

ОБСЛЕДОВАНИЕ ВАНТОВОГО ПОКРЫТИЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА «ЮБИЛЕЙНЫЙ» В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Федотов Сергей Дмитриевич¹

главный инженер

тел.: +7 (911) 916-78-02, e-mail: sergey.d.fedotov@gmail.com

Улыбин Алексей Владимирович²

к.т.н., генеральный директор

тел.: +7 (921) 777-45-16, e-mail: ulybin@mail.ru

^{1,2} ООО «ОЗИС-Венчур» (www.ozis-venture.ru), г. Санкт-Петербург

АННОТАЦИЯ

В статье описываются результаты обследования двухпоясного вантового покрытия. Представлены особенности конструктивного решения. Показана необходимость учета больших деформаций вантовых конструкций во избежание повреждений второстепенных элементов. Выполнено экспериментальное определение динамических параметров конструкции, что позволило внести корректировки в расчетную модель. Предложено выделять контролируемые параметры за состоянием конструкции и разрабатывать программы мониторинга при проектировании для последующего систематического контроля за техническим состоянием конструкций такого типа, вне зависимости от причисления их к уникальным.

Введение

Мониторингу и обследованию большепролетных зданий и сооружений, в связи с повышенным уровнем ответственности, в настоящее время уделяется большое внимание [1,2]

Спортивный комплекс «Юбилейный» (СК) запроектирован в 1965 г. институтом ЛЕНЗНИИЭП и введен в эксплуатацию в 1967 г. Стоит отметить, что по проекту Юбилейного в семидесятом году в немецком г. Зуль был построен концертный зал. Первый капитальный ремонт СК был выполнен к играм доброй воли в 1994 г. В 1999 г. при подготовке к чемпионату мира к зданию была пристроена малая арена. Обследование, описанное в настоящей статье, проводилось в рамках подготовки здания к чемпионату мира 2016 г.

Конструктивное решение и монтаж покрытия

Покрытие выполнено в виде двухпоясной висячей системы вантовых ферм, расположенных радиально и образующих поверхность взаимно

пересекающихся параболоидов вращения. Пояса ферм соединены между собой стойками из металлических труб. Горизонтальные усилия от вант воспринимаются сжатым сборно-монолитным железобетонным кольцом, устроенным на консолях колонн и растянутым двухпоясным металлическим кольцом, расположенным в центральной части покрытия.

Пространственная устойчивость вантовых ферм обеспечивается предварительным натяжением верхних поясов, а также двумя кольцевыми поясами вертикальных связей. Схематичное изображение покрытия представлено на рисунке 1.

