

Заключение. Основное требование, предъявляемое в настоящее время к строительству и реконструкции высоких дымовых труб, - их долговечность – достигается полной изоляцией несущих конструкций от соприкосновения с агрессивными по отношению к бетону или кладке дымовыми газами. Конструктивно это обеспечивается размещением внутри железобетонной или кирпичной оболочки газоотводящих стволов из газоплотных материалов, таких как малолуглеродистые и низколегированные стали, титан, полимерные композиционные материалы. Только при такой конструкции можно достичь требуемой долговечности эксплуатируемых дымовых труб.

Список цитированных источников

1. Стриха, И.И., Жученко, Е.А., Алешенко, Л.В. Методические указания по теплоаэродинамическому расчету дымовых труб с прижимной футеровкой и с вентзазором. РД РБ 09 110.20.520-02. – Мн.: РУП «БЕЛТЭИ», 2002.
2. Ствол трубы дымовой железобетонной Н=90 м $d_o=3,6$ м. ТП 907-2-178. ВНИПИ «Теплопроект» – Ленинград, 1975.
3. Труба дымовая кирпичная Н – 60 м $d_o – 3,0$ м с надземным примыканием газоходов для котельных установок. ТП 907-2-216. ВНИПИ «Теплопроект» – Ленинград, 1978.
4. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника.

УДК 624.072.327

БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЕ ВАНТОВОЕ ПОКРЫТИЕ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНОЙ АРЕНЫ КОМПЛЕКСА «МИНСК-АРЕНА»

Башкевич И.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Березовский С.Л.

«Белгоспроект», г. Минск

Введение. Висячие покрытия являются одной из наиболее перспективных конструктивных форм для перекрытия сооружений больших пролетов. Этому способствует ряд преимуществ висячих покрытий перед традиционными жесткими формами. Такие конструкции работают на растяжение, что позволяет наиболее полно использовать высокопрочный материал. Висячие покрытия позволяют предельно уменьшить строительную высоту и сократить отапливаемый объем здания.

Конструктивное решение. Многофункциональная спортивно-зрелищная арена цилиндрического объема на 15000 зрителей комплекса «Минск-Арена» рассчитана на проведение соревнований и учебно-тренировочного процесса по более чем 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 шт. 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).

Очертание несущих и стабилизирующих вант по кубической параболе.

Расстояния между стойками вантовых ферм установлены из условия удобства водоотвода с покрытия, перевозки и монтажа металлических плит покрытия. Здание отнесено к первому классу ответственности с коэффициентом надежности по назначению $\gamma_n=1.2$.

Несущие ванты фирмы «Freyssinet» [1] состоят из 27 прядей П7 сечением $A_n = 4050 \text{ мм}^2$; стабилизирующие ванты – из 7 прядей П7 сечением $A_c = 1050 \text{ мм}^2$. Модуль упругости вант $E = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Расчетное сопротивление вант $R_y = 840 \text{ МПа}$ ($0.45 R_n$).

Стойки вантовых ферм приняты из труб сечением 159x5 мм. Вантовые фермы раскреплены 3-мя кольцевыми крестовыми связями из арматурной стали класса S400 диаметром $d = 25 \text{ мм}$ (рисунок 2).

Пося нижнего и верхнего колец приняты общей шириной 1120 мм. Внутренний радиус кольца составляет 5020 мм, наружный – 6820 мм, угол между смежными узлами крепления вант 7.5° . Полки нижнего кольца имеют сечение $50 \times (700+420) \text{ мм}$,

