



## АРОЧНО-ВАНТОВІ КОМБІНОВАНІ КОНСТРУКЦІЇ. ЧИСЕЛЬНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Д. Б. Кисельов**

*Лабораторія металевих конструкцій, Центральний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (ЦНДІБК ім. В.А. Кучеренка) — філія ФДУП "НДЦ "Будівництво",*

*вул. 2-а Інститутська, 6, м. Москва, 109428, Росія.*

*E-mail: LMK317sp@mtu-net.ru*

*Отримана 18 лютого 2006; прийнята 6 березня 2006*

**Анотація.** Представлені найбільш цікаві приклади застосування сучасних комбінованих арочно-вантових конструкцій у РФ, основні характеристики і схеми. Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень комбінованої аркової конструкції стосовно до покриття атріуму "Гостиного Двору", проведені в ЦНДІБК ім.Кучеренка.

**Ключові слова:** комбінована аркова конструкція, геометрична нелінійність, етапи монтажу, попереднє напруження, великомасштабна модель. Арочно-вантовые комбинированные конструкции. Численные и экспериментальные исследования.

## АРОЧНО-ВАНТОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Д. Б. Киселев**

*Лаборатория металлических конструкций, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко) — филиал ФГУП "НИИ*

*"Строительство", ул. 2-я Институтская, 6, г. Москва, 109428, Россия.*

*E-mail: LMK317sp@mtu-net.ru*

*Получена 18 февраля 2006; принята 6 марта 2006*

**Аннотация.** Представлены наиболее интересные примеры применения современных комбинированных арочно-вантовых конструкций в РФ, основные характеристики и схемы. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований комбинированной арочной конструкции применительно к покрытию атриума "Гостиного Двора", проведенные в ЦНИИСК им. Кучеренко.

**Ключевые слова:** комбинированная арочная конструкция, геометрическая нелинейность, этапы монтажа, преднапряжение, крупномасштабная модель.

## COMBINED (HYBRID) ARCH-CABLE STRUCTURES. NUMERIC AND EXPERIMENTAL RESEARCHES

D. B. Kiselev

*Department for metal structures, Central Research Institute for Building Structures (Kucherenko TsNIISK) – branch of FGUP "NITs "Stroitelstvo", 2nd Institutskaya Str. 6, Moscow, 109428, Russia.*

*E-mail: LMK317sp@mtu-net.ru*

*Received February 18, 2006; accepted March 6, 2006*

**Abstract.** The most interesting examples of the combined (hybrid) arch-cable structures, the principle characteristics and schemes are presented. The comprehensive researches of the combined arch with reference to the roof for "Gostinnyy Dvor" complex in Moscow were carried out in TsNIISK. Theoretical and experimental results are presented.

**Key words:** combined (hybrid) arch-cable structure, geometric non-linearity, mounting stages, pre-stress, large-scale model.

Арочно-вантовые комбинированные системы относятся к наиболее динамично развивающимся в последнее время у нас в стране и за рубежом прогрессивным конструктивным формам. Их применение открывает широкие возможности создания покрытий, характеризующихся лёгкостью, высокими технико-экономическими показателями, архитектурной выразительностью.

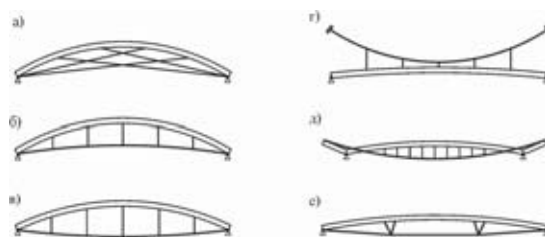
Комбинированные системы, включают структурно объединённые растянутые элементы (ванты) и элементы, работающие на сжатие и изгиб. В комбинированных арочных системах удается существенно уменьшить расчетную длину сжато-изогнутой арки за счет введения небольшого количества дополнительных элементов, улучшить её работу на неравномерные нагрузки, рационально использовать растянутые предварительно напряжённые элементы из высокопрочного металла, существенно уменьшить стрелу подъёма конструкции.

Существует множество видов комбинированных систем [1, 2]. Некоторые из них представлены на рис. 1. Даже простейшие схемы отличаются большой свободой выбора исходных параметров: статической схемой; пролётом; очертанием плана; стрелой подъёма арок и провиса затяжки; соотношением высоты и пролёта конструкции; расположением и количеством дополнительных стержневых элементов (стоек, подвесок и т.п.); применяемыми мате-

