

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ КОМБИНИРОВАННОЙ АРОЧНОЙ СИСТЕМЫ

П. М. Сингаевский

/Одесская Государственная Академия Строительства и
Архитектуры, г.Одесса, Украина/

Идея создания комбинированных арочных систем и основные принципы их расчета принадлежат почетному академику В.Г.Шухову, доказавшему перспективность ферм с параболическим жестким верхним поясом и гибкой решеткой, и осуществившему в начале нынешнего столетия для сравнительно небольших пролетов их применение при перекрытии зданий ГУМа и Пассажа в г. Москве. Исследования ЦНИИПСК по дальнейшему развитию и совершенствованию ферм такого типа показывают возможность эффективного применения их для перекрытия пролетов до 200 м /проект покрытия стадиона "Динамо" в г. Москве, пролет 180 м, авторы Г.Д.Попов и С.С.Матвеев, 1958 г./.

Комбинированные фермы с жестким верхним поясом и гибкой решеткой в достаточной степени отвечают требованиям создания конструкций выпуклого покрытия большого пролета с наименьшим расходом материала, так как криволинейный верхний пояс создает условия для уменьшения воздействия на покрытие снеговых и ветровых нагрузок. Рациональный выбор очертания верхнего пояса позволяет существенно снизить в нем изгибающие моменты, а гибкая предварительно напряженная решетка, регулируя усилия в элементах фермы, создает для верхнего пояса дополнительные опоры в местах примыкания к нему, уменьшая тем самым его расчетную длину.

Исследования действительного напряженно-деформированного состояния таких систем получили дальнейшее развитие на кафедре металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Одесской Госакадемии Строительства и Архитектуры в работах Е.Н.Кожевникова и А.В.Мищенко [1], [2], [3], [4], [5].

Основными задачами экспериментальных исследований в настоящей работе являются:

1. Проверка сохранения расчетной схемы конструкции в нагруженном состоянии до потери прочности /или устойчивости/ верхним поясом, иначе говоря сохраняется ли работоспособность гибких элементов решетки на всех этапах нагружения.

2. Экспериментальная проверка одного из теоретических предположений - расчетной длины верхнего пояса в плоскости комбинированной арочной системы. Это может быть первым приближением, так как вопрос

устойчивости /критической нагрузки/ для таких конструкций пока не рассматривался.

3. Определение резерва несущей способности конструкции.

В настоящем экспериментальном исследовании рассматривается случай, когда:

- а/ равномерно распределенная по пролету нагрузка приведена к узловой;
- б/ панели верхнего пояса прямолинейны. Узлы ломаного верхнего пояса лежат на оси, описываемой уравнением квадратной параболы с соотношением подъема к пролету $f/l = 1/6$;
- в/ внешне конструкция статически определима, одна из опор шарнирно-подвижная;
- г/ устойчивость конструкции из плоскости обеспечена;
- д/ расчет экспериментальной конструкции выполнялся по недеформируемой схеме.

Экспериментальные исследования модели комбинированной арочной системы были выполнены в лаборатории кафедры МДиПК ОГАСА. Исследуемая конструкция была установлена на оголовки сварных стоек коробчатого /составленного из 2-х прокатных швеллеров [20/ сечения. Стойки закреплены сваркой к горизонтальному, уложенному и заанкеренному к бетонному полу швеллеру [20. Левая шарнирно-неподвижная опора закреплена на сварке к оголовку стойки. Подвижность правой опоры обеспечивалась с помощью двух шариковых подшипников, посаженных на круглый стержень-ось опорного узла.

Основным условием для создания модели является наличие моделируемой конструкции. Так как схему исследуемых конструкций нельзя считать классической, затруднительно при создании модели выполнить все принципы моделирования. Поэтому испытываемая модель была рассчитана и проверены сечения ее элементов под нагрузку $\approx 8 \text{ Н/см}$. с учетом особенностей конструирования узлов. Пролет опытной конструкции принят равным 2800 мм. Сечение верхнего пояса - двутавр из алюминиевого сплава $h = 28,8 \text{ мм}$, $b_f = 19 \text{ мм}$, $t_f = t_w = 1,5 \text{ мм}$ / расположенный горизонтально, т. е. большей жесткостью из плоскости модели. Основные механические характеристики материалов модели определялись экспериментально.