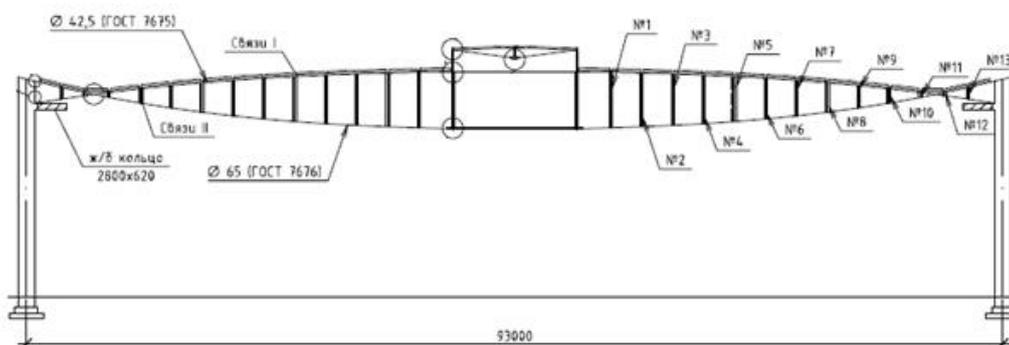


Рисунок 1

В покрытии были применены фермы с пересекающимися поясами, что позволило уменьшить строительную высоту покрытия до 5,5 м. Несущие ванты нижнего пояса выполнены из канатов закрытого типа диаметром 65 мм по ГОСТ 7676 и воспринимают вертикальные нагрузки (собственный вес покрытия, нагрузки от оборудования, снеговую нагрузку). Ванты верхнего пояса выполнены из канатов закрытого типа диаметром 42,5 мм по ГОСТ 7675, воспринимают ветровой отсос и выполняют функцию стабилизаторов конструкции покрытия. Жесткость покрытия обеспечивается предварительным натяжением стабилизирующих вант.

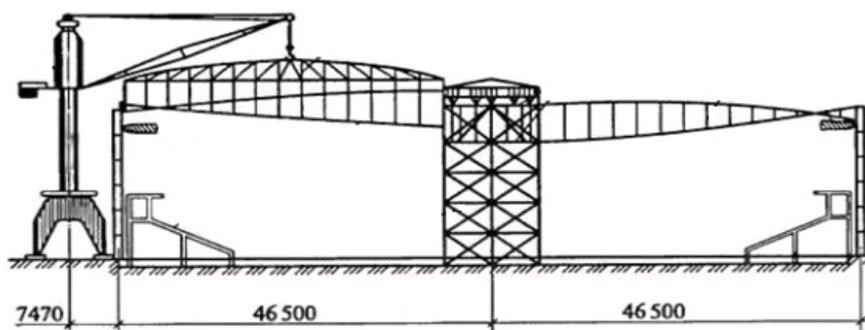


Рисунок 2

Монтаж покрытия осуществлялся в следующей последовательности (см. рисунок 2):

1. Установка металлических колонн с консолями, установка металлических арматурных каркасов к металлическим колоннам и их обетонирование.

2. Монтаж сборных элементов-секторов опорного железобетонного кольца на металлические консоли, армирование и замоноличивание участков между секторами совместно с металлическими консолями.

3. Установка центрального двухпоясного металлического центрального кольца на монтажную башню.

4. Установка вантовых ферм в проектное положение при помощи башенного крана с жесткой траверсой (монтажной фермой).

5. Предварительное натяжение стабилизирующих поясов.

Натяжение стабилизирующих вант выполнялось четырьмя синхронно работающими гидравлическими домкратами грузоподъемностью 80 т каждый за 12 захваток. Расчетные усилия предварительного напряжения после натяжения всех ферм (без нагрузки на фермы) составляли: 60 т – в стабилизирующем канате и 40 т – в несущем канате.

Анализ ранее выполненных обследований

В ходе работ были проанализированы результаты предыдущих обследований [3 – 10]. В первые годы эксплуатации обследования и мониторинг выполнялись регулярно. В период с 70 по 87 гг были выполнены всего три цикла измерений, причем в разные времена года. После ремонта кровли в 1994 г первое обследование и геодезические измерения были выполнены только в 1998 г. Данное обследование показало существенное поднятие центрального кольца за счет снижения нагрузки от веса кровельного покрытия. Однако спустя семь лет прогиб опять увеличился до значений 784 мм. Стоит отметить, что натяжение стабилизирующих тросов не так сильно реагирует на вертикальные деформации.

Состояние покрытия характеризуется периодическим появлением ряда дефектов (было отмечено в нескольких отчетах):

– Касание стойками вентиляционных каналов на опорном кольце (рисунок 3);

– Проскальзывание (смещение) муфт крепления стоек (рисунок 4);

- Повреждение окрасочного покрытия вантовых ферм;
- Повреждение гидроизоляционного ковра;
- Замачивание утеплителя.