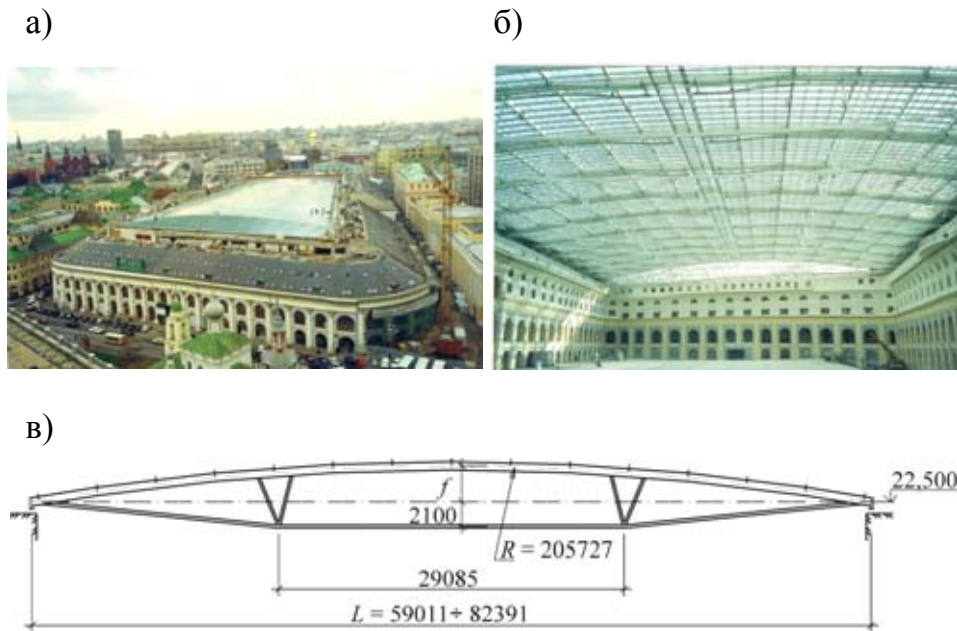
риалами; методами изготовления и монтажа. Элементарные схемы разнообразными способами объединяются в сложные пространственные структуры [3].

Ниже приведены наиболее интересные примеры применения современных комбинированных конструкций в РФ.

Большепролётное светопрозрачное покрытие "Старого Гостинного Двора" в Москве [4, 5]. Здание имеет в плане форму неправильной вытянутой трапеции, застроенной по периметру. Повторяющий форму плана здания, внутренний двор с размерами сторон равными 56, 187, 84 и 163 м., площадью почти в полтора гектара перекрыт светопрозрачной стеклянной крышей (рис. 2). Основные несущие элементы расположены по большей части покрытия параллельно друг другу шагом 12,15 м, образуя цилиндрическую поверхность.



**Рисунок 1.** Варианты конструктивных схем комбинированных систем



**Рисунок 2.** Гостини́ый двор в Москве (1998 г.): а — общий вид; б — интерьер; в — несущая конструкция покрытия

В качестве основного несущего элемента покрытия применена комбинированная система, состоящая из выпуклого сжато-изогнутого верхнего пояса, провисающего растянутого нижнего пояса и двух V-образных стоек, объединяющих пояса. Ломаный верхний пояс собран из однотипных прямолинейных элементов длиной 10 м, вписанных в цилиндрическую поверхность постоянной кривизны. Сечение пояса — сварной двутавр высотой 700 мм. Нижний пояс (затяжка) выполнен из двух полос, сечением 40х275 мм. Узлы, объединяющие нижний и верхний пояса (концы фермы), и узлы в местах перелома нижнего пояса и сопряжения с V-образными стойками запроектированы в виде цилиндрических шарниров. Две V-образные стойки — трубчатые ( $\varnothing 219 \times 16$ ) со средними вставками также трубчатого сечения. После укрупнительной сборки фермы, она преднапрягалась за счет раздвижки поясов домкратами. Проектная геометрия фермы фиксировалась обваркой вставок V-образных стоек. Несущие комбинированные арки оперты на распределительную железобетонную балку через шарнирно-неподвижный и шарнирно-подвижный узлы.

Рабочий проект покрытия выпущен ЗАО "Курорт-проект", варианты конструктивных решений на стадии "проект", научно-техническое сопровождение рабочего проектирования, изготовления и монтажа, испытание крупномасштабной модели покрытия выполнены в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко.

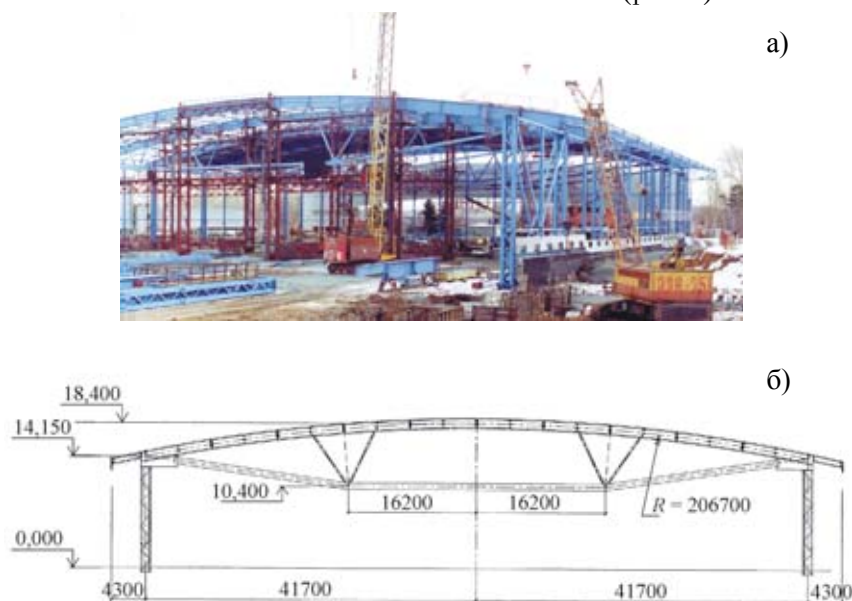
Крытый конькобежный центр в Челябинске [6]. Здание прямоугольное в плане с размерами 198х84 м. Поперечная рама пролетом 83,4 м включает защемленные в основании стальные решетчатые колонны и шарнирно опертый на них ригель. Строительная высота здания около 10 м. Шаг рам — 12 м. Пространственная жесткость каркаса обеспечивается конструкцией поперечных рам, системой прогонов, вертикальных и горизонтальных связей по колоннам, стойкам торцевого факверка и по покрытию. Кровля выполнена из профилированного настила.

