

МОНИТОРИНГ КОНСТРУКЦИЙ ВАНТОВОГО ПОКРЫТИЯ МИНСК-АРЕНЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Сергей
Березовский



Иван
Башкевич



Евгений
Сидорович



Риза
Фурунжиев

Многофункциональная спортивно-зрелищная арена на 15 тыс. зрителей – уникальное большепролетное сооружение с массовым скоплением людей, что определяет высокие требования к долговременной надежной и безотказной работе вантового покрытия.

Одним из важных инструментов обеспечения безопасности сооружения является мониторинг вантового покрытия. Разработанная система мониторинга внедрена в республике впервые. Результаты исследования работы вантового покрытия при действии монтажных нагрузок во время строительства освещены в [1]. В настоящей статье приведены результаты мониторинга в течение 4 лет эксплуатации здания.

Двухпоясное вантовое покрытие диаметром 116 м в виде «велосипедного колеса» состоит из 48 несущих и стабилизирующих канатов. Ванты сформированы из 7-проволочных прядей французской фирмы «Фрейссине». Начальное предварительное напряжение системы покрытия выполнено за счет натяжения стабилизирующих вант усилием 51 тс. Центральные металлические кольца диаметром 12 м в осях поперечного сечения изготовлены в виде сварных пространственных конструкций. Более подробные сведения о конструкции вантового покрытия приведены в статье [2]. Наиболее ответственными элементами вантового покрытия являются несущие и стабилизирующие ванты, а также центральные металлические кольца, за которыми организовано системное инструментальное наблюдение. От усилий в несущих вантах и нижнем металлическом кольце зависит прочность всего вантового покрытия, а от усилий в стабилизирующих вантах – устойчивость системы и состояние кровли.

Вантовое покрытие воспринимает различные нагрузки от веса вантовых ферм, кольцевых связей и центральных металлических колец, предварительного напряжения системы, веса металлических плит покрытия, утеплителя и кровли, ходовых мостиков для обслуживания, реклам-

ных щитов, подвешенного инженерного оборудования (трубопроводов, медиакуба, светотехнической и акустической аппаратуры) и снега. При этом ходовые мостики и подвешенное оборудование, расположение которого может изменяться в процессе эксплуатации, создают несимметричные нагрузки.

Для оценки и инженерного анализа состояния вантового покрытия выполнены расчеты с учетом геометрической нелинейности и конструктивных особенностей на действующие в процессе эксплуатации нагрузки в летний и зимний периоды с использованием программных комплексов «ЛИРА» и «ANSYS». При моделировании вант и кольцевых связей использовались геометрические и конструктивно нелинейные конечные элементы, работающие только на растяжение. Стержни опорных рам, стойки вантовых ферм и центральные металлические кольца моделировались изгибно-жесткими стержнями и пластинчатыми элементами, железобетонные конструкции опорного кольцевого контура – элементами оболочечного типа. Модель имеет более 100 тыс. узлов и более 56 тыс. элементов и рассматривается как единая нелинейно-деформируемая система. Конечно-элементная модель вантового покрытия приведена на рис. 1, а центрального нижнего металлического кольца – на рис. 2.

Для контроля за состоянием вантового покрытия в процессе эксплуатации арены установлена система датчиков на вантах и центральном нижнем металлическом кольце, информация от которых по сети передается на компьютер в диспетчерском пункте. Для непрерывного и дистанционного наблюдения за работой всех датчиков разработано программное обеспечение.