Рисунок 2

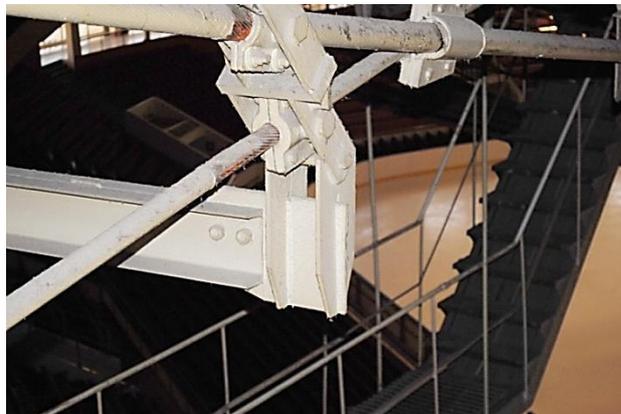


Рисунок 3

Результаты визуального обследования

В ходе визуального освидетельствования конструкций, выполненного по методике [11], кроме характерных дефектов, отмеченных в предыдущих обследованиях, авторы обратили внимание на повреждение металлических рамок, поддерживающих акустическое заполнение покрытия (рисунок 5).



Рисунок 4

Повреждения в виде погибей были также зафиксированы и в металлических панелях покрытия. С учетом того, что повреждения преимущественно располагались над опорами, первой была версия о потере устойчивости над опорами в предположении о неразрезной работе конструкции. Однако при более детальном анализе проекта было установлено, что панели покрытия работают по разрезной схеме, ввиду чего, изгибающие моменты над опорами отсутствуют.

В ходе визуального обследования помимо фиксации деформаций в узлах и элементах достаточное внимание уделялось выявлению коррозионного повреждений. Наиболее опасными с этой точки зрения являются скрытые от осмотра узлы сопряжения несущих вант с колоннами каркаса, а также элементы опорного железобетонного кольца. Для оценки состояния узлов и элементов были осуществлены их вскрытия. Оценка коррозионного состояния арматуры произведена с использованием традиционного подхода [12], в результате чего зафиксировано отсутствие коррозионного повреждения. Необходимо отметить, что применение неразрушающих методов контроля [12] коррозии арматуры на данном объекте не целесообразно. Необходимо также отметить, что для канатов, в особенности закрытого типа, методика оценки коррозионных повреждений, изложенная в работе [13] является практически неприменимой. Коррозия может начаться внутри каната, при этом вскрытие любого сечения каната недопустимо. Неразрушающие методы, позволяющие достоверно оценить коррозионное состояние внутренних прядей канатов не известны.

Результаты геодезических измерений

Геодезические измерения заключались в измерении среднего прогиба и крена центрального двухпоясного металлического кольца. В ходе анализа результатов и сопоставления с данными предыдущих измерений было установлено, что сезонные вертикальные перемещения кольца имеют величину до 200 мм, а крен кольца зависит от размещения технологического оборудования и перемещения снеговых масс в зимний период.

Существенные сезонные деформации покрытия приводят к тому, что панели покрытия начинают работать, как пологий купол за счет зажатия панелей между стоек ферм, испытывая значительно большие усилия сжатия по сравнению с расчетными. Таким образом, была выдвинута вторая версия о причинах образования погибей в панелях покрытия.

Результаты анализа конструкций методом конечных элементов

Предположение, выдвинутое после геодезических измерений, подтвердилось после анализа покрытия методом конечных элементов, по результатам которого были сделаны следующие выводы:

– При достижении давления на покрытие от снегового покрова 0,9 кПа в стабилизирующих вантах теряется предварительное натяжение и начинают возникать сжимающие усилия.

– Выход из работы стабилизирующих канатов при определенном стечении обстоятельств может привести к возникновению кинематических перемещений конструкций покрытия, как в плоскости, так и из плоскости ферм.

– При этом максимальные усилия в несущих поясах не превышают предельно допустимых.