Конструкция покрытия (рис. 3) аналогична предыдущему объекту. Ригель рамы запроектирован в виде предварительно напряженной комбинированной арки, верхний и нижний пояса которой, объединены между собой двувисотой 1286 мм. Нижний пояс

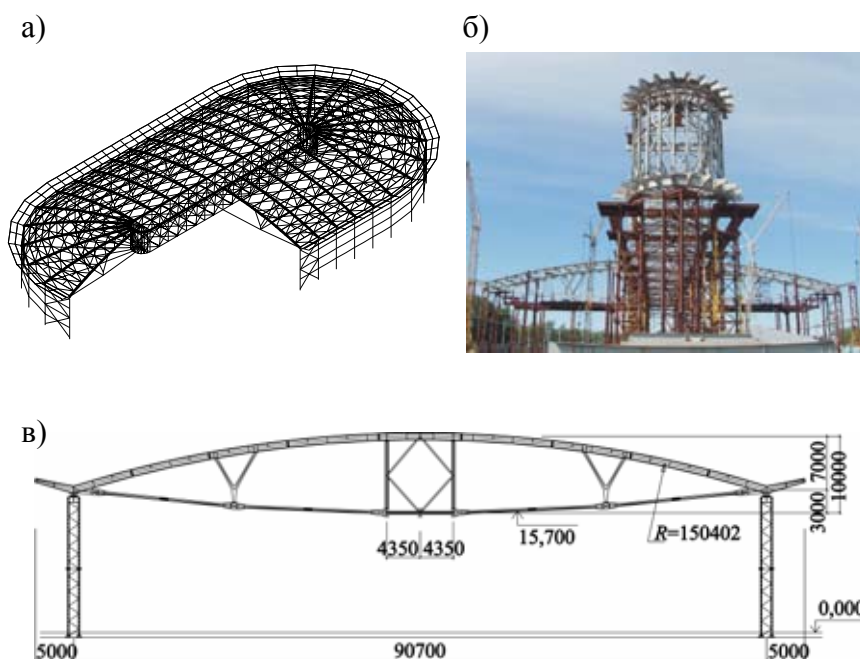
выполнен из двух вертикальных полос 30х300 мм, а стойки из труб  $\varnothing 219 \times 11$ . Узлы перелома нижнего пояса запроектированы шарнирными. Общая высота сквозного ригеля по осям поясов — 8 м.

Рабочий проект покрытия выпущен ЗАО "ЧелябПСК".

Крытый футбольно-легкоатлетический манеж в Казани [6]. Форма покрытия в плане - овал, включающий центральный прямоугольный участок с двумя полукруглыми по торцам. Основные размеры покрытия в плане (в осях) 90,7х178 м. По периметру покрытие опирается на колонны (рис. 4).



**Рисунок 3.** Крытый конькобежный центр в Челябинске (2004 г.): а — монтаж конструкции; б — поперечный разрез



**Рисунок 4.** Крытый футбольно-легкоатлетический манеж в Казани (2006 г.) а — конструкция покрытия; б — монтаж конструкции; в — поперечный разрез

Несущие стальные конструкции большепролетного покрытия состоят из однотипных элементов, расположенных параллельно шагом 9,7 м в центральной части покрытия и радиально на закругленных торцах сооружения (шаг около 12,95 м по периметру). Основные несущие элементы представляют собой комбинированную конструкцию. Верхний пояс из сварного двутавра высотой 950 мм, имеет криволинейное очертание, с постоянным радиусом кривизны. Провисающий нижний пояс выполнен из двух стальных полос 40х350 мм. Узлы сопряжения нижнего пояса с верхним поясом, Y-образными стойками и нижним поясом центрального ядра — шарнирные. Сжатые Y-образные стойки-распорки, объединяющие пояса, выполнены из сварных двутавров переменного сечения. Ортогональная (радиально-кольцевая) система несущих элементов покрытия по всей верхней поверхности объединена связями из трубчатых элементов, образующими жёсткий диск. В плоскости нижних поясов, в местах опирания стоек-распорок, установлены кольцевые тяжи. В средней части покрытия расположено центральное ядро длиной 96 м, шириной 8,7 м и высотой 10 м, в виде пространственной стержневой конструкции, состоящей из поясов и стоек двутаврового сечения и связей, обеспечивающих пространственную жесткость системы. Центральное ядро используется для замыкания однотипных несущих элементов средней и торцевых частей покрытия, а также для его монтажа.

