расчета судовых конструкций. Ленинград, "Судо-строение", 1977, 280 с.