Определение динамических характеристик покрытия

Исследования выполнены по методике, изложенной в работах [14,15]. Измерения проведены по пяти схемам (четырем прямолинейным створам вдоль различных осей покрытия и круговой расстановке), при этом измерения выполнены как при импульсном возбуждении колебаний покрытия прыжками в точках рядом с каждым датчиком, так и при микросейсмических колебаниях от внешних воздействий. По результатам обработки полученных реализаций определены частоты и построены эпюры нескольких форм свободных колебаний покрытия. Идентификация форм колебаний осуществлялась путем сопоставления результатов испытаний с формами колебаний, полученными при модальном анализе модели сооружения, выполненной в программном комплексе SCAD Office. В итоге выделены и надежно идентифицированы 3 низших формы вертикальных колебаний покрытия (рисунок 6, 7). При этом колебания, идентифицированные как 1-я форма колебаний выявлены для двух взаимно-перпендикулярных осей с небольшим различием по частоте.

В результате исследований экспериментально получены периоды, частоты и формы собственных колебаний, которые могут впоследствии использоваться для дальнейшего мониторинга [16] путем контроля изменения частот его свободных колебаний, либо для оценки эффективности мероприятий по усилению покрытия.

Кроме того, сопоставление результатов экспериментальных данных с данными полученными расчетным путем позволило выявить ошибки и внести коррективы в расчетную модель.

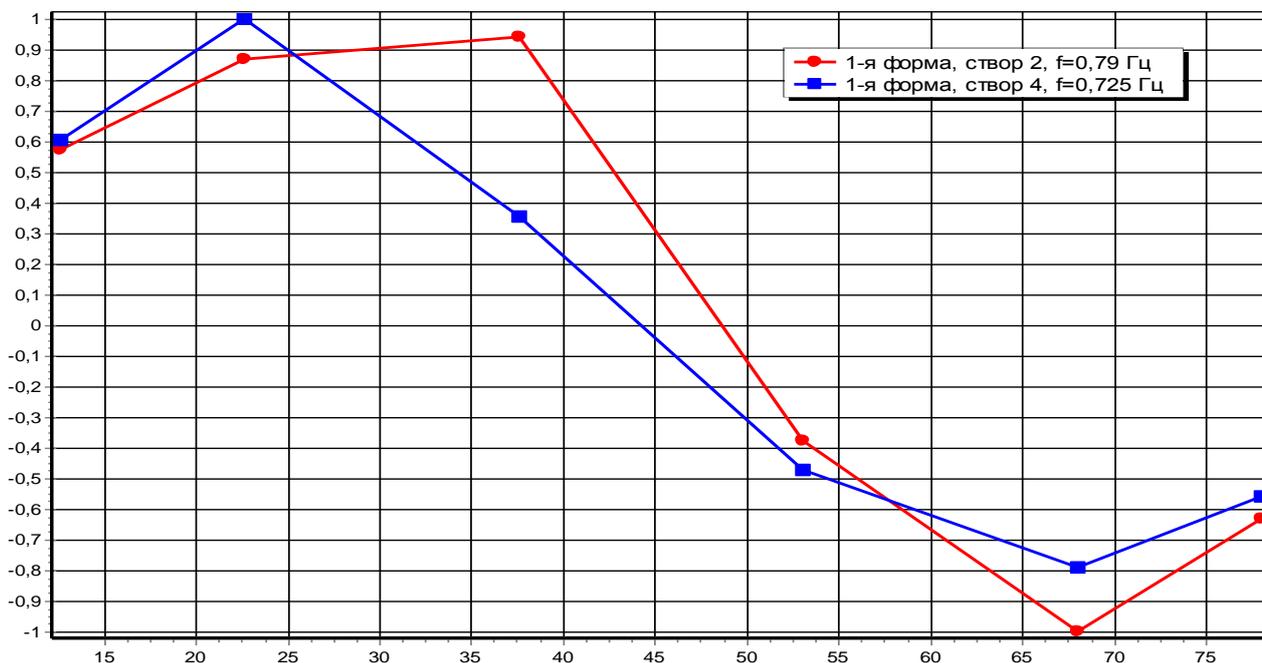


Рисунок 5 – Формы колебаний покрытия по двум створам. По горизонтальной оси отложено расстояние в метрах, по вертикальной оси относительная амплитуда колебаний