Рабочий проект выпущен ООО "ТК-Техстрой", совместно с ЦНИИСК им. Кучеренко, где также выполнено научно-техническое сопровождение изготовления и монтажа несущих металлических конструкций.

Достижения в области строительной механики и вычислительной техники, разработки и исследований новых конструктивных форм, строительных материалов, технологии изготовления и монтажа, создали предпосылки для широкого применения современных комбинированных систем. В то же время объём их применения в нашей стране невелик, что объясняется такими факторами, как отсутствие детальных теоретических и экспериментальных исследований их действительной работы, рекомендаций по конструированию и расчёту,

обеспечивающих высокую надёжность и экономичность конструкций. В связи с этим в ЦНИИСК им. Кучеренко проведены комплексные исследования одного из вариантов конструктивной схемы (см. рис. 1,е) комбинированного арочно-вантового покрытия, включающие рассмотрение следующих вопросов:

- совершенствование конструктивного решения с учетом оптимального использования прочностных свойств материала, industriальности изготовления и технологичности монтажа;
- теоретические исследования работы конструкции и установление основных зависимостей её напряженно-деформированного состояния при варьировании геометрических, жесткостных и нагрузочных параметров с учетом различных особенностей системы, в т.ч. порядка монтажа, преднапряжения и т.п.;
- экспериментальные испытания крупномасштабных моделей для выявления действительной работы системы, проверки исходных предпосылок и выводов теоретических исследований;
- исследование устойчивости элементов комбинированной арочной системы;
- разработка рекомендаций по численным методам расчета на основании экспериментально-теоретических исследований.

### Результаты теоретических исследований

Для комбинированных арочно-вантовых систем характерны большие пролеты, наличие гибких элементов, монтаж с преднапряжением конструкции. Эти особенности необходимо учитывать в расчетах, максимально приближая расчетную схему к действительной работе конструкции. В рамках данной задачи исследовались следующие факторы: степень геометрической нелинейности; численное моделирование этапов монтажа; преднапряжение системы; варианты конструктивных решений узловых сопряжений.

Благодаря использованию высокопрочных сталей конструкция покрытия, при пролетах  $L > 60$  м и соотношениях стрелы подъёма арки и провиса затяжки к пролету  $f/L \approx 1/25$ , имеет минимальные габариты сечений. Это определяет необходимость расчета системы с учетом геометрической нелинейности.

Для обоснования этого положения был выполнен анализ результатов численных исследований конструкции в линейной и нелинейной постановке. Выявлено, что минимальное влияние (1%) рассматриваемый фактор оказывает на величину усилия сжатия в верхнем поясе системы, при увеличении расчетных изгибающих моментов на 16%. В нижнем поясе расчетные усилия растяжения также незначительно возрастают (1%), но при этом кардинально изменяются (уменьшаются более чем в 20 раз) расчетные изгибающие моменты. Только расчет по деформированной схеме позволяет учесть влияние растягивающих усилий в гибком нижнем поясе на уменьшение в нем изгибающих моментов. При расчете в геометрически нелинейной постановке уточняются расчетные величины усилий сжатия в V-образных стойках (возрастают до 12%).

Перемещения характерных точек конструкции при расчете с учетом геометрической нелинейности по сравнению с линейным расчетом изменяются следующим образом: прогибы середины верхнего пояса возрастают до 5%, прогибы элементов нижнего пояса уменьшаются более чем в 4 раза, а сокращение горизонтальных перемещений подвижного опорного узла достигает 9%.

Расчеты несущих конструкций в виде комбинированных арочно-вантовых систем необходимо выполнять в геометрически нелинейной постановке.

Монтаж рассматриваемых конструкций покрытия имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать в расчетах. Для обоснования этого положения были выполнены численные исследования конструкции в нелинейной постановке без учета и с учетом последовательности монтажа. Моделировалось пять этапов: 1 — укрупнительная сборка в кондукторах; 2 — раздвижка поясов с помощью домкратов; 3 — объединение поясов V-образными стойками и снятие домкратов; 4 — подъем арочной фермы на проектную отметку, монтаж прогонов и кровли; 5 — нагружение конструкции покрытия снеговой нагрузкой. Для численного моделирования использовался вычислительный комплекс, позволяющий выполнять расчеты в геометрически нелинейной постановке с поэтапным изменением вида нагрузки и расчетной схемы.

