

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-23-81\*. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. – М., 1991. – 58 с.
2. ТКП EN 1993-1-1. Еврокод.
3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Минск, 2009. – 83 с.

УДК624.072.327

### **Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций вантового покрытия МКСК «Минск-Арена»**

*Шидлова А.С.*

(научный руководитель – *Башкевич И.В.*)

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Объектом анализа является впервые возведенное в РБ вантовое покрытие спортивно-зрелищного арены комплекса «Минск-Арена».

Для проведения мониторинга конструкций вантовой системы в процессе эксплуатации выполнен компьютерный анализ работы покрытия при различных сочетаниях возможных нагрузок, разработана программа и создана техническая база для осуществления контроля за напряженно-деформированным состоянием.

Многофункциональная спортивно-зрелищная арена комплекса «Минск-Арена» является уникальным больщепролетным сооружением цилиндрического объема на 15000 зрителей рассчитана на проведение соревнований и учебно-тренировочного процесса по более чем по 25 видам спорта, а также концертов, эстрадно-цирковых шоу. Диаметр вантового покрытия – 116,0 м. диаметр внутренних металлических колец в осях упоров вант – 12,0 м. Количество вантовых ферм 48 штук. Расстояние между верхним и нижним кольцами по центру тяжести сечения 7,7 м, высота между осями вант на наружных опорах 3,3 м (рисунок 1).

Несущие ванты очерчены по кубической параболе, а стабилизирующие – по квадратной, что обеспечивает лучший водоотвод с поверхности покрытия. Расстояния между стойками вантовых ферм установлены из условия удобства водоотвода с покрытия, перевозки

и монтажа металлических плит покрытия. Несущие ванты фирмы «Freyssinet» [1] состоят из 27 прядей сечением  $A_n = 4050 \text{ мм}^2$ ; стабилизирующие ванты – из 7 прядей сечением  $A_c = 1050 \text{ мм}^2$ . Модуль упругости вант  $E = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Расчетное сопротивление вант  $R_y = 840 \text{ МПа}$  ( $0.45 R_u$ ).

Пояса нижнего и верхнего колец приняты общей шириной 1120 мм. Внутренний радиус кольца составляет 5020 мм, наружный 6820 мм, Полки нижнего кольца имеют сечение  $50 \times (700 + 420)$  мм, верхнего –  $25 \times (700 + 420)$  мм. Расстояние между полками для размещения анкеров в нижнем кольце 400 мм, в верхнем – 300 мм.

Внутренние и наружные полки колец объединены в радиальном направлении вертикальными ребрами толщиной 20 мм для нижнего кольца и 16 мм для верхнего, к которым привариваются упорные пластины толщиной 50 мм для крепления вант. В отсеках свободных от канатов предусмотрены ребра и в кольцевом направлении, а также горизонтальные ребра посередине высоты колец из листа толщиной 12 мм. Крепление вант осуществлялось в окнах с помощью анкерных устройств фирмы «Freyssinet». Верхнее и нижнее кольца соединены между собой 24 стойками из труб сечением  $159 \times 5$  мм.

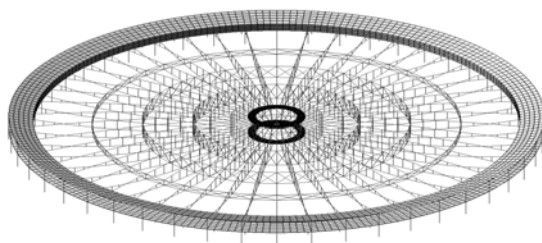


Рисунок 1 – Аксонометрия вантового покрытия

С одной стороны вант крепился нерегулируемый анкер, в который вворачивалась стальная серьга, а с другой – в металлических кольцах центрального барабана регулируемый анкер с гайкой, позволяющий регулировать величину натяжения вант.

В качестве наружных опорных колец используются железобетонные перекрытия поперечным сечением  $6300 \times 300$  мм, соединенные между собой по внутренней грани цилиндрической стенкой.

Бетонная стена толщиной 400 мм расположена по всей окружности диаметром 116 м [2].

Многофункциональная спортивно-зрелищная арена является уникальным большепролетным сооружением с массовым скоплением зрителей, что определяет высокие требования по долговременной надежной и безотказной работе вантового покрытия. Наиболее ответственными элементами вантового покрытия являются несущие и стабилизирующие ванты, а также центральное нижнее металлическое кольцо, за которыми следует организовать системное инструментальное наблюдение. Натурные наблюдения за деформированием вантового покрытия, вызванного влиянием климатических факторов и эксплуатационных воздействий, должны проводиться систематически в период первых (не менее 5) лет эксплуатации сооружения. Анализ полученных результатов, путем сравнения с проектными данными, позволит обеспечить безаварийную работу вантового покрытия.