Испытуемая комбинированная арочная система принята шестипанельной, из условия приемлимой гибкости /в пределах одной панели $\chi_x = 117$ / для решения поставленных в эксперименте задач. Сечения элементов решетки приняты двух типов стальной проволоки: стержни D_1 и D_7 из проволоки $\varnothing 6,4 \text{ мм}$, стержни $D_2 \div D_6$ из проволоки $\varnothing 4 \text{ мм}$. Центральный

узел решетки выполнен в виде кольца с наружным диаметром 100 мм и сечением 20×25 мм, практически недеформируемым от максимальных усилий в элементах решетки. Для регулирования длин стержней решетки при сборке модели, на стержнях D_2, D_3, D_5, D_6 выполнены галтели. Регулирование длин элементов решетки D_1, D_4, D_7 осуществлялось резьбовыми соединениями в центральном кольце. Схему опытной конструкции см. на рис. 1.

Закрепление верхнего пояса модели в узлах из ее плоскости обеспечивалось вертикальными направляющими, которые при сборке имели возможность устанавливаться и фиксироваться в нужном положении. Таким образом, по условиям закрепления расчетная длина верхнего пояса в плоскости и из плоскости модели одинакова, сечение пояса ориентировано большей жесткостью из плоскости и, следовательно, потеря устойчивости верхнего пояса из плоскости исключена. Принципиальное решение узлов модели приведено на рис. 2.

В процессе испытания конструкции измерялись деформации /напряжения/ верхнего пояса по наклеенным тензорезисторам с помощью ИДЦ. Тензорезисторы были наклеены по 4-м кромкам двутавра в серединах панелей. Схема расстановки приборов приведена на рис 3. На всех стержнях решетки тензорезисторы были наклеены симметрично по 2 на каждом элементе.

Измерения прогибов узлов верхнего пояса производились прогибомерами системы Аистова Н.Н. Перемещения правой подвижной опоры - индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.

До начала испытания модель загружалась пробными малыми ступенями нагрузки до безопасной, определенной расчетом величины, равной 6,5 Н/см. Нагружение конструкции осуществлялось с помощью подвесной системы рычагов и натяжного винта. Контроль величины нагрузки производился с помощью динамометра ДПУ-05/2 с ценой деления 50 Н и пределом измеряемой величины усилия 2500 Н. Такая система загрузки позволила плавно и равномерно создавать нагрузку с малыми ступенями.

Анализ результатов измерений показал, что отклонения по показаниям ИДЦ не превышало 2-х единиц для одинаковых ступеней загрузки, по прогибомерам - 5 делений, т.е. 0,05 мм, что находится в пределах погрешности прибора. Отклонение показаний индикатора - 2 деления. В связи с этим выбраковка сомнительных измерений математическими методами не производилась, а окончательные показания по приборам принимались как среднее арифметическое по 3-м измерениям. Таким образом были получены напряжения по всем сечениям верхнего пояса и в