В процессе монтажа в каждую четвертую несущую и стабилизирующую ванты внутри регулируемых анкеров на центральных металлических кольцах смонтированы датчики французской фирмы «Адвитам», позволяющие измерять деформации и определять фактические усилия. Каждый датчик – всего установлено 24 – име-

Рис. 1. Конечно-элементная модель вантового покрытия

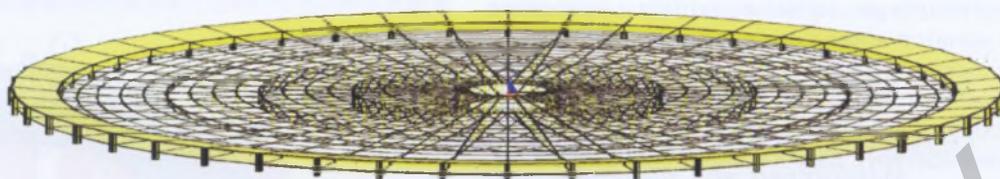
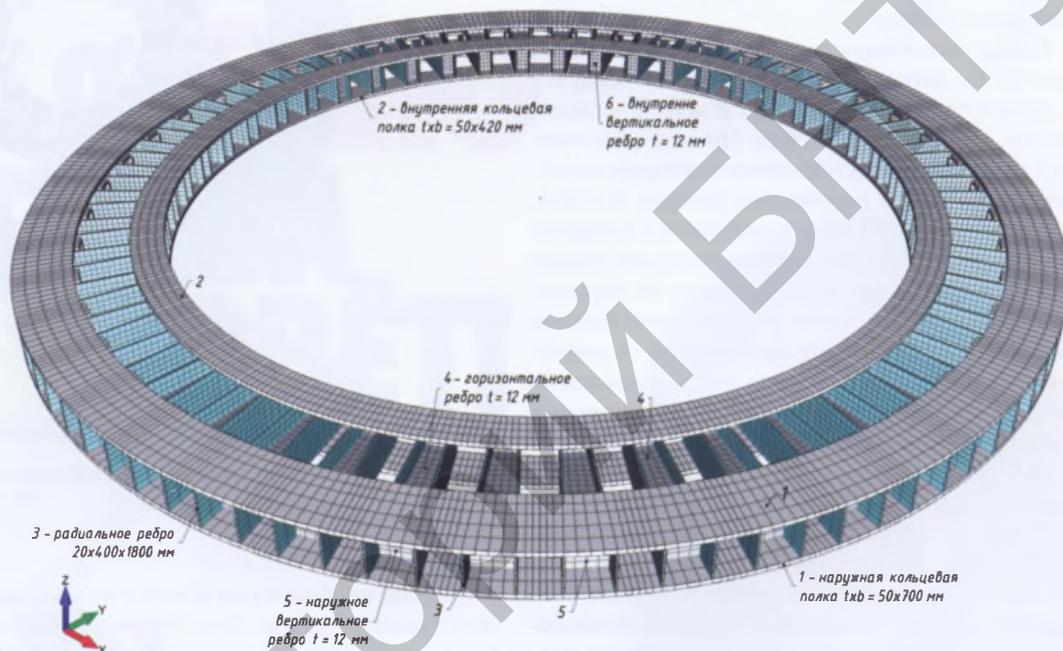


Рис. 2. Конечно-элементная модель нижнего металлического кольца



ет сертификат калибровки. Схема их расположения, которая выводится на дисплей компьютера, приведена на рис. 3. На схеме показаны номера датчиков и усилия в несущих и стабилизирующих вантах в феврале 2013 г.

Для измерения деформаций и определения напряжений в центральном нижнем металлическом кольце установлены 32 струнных датчика СДД, разработанных в Институте прикладной физики НАН РБ. Датчики и измерительное оборудование изготовлены НПФ «Диагностика». Датчики имеют базу 100 мм и крепятся к кольцу при помощи двух шпилек. Они позволяют измерять не только деформации, но и температуру. Каждый датчик закрыт герметичным корпусом. Датчики расположены в кольцевом направлении на расстоянии 100 мм от кромки наружной кольцевой полки и 70 мм внутренней кольцевой полки на верхней и нижней поверхности. Схема