Исследования показали, что минимальное влияние (1%) рассматриваемый фактор оказывает на расчетные усилия сжатия в верхнем поясе системы при уменьшении изгибающих моментов до 30%. В нижнем поясе расчетные усилия растяжения и изгибающие моменты возрастают незначительно (до 3%), а расчетные усилия сжатия в V-образных стойках уменьшаются до 25%.

Расчеты комбинированных арочно-вантовых систем необходимо выполнять с учетом последовательности монтажа. Это позволяет: скорректировать расчетные усилия в элементах в сторону уменьшения; определить места расположения сечений с максимальными напряжениями; выявить действительную геометрию несущих конструкций после монтажа.

Для включения в работу нижнего растянутого пояса необходимо выполнять предварительное напряжение системы (исключение начальных неправильностей и погибей, выборка люфтов и т.п.), что можно осуществить увеличением длины стоек. Численные исследования показали, что для раздвижки поясов на значительные расстояния требуются относительно небольшие усилия. Увеличение высоты ферм в процессе их предварительного напряжения происходит в основном за счет кинематических перемещений системы, так как узлы сопряжения нижнего пояса и распорок с верхним поясом проектируются шарнирными, а один из опорных узлов шарнирно-подвижным. Этим же объясняются практически нулевые (менее 1%) продольные усилия в поясах от преднатяжения по отношению к усилиям от эксплуатационных нагрузок. Изгибающие моменты в верхнем поясе от предварительного напряжения и от внешних нагрузок по длине арки могут иметь разный или одинаковый знак. В сечениях с максимальными напряжениями изгибающие моменты суммируются, при этом вклад преднатяжения составляет 15%.

В ряде случаев по архитектурным требованиям растянутый нижний пояс проектируют не развязанным из плоскости. Для увеличения его изгибно-крутильной жесткости производят усиление стоек, объединяющих верхний и нижний пояса, и это вызывает необходимость исключить ряд шарнирных узлов сопряжения элементов комбинированной арочной системы.

Выполнение узловых соединений жесткими значительно упрощает их конструкцию. Для обоснования возможности реализации таких конструктивных решений были выполнены численные исследования с учетом последовательности этапов монтажа. Это позволило смоделировать ситуацию, когда шарниры заглушаются после завершения монтажа покрытия и дополнительные усилия в несущих элементах возникают только от временных нагрузок (снег, ветер, температурные воздействия).

Результаты исследований показали, что заглушение шарниров после завершения монтажа покрытия незначительно влияет на работу верхнего пояса: максимальные напряжения практически не изменяются (в сечении над опорой они возрастают до 4%). В растянутом нижнем поясе максимальные напряжения увеличиваются на 20% в случае заглушения шарнира сопряжения нижнего пояса и V-образных стоек и на 30% при заглушении всех шарниров комбинированной арочной системы. В V-образных стойках дополнительные изгибающие моменты увеличивают максимальные напряжения на 20%.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности заглушения шарниров, в первую очередь в узлах сопряжения нижнего пояса с V-образными стойками, после завершения монтажа покрытия.

С учетом результатов численных исследований особенностей работы комбинированной арочно-вантовой системы, были проведены поверочные расчеты на наиболее неблагоприятные сочетания нагрузок на покрытие. Выявлено, что расчетное сочетание с неравномерно-распределенной снеговой нагрузкой является определяющим при проверке прочности и устойчивости всех элементов комбинированной арочной системы. Доля напряжений от снеговой нагрузки в их максимальных суммарных расчетных величинах составляет 50% для верхнего и нижнего поясов и 60 % для V-образных стоек. При этом в верхнем поясе преобладают напряжения от изгибающего момента (70%), а в нижнем — от растягивающего продольного усилия (95%). Температурные воздействия практически не влияют на изменение усилий и соответственно напряжений в элементах системы, а отражаются на ее перемещениях. Мак-

симальные относительные прогибы не превышали 1/400 пролёта.

### Результаты экспериментальных исследований

Модель фрагмента покрытия (масштаб 1:10) состояла из пространственного блока, включающего две арочно-вантовые фермы, объединенные по верхним поясам прогонами и связями (рис. 5). Параметры модели определялись на основе теории подобия и размерностей. Материал элементов модели, форма их сечений и соотношения габаритных размеров соответствовали натуре. Расхождения геометрических характеристик элементов модели по сравнению с расчетными величинами не превышали 10%.

Были смоделированы все узловые сопряжения, включая узлы опирания ферм — шарнирно-неподвижный и шарнирно-подвижный. Элементы V-образных стоек имели вставку, позволяющую изменять их длину и таким образом создавать предварительное напряжение модели. Общая устойчивость модели фрагмента покрытия обеспечивалась прогонами и горизонтальными связями в плоскости верхнего пояса ферм.

Относительные деформации замерялись проволочными тензодатчиками сопротивления с базой 10 мм. Датчики устанавливались на каждой из двух ферм в семи сечениях верхнего пояса, в трех сечениях нижнего пояса и в двух сечениях V-образных стоек. Во всех сечениях устанавливалось по 4 тензодатчика, что позволило определять нормальное усилие и изгибающие моменты в двух плоскостях. Общее количество активных датчиков 96 шт.