Для осуществления технического мониторинга вантового покрытия могут быть использованы следующие методы.

1. Инструментальный геодезический контроль перемещений центральных металлических колец для получения интегральной характеристики работы вантового покрытия. Измерения перемещений могут непосредственно указывать на работоспособность конструкции. Геодезический метод является простым, экономичным, не требует использования сложного оборудования. Вертикальные перемещения центральных металлических колец составили 1200 мм по отношению к исходному монтажному состоянию, когда кольца опирались на временную башню. За начальное (нулевое) принято состояние до установки видеотабло и подвесного светотехнического и акустического оборудование, относительно которого следует производить геодезические измерения. После установки видеотабло, светотехнической и акустической аппаратуры при проведении концертов вертикальные перемещения металлических колец могут увеличиться в летний период на 100 мм, а в зимний период – на 200 мм. Значения вертикальных перемещений металлических колец, превышающие указанные величины на 20%, следует считать верхней предупредительной границей.

2. Инструментальный контроль усилий в несущих и стабилизирующих вантах с использованием датчиков усилий, разработанных французской фирмой «Freyssinet». Датчики установлены в процессе

монтажа вантовых ферм на одной из прядей как на несущих, так и на стабилизирующих вантах внутри регулируемых анкеров на центральных металлических кольцах. Датчики установлены на каждой четвертой ванте. Сигналы от датчиков поступают на компьютер в диспетчерской службе. Для контроля за уровнем напряженного состояния вант установлены предупредительные и предельные границы.

3. Инструментальный контроль деформаций и напряжений в наиболее напряженных элементах центрального нижнего металлического кольца с использованием струнных датчиков СДД. Струнные датчики и программное обеспечение автоматизации измерений разработаны лабораторией вычислительной диагностики Института прикладной физики НАН РБ. На нижнем металлическом кольце установлены 32 датчика, которые позволяют осуществлять контроль за напряженным состоянием. Для контроля за уровнем напряженного состояния нижнего металлического кольца установлены предупредительные и предельные границы.

Предупредительные границы усилий в несущих вантах и напряжений в полках нижнего металлического кольца превышают наибольшие расчетные величины при нормативной эксплуатационной нагрузке на 20%, а предельные границы соответствуют наибольшим расчетным величинам при расчетной нагрузке с коэффициентом надежности по назначению  $\gamma_n = 1,2$ .

Кроме инструментального контроля при эксплуатации здания рекомендуется периодически осматривать основные узлы и элементы вантового покрытия. В случае превышения верхних предупредительных границ усилий в несущих вантах, вертикальных перемещений и напряжений в нижнем металлическом кольце или уменьшения усилий в стабилизирующих вантах по сравнению с нижней границей служба эксплуатации должна информировать генерального проектировщика. При превышении предельных границ и обнаружении недопустимых дефектов или повреждений необходимо принять меры по снижению нагрузки на вантовое покрытие и привлечь специализированную организацию для определения причин их возникновения и разработки рекомендаций по усилению конструкций.

Для оценки влияния снеговой нагрузки на напряженно-деформированное состояние вантового покрытия в зимний период следует ежемесячно определять величину отложения снежного покрова на кровле и характер его распределения по двум взаимно ор-

тогональным диаметрам. Плотность снега определяется при помощи снегомера или путем взвешивания снега, собранного с 1 м<sup>2</sup> площади крыши. Очистку кровли от снега следует производить в случае, если фактическая нагрузка от снега превышает принятую в проекте, а также в случае достижения предельных границ при измерении усилий в вантах, напряжений в нижнем металлическом кольце или его вертикальных перемещений.

Таким образом, мониторинг напряженно-деформированного состояния вантового покрытия МКСК «Минск-Арена» предусматривает контроль перемещений центральных металлических колец, усилий в стабилизирующих и несущих вантах, а также напряжений в нижнем металлическом кольце на всех стадиях монтажа и во время эксплуатации. Следовательно, постоянный мониторинг напряженно-деформированного состояния направлен на обеспечение безопасной и безаварийной работы элементов вантового покрытия и сооружения в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ванты Фрейссине. Представительство «Фрейссине Интернасьональ» в России. – М., 2006.
2. Журнал «Архитектура и строительство» № 11 ноябрь 2009. Тема номера «Минск-Арена».

УДК 624.5

#### **Вантовый мост на о. Русский**

*Лозейко К.В.*

(научный руководитель – *Фомичев В.Ф.*)

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Проектирование и строительство моста на о. Русский предусмотрено программой подготовки к саммиту АТЭС (Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество), который состоится во Владивостоке в 2012 году. Подрядчик при выполнении работ по строительству моста на остров Русский ОАО "УСК МОСТ".

Субподрядные работы на объекте выполнит Омское НПО "Мостовик", разработавшее проект мостового перехода на остров Рус-