

УДК 624.072

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО- НАПРЯЖЕННЫХ ВИСЯЧИХ СИСТЕМ

Проф. С.Р. Раззаков<sup>1</sup>, доц. У.С. Ахмадияров<sup>2</sup>, ст. преподаватель Н.С Раззаков<sup>1</sup>.  
Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет<sup>1</sup>,  
Ташкентский архитектурно-строительный университет<sup>2</sup>, Узбекистан  
E-mail: [usa190380@mail.ru](mailto:usa190380@mail.ru), [usa190380@umail.uz](mailto:usa190380@umail.uz), [usa190380@gmail.com](mailto:usa190380@gmail.com),  
[khalmamatoval@mail.ru](mailto:khalmamatoval@mail.ru)

**Аннотация:** Приводятся методика и результаты исследования двухпоясного круглого преднапряженного висячего покрытия.

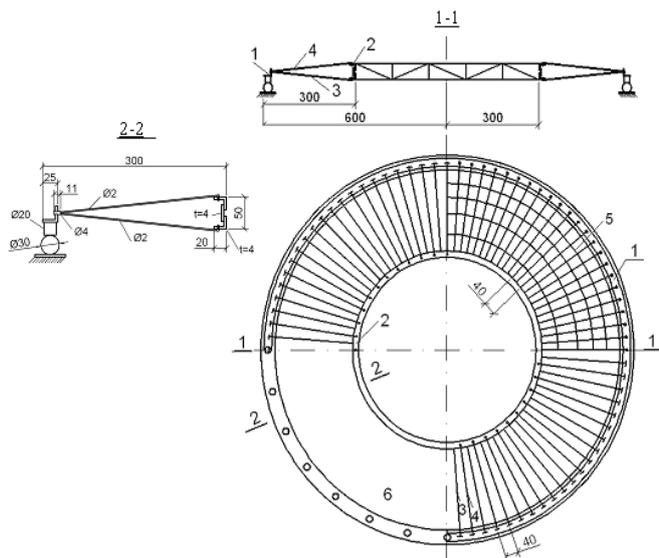
**Ключевые слова:** Моделирования, исследования, двухпоясные, предварительно напряженные, висячие покрытия.

Научно-производственной объединений «Пространственные конструкции и сейсмостойкость зданий и сооружений» разработаны новые уникальные конструкции типа круглых преднапряженных двухпоясных систем для большепролетных общественных зданий(рис.1.).

Исследования проводились на моделях с последующим испытанием элементов, несущих конструкций висячих систем и их фрагментов на различные сочетания статических и динамических нагрузок. Величины нагрузок принимались из экспериментальных условий работы натуральных конструкций.

Модели выполнялись требованием теории моделирования физического подобия.

По рекомендациями моделированию на исследуемую модель и натурную конструкцию нагрузки определялись с учетом прочностных характеристик материалов



$$q_m = \frac{q_n}{\alpha_R}; q_{ml} = \frac{q_{nl}}{\alpha_m \alpha_R}; F_m = \frac{F_n}{\alpha_m^2 \alpha_R} \quad (1)$$

где  $q_m, q_{ml}, F_m$  – соответственно, равномерно-распределенная, распределенная по длине и сосредоточенная нагрузки на модель;

$q_n, q_{nl}, F_n$  – соответственно, на натурные конструкции;  $\alpha_m = l_H / l_M$  – коэффициент масштаба геометрического подобия;  $\alpha_R = R_H / R_M$  – коэффициент масштаба прочности материалов;  $\alpha_E = E_H / E_M$  – коэффициент масштаба модулей упругости.

Рис. 1. Конструкция преднапряженной модели висячего покрытия.

В выражении (1) нагрузка на ванты висячих покрытий принимается состоящей из суммы [1]:

$$q(x) = q + p + v + q_s, \quad (2)$$

где  $g$  – постоянная нагрузка,  $p$  – временная нагрузка,  $v$  – нагрузка предварительного напряжения при расчетном нагружении, равная 10-15% от  $g + p$ ,  $q_s$  – сейсмическая составляющая нагрузки.

Диаметрально расположенных вант. Идентичность величины предварительное напряжение контролировалась прибором ИНА-6. При испытаниях измерялись усилия в вантах, прогибы покрытия, горизонтальное перемещение и кручение центрального и наружного опорного контура.

Проведенные испытания образцов вант показали, что при растяжении разрывное усилие термически обработанной (отожженной) стали ниже, а деформативные характеристики больше, чем у термически необработанных образцов вант. Для термически обработанных образцов вант при изгибе разрушающие усилия и деформации были больше по сравнению с термически необработанными образцами. Для испытанных моделей вантовых ферм, изготовленных из термически обработанных вант, разрушающие усилия и деформации также были больше по сравнению с моделями ферм, изготовленных из термически необработанных образцов.