Измерение перемещений проводилось в основных узлах элементов верхнего и нижнего поясов системы в вертикальном направлении. В подвижном опорном узле замерялись горизонтальные перемещения вдоль ферм. Для измерения перемещений применялись электро-механические прогибомеры. Общее количество приборов для замера перемещений 18 шт.

Испытания модели проводились на шесть схем нагружения от постоянной и снеговой нагрузок. Вертикальная нагрузка прикладывалась к узлам верхнего пояса системы через элементы прогонов. Нагрузка создавалась тарированными

грузами с использованием рычажных устройств (рис. 6). Перед основными испытаниями проводилось предварительное загрузку модели нор-

мативной равномерной нагрузкой для выборки люфтов, обжатия узлов, проверки работы измерительных приборов и оборудования.

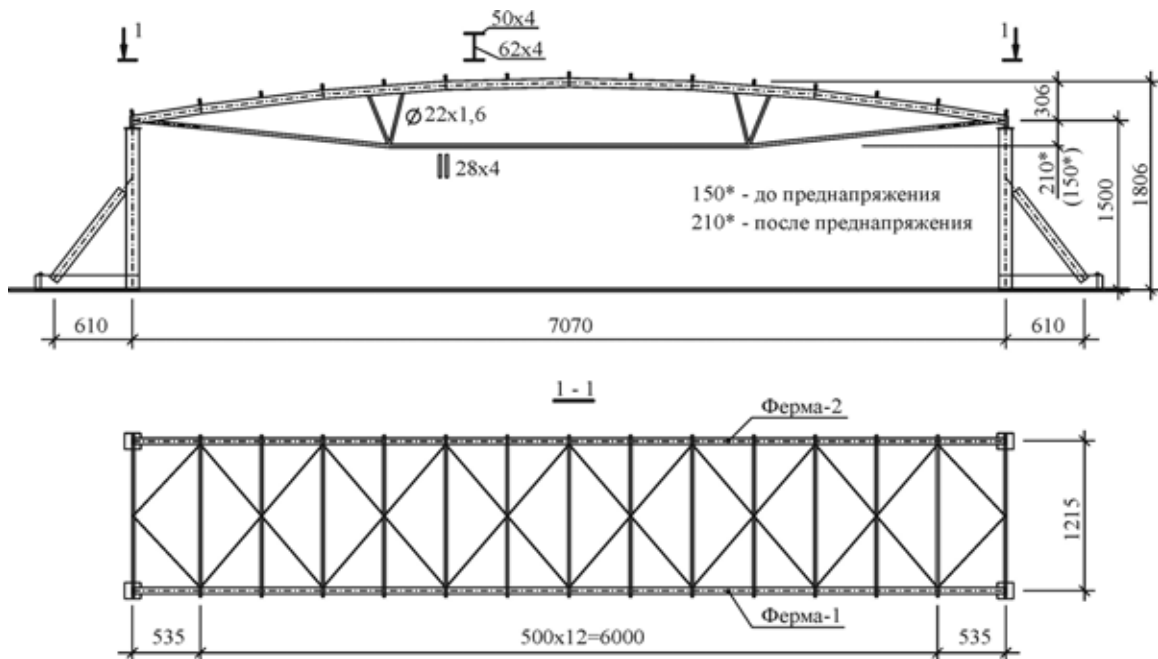


Рисунок 5. Конструктивная схема модели



Рисунок 6. Загрузка модели тарированными грузами



Для определения ожидаемых перемещений и усилий в процессе испытания модели, выполнены компьютерные расчеты. Расчеты выполнялись по фактическим габаритным размерам и сечениям элементов. Нагрузки соответствовали всем этапам и схемам загрузки модели с учетом ее предварительного напряжения. Для численного моделирования эксперимента использовался стандартный вычислительный комплекс, позволяющий выполнять расчеты пространственно стержневых систем в геометрически нелинейной постановке с учетом этапов монтажа и нагружения.

Испытания проводились на статические нагрузки в два этапа на двух идентичных моделях, как в упругой, так и в пластической стадии работы вплоть до разрушения. На первом этапе давалась предварительная оценка несущей способности конструкции. Фермы испытывались до разрушения равномерно распределенной нагрузкой. В результате испытаний определены прогибы и перемещения элементов, выявлено поведение элементов конструкции на всех стадиях нагружения (включая превышение на 20% расчетной), выполнено сопоставление экспериментальных и теоретических данных, определена разрушающая нагрузка, выявлен характер разрушения модели.