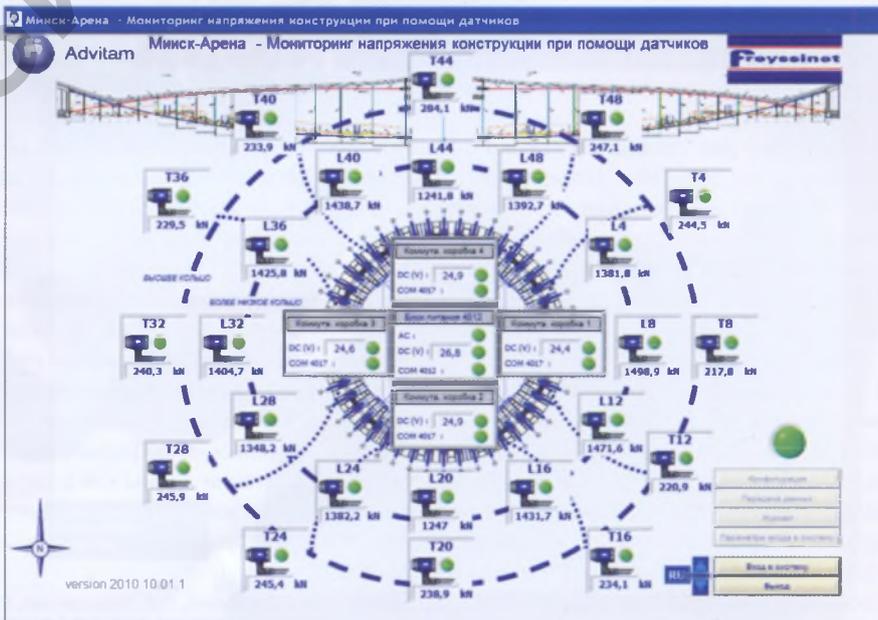


Рис. 3. Схема расположения и показания датчиков на несущих (L) и стабилизирующих (T) вантах (февраль 2013 г.)

расположения датчиков, которая выводится на монитор компьютера, приведена на рис. 4. На схемах указываются номера датчиков и напряжения в кольце. Программа позволяет отображать измеряемые данные (напряжения и температуру), дату и время в табличном виде. Предусмотрены также автоматическое извещение обслуживающего персонала о достижении предельных границ в напряженно-деформированном состоянии вантового покрытия и подача звукового сигнала.

Анализ напряженного состояния вантового покрытия при действии эксплуатационных нагрузок в летний период показал, что усилия в несущих вантах изменяются от 125 до 134 тс в зависимости от размещения подвесного оборудования, что соответствует результатам расчета. В стабилизирующих вантах усилия находятся в пределах от 25 до 29 тс. В нижнем металлическом кольце наибольшие напряжения возникают во внутренних кольцевых пластинах у внутреннего края на верхней поверхности. В зависимости от расположения подвесной нагрузки они изменяются от 82 до 91 МПа. На нижней поверхности кольцевых полок напряжения ниже на 17–20%. Это свидетельствует о внецентренном растяжении кольца. Средние напряжения по толщине составляют 76–85 МПа. При расчете кольца с использованием программного комплекса «ЛИРА» толщина полки моделировалась одним конечным элементом, что не позволило выявить распределение напряжений по толщине. Максимальные расчетные напряжения отличаются от средних фактических на 2–3%.

Для оценки напряженного состояния в зимний период проведено исследование распределения снеговой нагрузки на покрытии. В действующих нормах [3] отсутствуют схемы распределения снеговой нагрузки на висячих конструкциях такого типа. В российских нормах [4] для пологих куполообразных покрытий при отношении стрелы подъема к диаметру $f/d < 0,05$, что соответствует центральной части исследуемого вантового покрытия до кольцевой линии пересечения несущих и стабилизирующих вант, снеговая нагрузка считается равномерно распределенной по площади.