Исследования начинались проверкой применимости в расчетах закона независимости действия сил.

В первом варианте модели висячего покрытия загрузалась 16 ступенями, из них 10 симметричных равномерно распределенных и 6 односторонних (загружалась половина пролета модели). Модели загружались полной нагрузкой 1,49 кН или 1,73 кН/м<sup>2</sup>. Во втором варианте исследования полная нагрузка на модель висячего покрытия составила 2,76 кН или 3,19 кН/м<sup>2</sup>; В третьем варианте исследования модели полная нагрузка на висячее покрытие составила 2,99 кН или 3,46 кН/м<sup>2</sup>. На завершающем, четвертом варианте исследований полная нагрузка на модель составила 3,69 кН или 4,27 кН/м<sup>2</sup>.

Испытание модели выполнялось на специальном стенде (рис.2).

Исследования напряженно-деформированного состояния модели при действии равномерно-распределенной симметричной нагрузки.

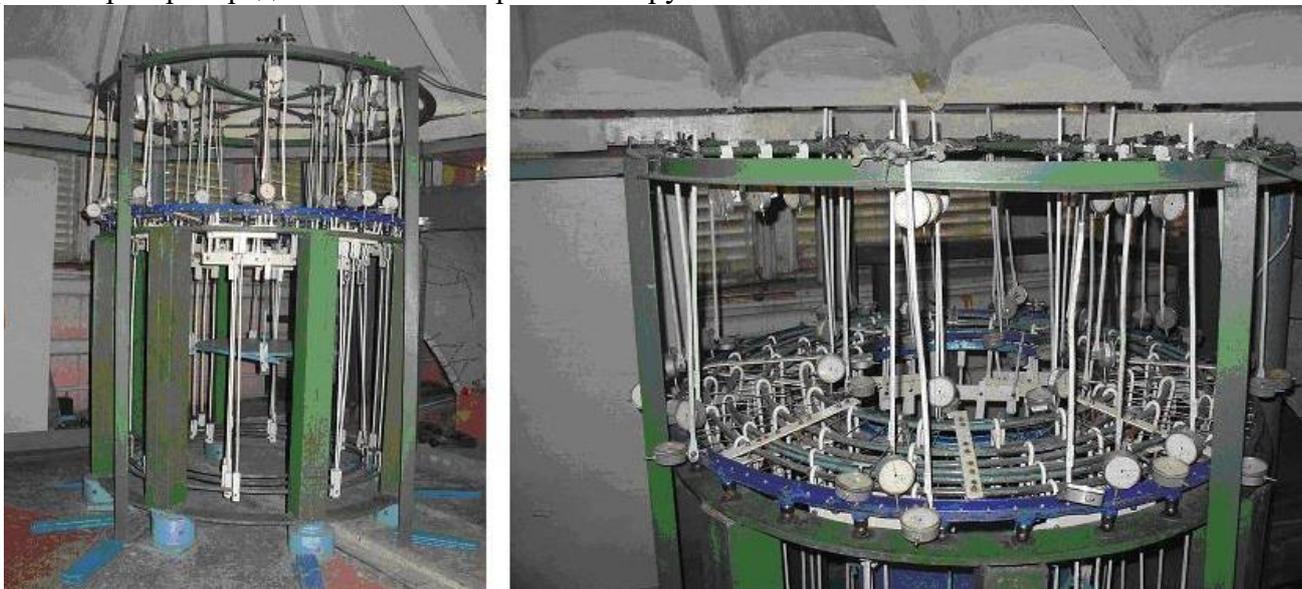


Рис. 2. Модель покрытия на стенде в процессе испытания.

Опытная модель покрытия загрузалась равномерно-распределенной нагрузкой 1584 Н/м<sup>2</sup>; 3169 Н/м<sup>2</sup> и 3664 Н/м<sup>2</sup>, и полосовой нагрузкой 79,6 Н/м; 159,2 Н/м и 183 Н/м. При таких загрузках наиболее деформативной зоной покрытия являлся кольцевой участок, расположенный на расстоянии примерно 1/5 диаметра модели от наружного кольца. Максимальный прогиб вант верхнего пояса на 3 ступени загрузки (3664 Н/м<sup>2</sup> распределенной, 183 Н/м – полосовой) составил для прогибомера П9 – 5,61 мм, или 1/214 пролета модели; для противоположного симметрично расположенного прогибомера П21 составил 4,79 мм, или 1/250 пролета. Максимальный прогиб внутреннего опорного кольца для прогибомера П27 составил 3,23 мм или 1/372 пролета.