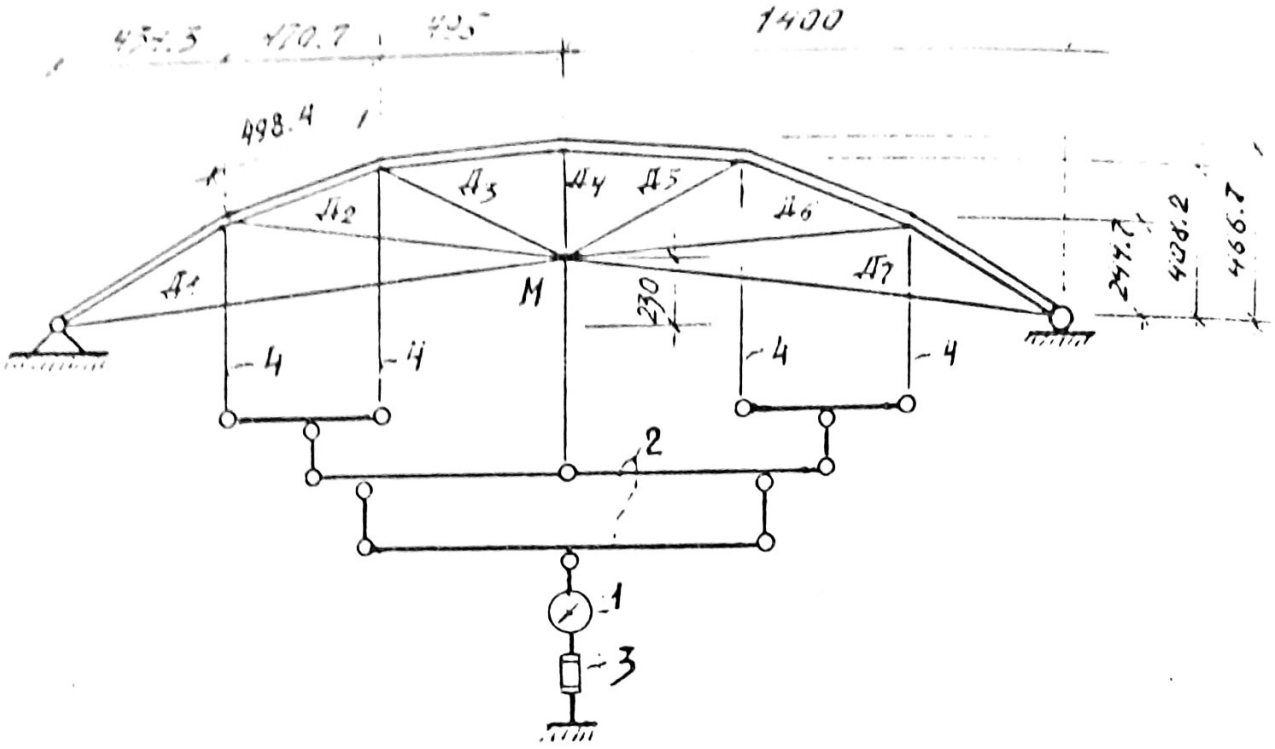


Рис. 1.

Схема опытной комбинированной арочной системы.

1 - динамометр, 2 - система рычагов, 3 - натяжной винт, 4 - подвески рычажной системы, М - точка схода лучей решетки.