Предельное состояние конструкции наступило при нагрузке в 1,2 раза превышающей расчетную, вследствие выхода из плоскости V-образных стоек ферм (одновременно 8 стоек) от поворота узла сопряжения стоек с нижним поясом. Анализ экспериментальных данных показал, что принятое проектное решение в основном обладает надежностью, определяемой показателями прочности, устойчивости и деформативности. Для увеличения несущей способности конструкции, было принято решение на втором этапе испытаний усилить узел сопряжения V-образных стоек с нижним поясом двухсторонними накладками из круглых стержней диаметром 3 мм длиной 70 мм. После преднапряжения модели стержни приваривались одним концом к V-образным стойкам, а другим — к листовой детали шарнирного узла нижнего пояса. Аналогичное усиление было внесено в проект несущих металлоконструкций покрытия.

На втором этапе проводились полные экспериментальные исследования с замерами

перемещений (рис. 7) и напряжений (рис. 8) в элементах модели, определялась предельная нагрузка, оценивалась несущая способность конструкции. Анализ экспериментальных данных по результатам второго этапа испытаний показал следующее. Качественная и количественная картина напряженно-деформированного состояния конструкции модели на всех стадиях нагружения соответствовала проектной. Осредненные значения экспериментальных прогибов с учетом их статистической обработки (прямой и обратный ход загрузки, симметрия конструкции и т.п.) отличались от теоретических значений не более чем на 10%, а в 90% случаев эта разница не превышала 5% от их теоретических значений. Различия между максимальными экспериментальными и теоретическими величинами продольных усилий, изгибающих моментов и напряжений в большинстве случаев не превышали 10%. Все элементы модели покрытия при воздействии на них расчетных нагрузок находились в упругой стадии работы. Модель на 2-ом этапе экспериментальных исследований не была доведена до разрушения. При этом максимальная равномерно распределенная нагрузка, приложенная к модели, в 1,3 раза превышала расчетную.

Экспериментально выявлен ряд особенностей работы конструкции. Комбинированная арочная система, с неразвязанным из плоскости предварительно-напряженным гибким нижним поясом, работает не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости (даже при действии усилий только в плоскости конструкции). Причиной этого является наличие горизонтальных эксцентриситетов в узле примыкания V-образных стоек к нижнему поясу, различие в величинах усилий в каждой из стоек (по знаку), наличие начальных погибей в стойках. Это приводит к закручиванию и горизонтальным перемещениям нижнего пояса, к дополнительным изгибным напряжениям из плоскости нижнего пояса и стоек. Максимальные суммарные величины напряжений увеличились: в верхнем и нижнем поясах на 12%, а в V-образных стойках на 60%. При этом напряжения в элементах модели нигде не превышали расчетных сопротивлений материала.

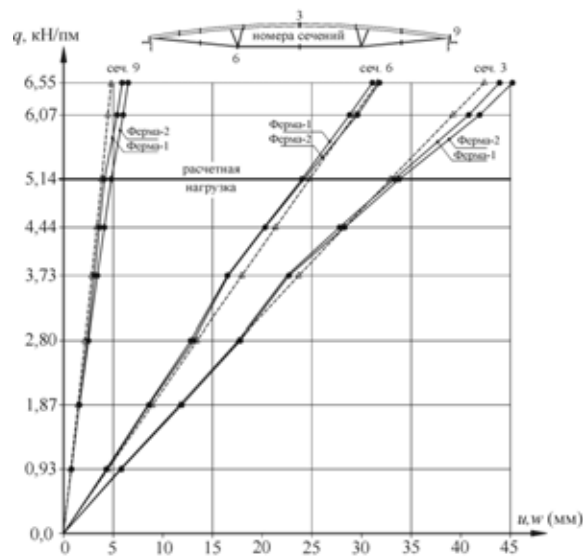


Рисунок 7. График зависимости прогибов и перемещений от нагрузки (постоянная + равномерно-распределенная снеговая): ●—●—● — эксперимент, —△—△—△— теория