После сдачи арены в эксплуатацию в течение 4 зимних периодов измерялись фактические величины отложения снега на кровле и характер его распределения по двум взаимно ортогональным диаметрам. Плотность определялась путем взвешивания снега, собранного с 1 м^2 площади крыши. В феврале 2012 г. плотность свежевыпавшего снега составляла 126 кг/м^3 . Измерения производились в местах наружного закрепления вант, в ендове между водоприемными воронками внутреннего водостока и через каждые 10 м диаметра покрытия. Результаты замеров показыва-

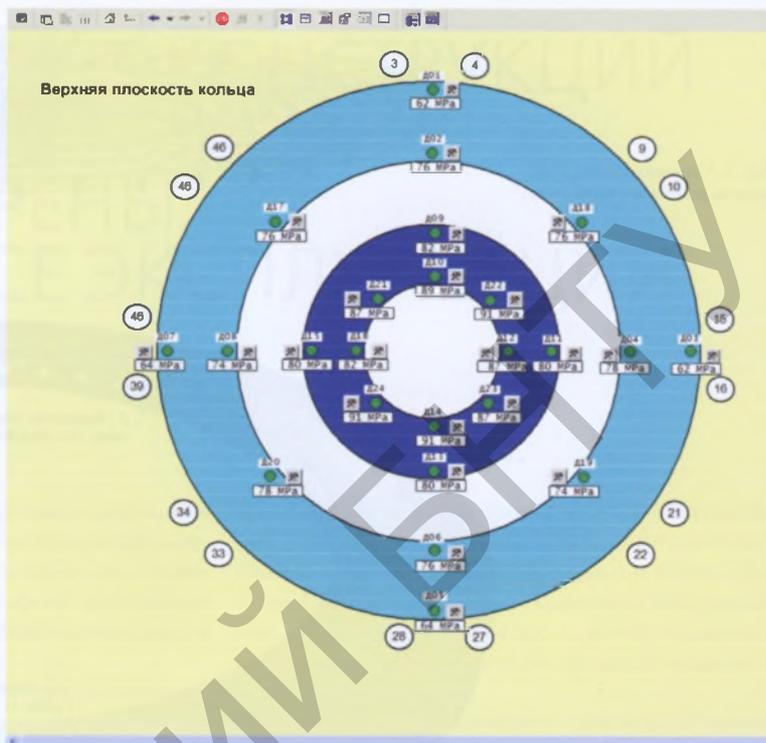


Рис. 4. Схема расположения и показания датчиков СДД на нижнем металлическом кольце

ли, что снеговую нагрузку можно считать равномерно распределенной по площади покрытия. Снеговые мешки образуются только около наружных парапетов и в ендове на пересечении несущих и стабилизирующих вант. Вокруг вентиляхты, расположенной в центре вантового покрытия, высота снежного покрова в 2012 г. составляла 5–10 см, а на остальной куполообразной части 20–25 см. В ендове отложение снега доходило до 50–60 см. В наиболее снежный зимний период 2013 г. величина снеговой нагрузки на кровле оказалась в 1,5 раза больше, чем в предыдущие годы, но характер распределения снега на вантовом покрытии не изменился.

В зимний период 2013 г. усилия в несущих вантах от снеговой нагрузки увеличились до 153–176 тс, что соответствует результатам расчета. В стабилизирующих вантах усилия предварительного напряжения снизились и достигли минимальной величины 17 тс в отдельных вантах. Такая величина усилия достаточна для обеспечения устойчивости покрытия и поддержания кровли в нормальном состоянии. В нижнем металлическом кольце под действием снеговой нагрузки напряжения также увеличились и достигли на верхней поверхности 105–153 МПа. В зимний период 2014 г. (январь) высота снежного покрова даже меньше чем в 2012 г.

Проводимый в течение 4 лет мониторинг показал, что фактическое напряженно-деформируемое состояние вантового покрытия при эксплуатации арены как в летний, так и в зимний периоды соответствует проектному и подтверждает в целом надежность его работы.

Литература

1. Березовский, С.Л., Березовский, Л.Ф., Венгринович, В., Фурунжиев, Р.И. Мониторинг конструкций вантового покрытия // Архитектура и строительство. – Мн., 2009. – № 12.
2. Березовский, С.Л. Вантовое покрытие многофункциональной спортивно-зрелищной арены // Архитектура и строительство. – Мн., 2009. – № 11.
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия // Госстрой СССР. – М., 1986.
4. СТО 36554501-015-2008. Нагрузки и воздействия. – М., 2008.