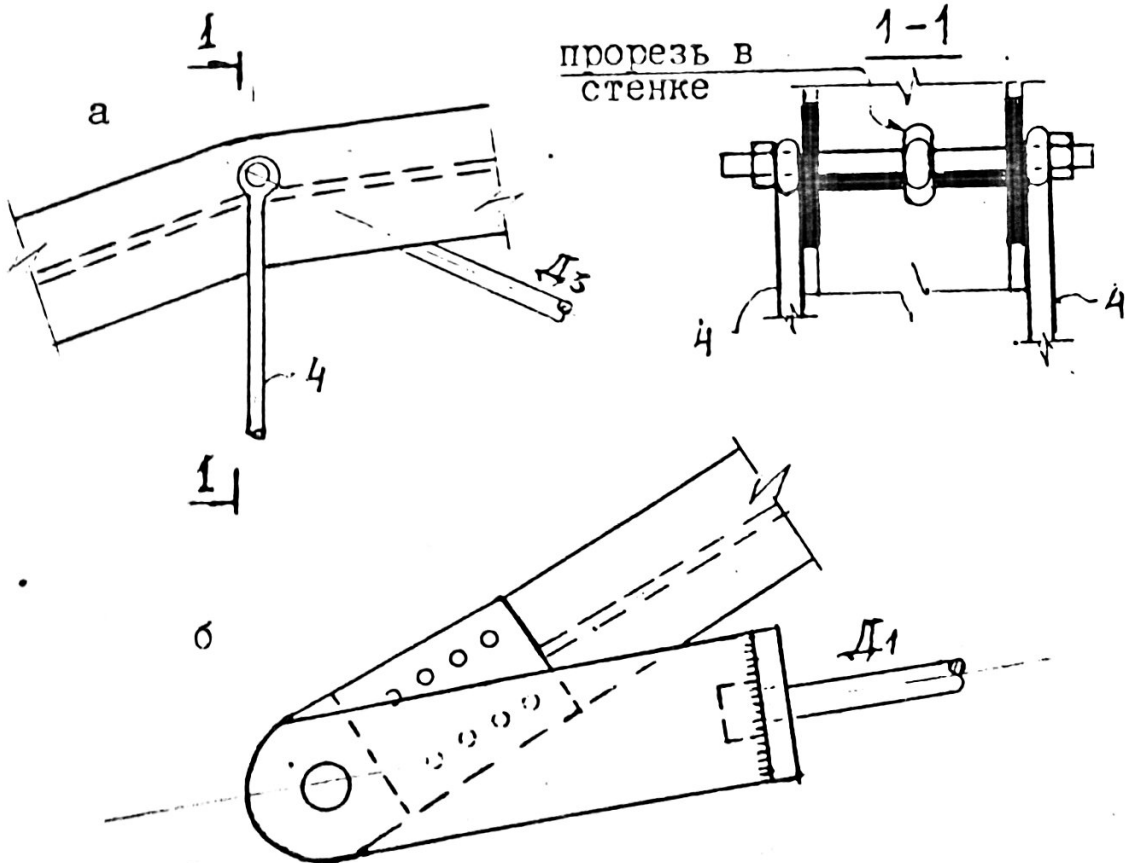


Рис. 2.

Принципиальное решение узлов опытной конструкции.
а - промежуточный узел, б - опорный узел.