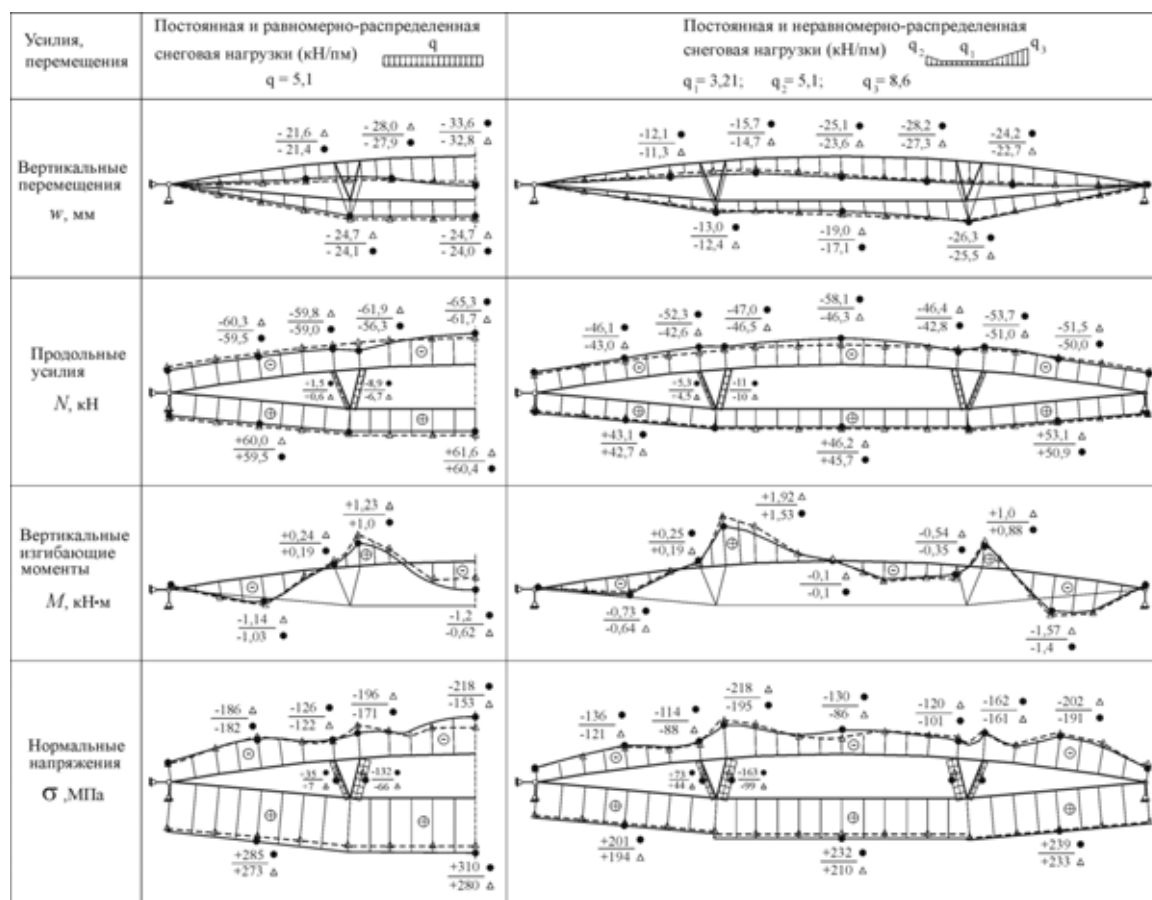


Рисунок 8. Эпюры перемещений и усилий при различных вариантах загрузки модели: ●—●—● — эксперимент, —△—△—△— теория

Сопоставление и анализ численных и экспериментальных данных показал, что принятая методика расчета с достаточной для инженерных целей точностью отражает действительную работу исследуемой системы. Для численного моделирования могут использоваться стандартные вычислительные комплексы, позволяющие выполнять расчеты в геометрически нелинейной постановке с учетом этапов монтажа и загрузки.

### Литература

1. Saitoh M. Recent Developments of Hybrid Tension Structures. - Proceeding of the IASS Symposium, September 2-6, 1991, Copenhagen/Denmark, Vol. II. - p.p. 177 186.
2. Morto R., Raducanu V. Tensegrity Systems and Tensile Structures. - Papers of the IASS International Symposium (Full CD), October 9-13, 2001, Nagoya/Japan - 8 p.
3. Хайдуков Г.К., Еремеев П.Г., Карасёв С.И. Пространственная вантово-стержневая система "Tensegrity". Обзор - М.: ВНИИТПИ, 2000. - 36 с.
4. Еремеев П.Г., Канчели Н.В. Большепролётное светопрозрачное покрытие Гостиного Двора в Москве. - "Архитектура и строительство Москвы", № 3, 1999. - С. 32 37.
5. Yermeyev P.G., Kancheli N.V. Large-span transparent roof for "Gostiny Dvor" complex in Moscow. - Proceeding of the IASS Congress, 1998, Moscow/Russia, Vol. II. - p.p. 469 476.
6. Еремеев П.Г., Киселев Д.Б. Современные арочно-вантовые комбинированные конструкции. - "Монтажные и специальные работы в строительстве", № 9, 2005. - С. 11 16.

**Кисельов Дмитро Борисович** працює старшим науковим співробітником лабораторії металевих конструкцій Центрального науково-дослідного інституту будівельних конструкцій (ЦНДІБК ім. В.А. Кучеренко). Член російської групи асоціації по просторових конструкціях. Наукові інтереси: розрахунок і проектування металевих просторових конструкцій - тонколистові провисаючі оболонки (мембрани); зводи з холодногнутих тонкостінних елементів; комбіновані аркові конструкції

**Киселев Дмитрий Борисович** работает старшим научным сотрудником лаборатории металлических конструкций Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). Член российской группы ассоциации по пространственным конструкциям. Научные интересы: расчет и проектирование металлических пространственных конструкций - тонколистовые провисающие оболочки (мембраны); своды из холодногнутых тонкостенных элементов; комбинированные арочные конструкции

**Dmitry B.Kiselev** is a senior researcher of the department of metal structure of the Central Research Institute of Building Structures (TsNIISK). He is a member of Russian Association of Space Structures. Research interests: metal space structures - thin sheet suspended shells (membrane); shell arches of cold formed thin gauge members; combined (hybrid) arch-cable systems