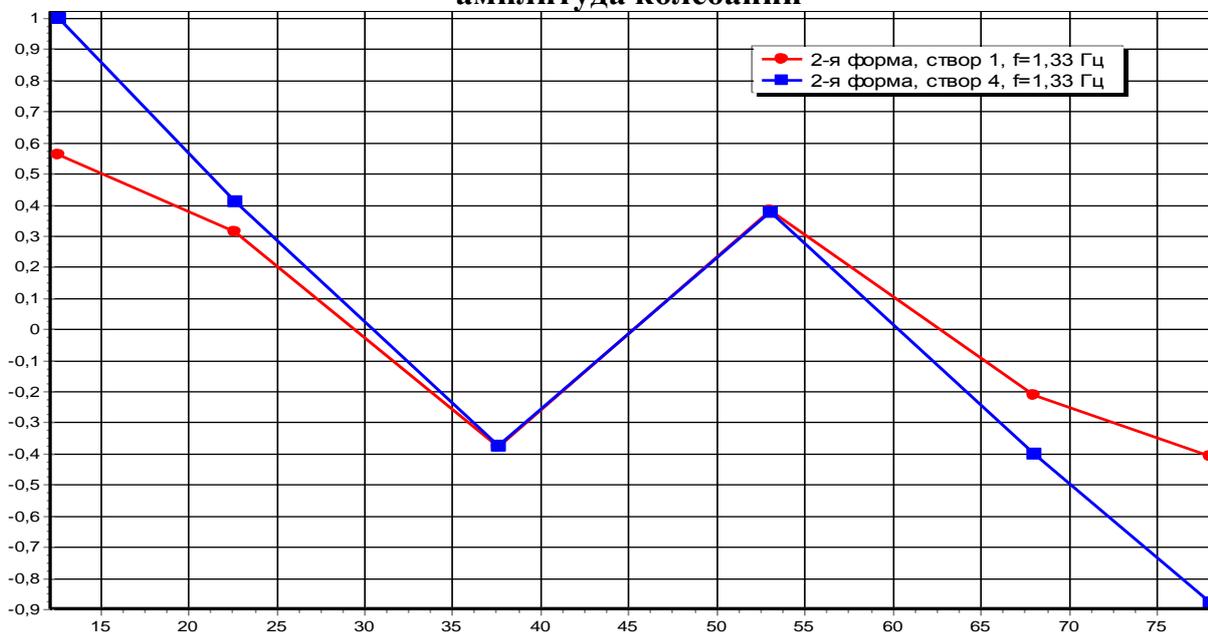


Рисунок 6 - Формы колебаний покрытия по двум створам По горизонтальной оси отложено расстояние в метрах, по вертикальной оси относительная амплитуда колебаний

Основные выводы и предложения

1. При проектировании, монтаже и ремонте вантовых покрытий необходимо особое внимание уделять податливости узлов сопряжения конструкций для исключения возникновения непроектных усилий. При обследовании конструкций, соответственно, необходимо детально обследовать данные узлы для выявления возможных дефектов.

2. Для возможности анализа изменения технического состояния объектов во времени должны разрабатываться (предпочтительно на этапе проектирования) программы комплексного наблюдения за наиболее значимыми параметрами, определяющими фактическое состояние конструкций. Рекомендуются к рассмотрению и использованию системы активного мониторинга, предлагаемые в работе [17].