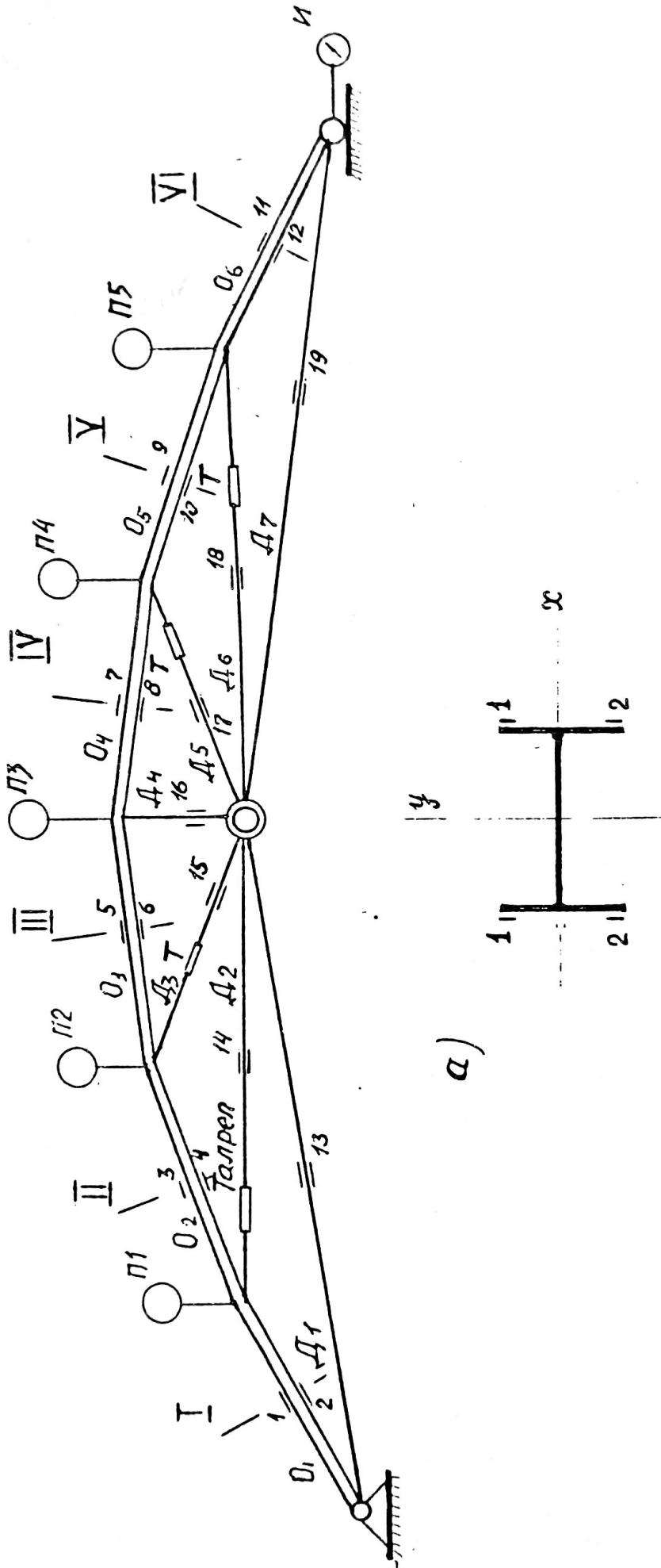


Рис. 3.

Схема расположения измерительных приборов на опытной конструкции.
П₁ - П₅ - прогибомеры; I ÷ I₉ - тензорезисторы; И - индикатор;
О₁ - О₆ - панели верхнего пояса; Д₁ ÷ Д₇ - элементы гибкой решетки;
Т - талрепы; а - схема расположения тензорезисторов в сечениях
I ÷ УI верхнего пояса.

элементах гибкой решетки. При чем напряжения в верхнем поясе вычислялись как абсолютные /по сравнению с нулевыми/, так и относительные, по отношению к предыдущим ступеням загрузки. Так, судя по приращениям напряжений в верхних или нижних зонах сечения верхнего пояса для нагрузок близких к критическим, можно было судить о форме потери устойчивости. Потеря несущей способности экспериментальной конструкции наступила при нагрузке равной 9,3 Н/см, что соответствует запасу несущей способности равному 1,3.

В ы в о д ы:

1. Работа конструкции и ее элементов соответствует характеру работы по теоретическим предположениям. Расчетная схема сохранялась на всех этапах загрузки, вплоть до ее разрушения.
2. Установлено практически полное соответствие теоретических и экспериментальных усилий во всех элементах конструкции. Наибольшие расхождения не превышали 14%.
3. Прогибы узлов верхнего пояса и перемещения подвижной опоры практически совпадают с теоретическими значениями.
4. Форма потери устойчивости верхнего пояса экспериментальной конструкции соответствует синусоиде с точками перегиба в узлах крепления к нему элементов решетки.

Л и т е р а т у р а

1. Кожевников Е.Ч., Пермяков В.А. К расчету преднапряженных пологих сегментных ферм с лучевой решеткой из гибких элементов. - Изв. вузов. Строительство и архит-ра, 1969, № 12, с. 17-22.
2. Кожевников Е.Н. Преднапряженные фермы с жестким криволинейным верхним поясом и решеткой из гибких элементов. - В кн.: Междунар. конференция по преднапряженным мет. констр-м. 3-я. СССР, 1971.
3. Кожевников Е.Н., Сингаевский П.М. Выбор некоторых оптимальных параметров большепролетных преднапряженных ферм с жестким верхним поясом и гибкой решеткой. - В сб.: РЕФ. информ. о закончен-ных НИР в вузах Украинской ССР. - Киев: Вища школа, 1972, вып. 6.
4. Мищенко А.В., Караджи К.М. К расчету комбинированных преднапряженных ферм с учетом их деформированной схемы. - Изв. вузов. Строит-во и архитектура, 1970, № 6, с. 3-7.
5. Мищенко А.В. Напряженно-деформированное состояние комбинированных систем конструкций покрытия академика В.Г. Шухова. - В кн.: Легкие строительные конструкции покрытий зданий: Межвуз. темат. сб. тр. /Ростовский инж.-строит. институт. - Ростов-на-Дону: РАСИ, 1977, вып. 4, с. 31-35.