От вертикальной реакции вант наружное опорное кольцо работало как кольцевая неразрезная балка, опорами которой являются колонны в натуральных конструкциях. Результаты экспериментального исследования модели висячего покрытия на равномерно распределенные нагрузки показали, что с увеличением нагрузки выявилась геометрическая нелинейность деформирования практически во всех вантах модели. После разгрузки прогибы вант полностью

восстановились, остаточные перемещения не наблюдались, модель покрытия по прежнему оставалась предварительно напряженной.

Проведенный подробный анализ результатов исследований при симметричных и односторонних статических загрузках показал существенные положительные эффекты в круглых предварительно напряженных двухпоясных висячих системах по сравнению с другими видами конструктивных решений пространственных систем. Основываясь на экспериментально установленном законе о характере изменения сил взаимодействия в зависимости от распределения временной нагрузки, выполнено уточнение разработанной расчетной методики. Теоретические значения прогибов и распоров были близки к экспериментальным. Отклонения в наших исследованиях составили 6-14%.

Разработанной методики и алгоритма динамического расчета сравнивались экспериментально исследованной моделью предварительно напряженного круглого двухпоясного висячего покрытия. Выполнена оценка работы модели и натурной конструкции пролетом 120 м на стадиях предварительного натяжения и статического и динамического нагружения. С использованием результатов испытания модели висячего покрытия оценена работа натурной конструкции в различных стадиях работы на динамические воздействия.

Результаты модельных испытаний переведены к натурным с помощью коэффициентов подобия. При симметричном и одностороннем нагружении для нижних и верхних поясов вант, наружных и внутренних опорных колец опытные прогибы отличались от расчетных на 5,2-20%.

Расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями горизонтальных перемещений в наружных и внутренних опорных кольцах при симметричном нагружении составили соответственно 6,7 и 20,1%. То же при одностороннем нагружении соответственно 2,7 и 4,7%.

Для натуральных конструкций экспериментальные и расчетные усилия, вычисленные с применением условия подобия при моделировании для верхних и нижних поясов вант составили соответственно -989 кН и 1010 кН, а их расчетные значения соответственно -945,1 кН и 1049,1 кН. При этом расхождение усилия составило соответственно 4,6 и 3,9%.

Исследования натуральных конструкций и проведенный анализ их поведения при различных наиболее невыгодных схемах нагружения показал, что их можно рекомендовать для применения в качестве покрытий общественных зданий как одно из наиболее эффективных решений.

### Список литературы

1. Рекомендации по проектированию висячих конструкций. М. 1974- 176 с.
2. Шимановский В.Н. Висячие системы – Будівельник, 1984 - 208 с
3. Раззаков С.Р. и др. О проблеме сейсмостойкости большепролётных пространственных конструкций. // Промышленное и гражданское строительство в современных условиях. М., МГСУ, 2011. с. 16-19.
4. Деформированное состояние предварительно напряженных двухпоясных вантовых покрытий при симметричных и односторонних загрузках. С.Р. Раззаков, Н.С. Раззаков, У.С. Ахмадиёров, Х.К. Хуррамов, "Лолейтовские чтения-150". Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям.
5. Research of trailing coverings of wide-span unique buildings by the modelling method A.U. Solijonovich - European science review, 2018
6. Research of contour rings behaviour of suspended roofs N.S. Razzakov, U.S. Axmadiyarov - Conference proceedings International Azerbaijan ..., 2018
7. Modeling of stage of construction and operation of unique large-span structures S.R. Razzakov, U.S. Axmadiyarov, N.S. Razzakov - Journal of Physics: Conference Series, 2019
8. Экспериментальные исследования работы круглых двухпоясных предварительно-напряженных висячих покрытий С.Р. Раззаков, У.С. Ахмадияров, Н.С. Раззаков - Будівельні конструкції, 2013

9. Исследование напряженно-деформированного состояния пространственных покрытий при различных монтажных воздействиях С. Сайфиддинов, У.С. Ахмадиев, П. Ахмедов - Петербургская школа поточной организации, 2023

10. Dynamic Parameters of Prestressed Hanging Systems N.S. Razzokov, U.S. Akhmadiyovov - Key Engineering Materials, 2021

11. Исследования работы круглых двухпоясных предварительно напряженных висячих покрытий методами моделирования С.Р. Раззаков, У.С. Ахмадияров, Н.С. Раззаков - Современные проблемы расчета ..., 2016