3. Экспериментальное определение динамических характеристик позволяет не только оценивать техническое состояние конструкций при их мониторинге, но также предоставляет возможность адекватной оценки расчетной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Касимов В.Р., Кузнецов С.Г., Назим Я.В., Васылев В.Н. Мониторинг сложных технических систем // Металлические конструкции. 2008. Т. 14. № 4. С. 299-313
2. Мушанов В.Ф., Руднева И.Н. Влияние температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние висячей системы, образованной системой изгибно жестких нитей // Современное промышленное и гражданское строительство. 2012. Т. 8. № 1. С. 5-13.
3. Заключение по научно-исследовательской теме: «Исследование процессов изготовления и монтажа висячего покрытия спортивной арены ДСО «Труд» в г. Ленинграде» от 7.09.1967 г.
4. Акт натурных измерений действительных усилий и прогибов вантового покрытия Дворца спорта «Юбилейный» от действия постоянной нагрузки от 27.10.1967 г. – СПб.: ЛЕНЗНИИЭП, 1967 г. – 2 с.
5. Акт обследования вантового покрытия Дворца спорта «Юбилейный» по состоянию на 1 октября 1968 г. – 1 с.
6. Акт обследования конструкций вантового покрытия Дворца спорта «Юбилейный» от 25.03.1970 г. – СПб.: ЛЕНЗНИИЭП, 1970 г. – 3 с.

7. Отчет по обследованию несущих конструкций вантового покрытия Дворца спорта «Юбилейный». Май 1998 г. – СПб.: ЛЕНЗНИИЭП, 1998 г.
8. Отчет по теме: «Обследование конструкций и инженерных сетей здания Дворца спорта «Юбилейный». Книга 10. Заключение о техническом состоянии кровли демонстрационной арены. – СПб.: БЭСКИТ, 1998г. – 20 с.
9. Заключение по материалам обследования строительных несущих конструкций вантового покрытия Дворца спорта «Юбилейный». – СПб.: НЭСП «Надежность», 2006 г. – 78 с.
10. Исследование и контроль качества строительных конструкций и их элементов. Сборник научных трудов. – СПб.: ЛЕНЗНИИЭП, 1983 г. – 124 с.
11. Улыбин А.В., Ватин Н.И. Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014. №10 (25). С. 134-146.
12. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал, 2011. №7. С. 18-24.
13. Федотов С.Д., Улыбин А.В., Шабров Н.Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал, 2013. №1. С. 12-20.
14. Савин С.Н. Динамический мониторинг строительных конструкций на примере пандуса киноконцертного зала «Пушкинский» в г. Москва // Инженерно-строительный журнал, 2012. №7 (33). С. 58-62.
15. Савин С.Н., Демишин С.В., Ситников И.В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал, 2011. №7. С. 33-39.
16. Ватин Н.И., Улыбин А.В., Огородник В.М. ГОСТ Р 53778-2010: обследование инженерных сетей и другие особенности нового нормативного документа // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №1(19). – С. 5-7
17. Землянский А.А., Землянский К.А. Инновационная система активного мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений БАЭС / Безопасность ядерной энергетики.- Волгоград: ИПО ВИТИ НИЯУ МИФИ. 2014. С. 10-12.

INSPECTION OF CABLE-STAYED TRUSSES IN SPORTS COMPLEX «YUBILEYNYIY» SAINT-PETERSBURG, RUSSIA

Fedotov Sergey Dmitrievich¹

Chief Engineer

Phone: +7 (911) 916-78-02, e-mail: sergey.d.fedotov@gmail.com

Ulybin Aleksey Vladimirovich²

PhD (Eng), CEO

Phone: +7 (921) 777-45-16, e-mail: ulybin@mail.ru

^{1,2} LLC «OZIS-Venture» (www.ozis-venture.ru), Saint-Petersburg

ABSTRACT

Article describes inspection results of cable-stayed trusses in the roof of sports complex. The special features of roof are illustrated. The need of gaps between constructions with different deformation is explained. Dynamic parameters of the roof have been got experimentaly for the further monitoring. Also the dynamic parameters were used to correct FEM model of the roof. Special benchmarks for monitoring should be given in stage of project to provide safe technical condition.