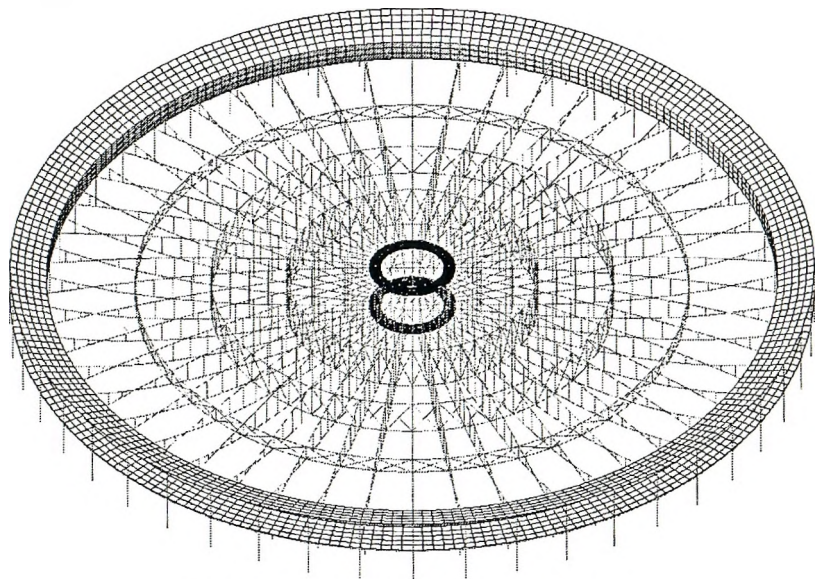


Рисунок 1 - Аксонометрия вантового покрытия

верхнего - $25 \times (700+420) \text{ мм}$, Расстояние между полками для размещения анкеров в нижнем кольце 400 мм, в верхнем - 300 мм (рисунок 2).

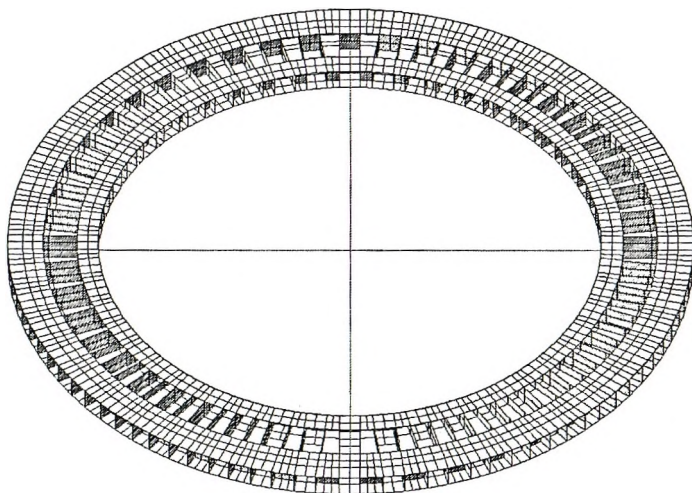


Рисунок 2 — Общий вид конечно-элементной модели металлических колец

Расстояние между внутренними и наружными полками колец по горизонтали принято равным 680 мм, что дает ширину поперечного сечения колец 1800 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 (рисунок 3). Крепление вант осуществлялось в окнах с помощью анкерных устройств фирмы Freyssinet к плитам, которые передают нагрузку на упорные пластины. Верхнее и нижнее кольца соединены между собой 24 стойками из труб сечением 159x5 мм.

Расчет металлических колец выполнен при различных загрузках, включая особые сочетания, обусловленные отказом (разрушением) одной из вант, а также развитием больших деформаций в поясах кольца.

В качестве наружных опорных колец используются железобетонные перекрытия поперечным сечением 6300x300 мм, соединенные между собой по внутренней грани цилиндрической стенкой. Бетонная стена толщиной 400 мм расположена по всей окружности диаметром 116 м. В местах крепления вант установлены монолитные железобетонные пилоны шириной от оси стены 1000 мм, толщиной 700 мм.

Расчет вантовой системы. Для определения сечений несущих и стабилизирующих вант, сечений центральных металлических колец, сечений соединительных стоек и расположения кольцевых связей выполнен предварительный расчет вантовой системы по методике Н.С. Москалева, принятой в Рекомендациях ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко по проектированию висячих конструкций [2].

В основу исследований напряженного и деформированного состояния несущих конструкций покрытия спортивной арены использовались программные комплексы ЛИРА -RK5 [3], ANSYS [5] и COSMOS/M. Учитывая особенность применяемых вантовых конструкций – их большую деформативность и способность вант работать только на растяжение, задача решалась в геометрически и конструктивно нелинейной постановке. Разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений решалась методом сопряженных градиентов.

Расчетная схема пространственной двухъярусной радиальной вантовой системы создана на основе полуфермы по заданной геометрии. Совместно с внутренними верхним и нижним металлическими кольцами, соединенными стержневой решеткой, полуфермы образуют единую пространственную нелинейно деформируемую вантово-стержневую систему, опирающуюся на наружный железобетонный опорный контур. В расчетной схеме покрытия пояса вантовых ферм, а также пояса и диагонали связевых ферм рассматривались как гибкие нити, работающие только на растяжение.

Монтаж вантового покрытия. Для монтажа вантового покрытия в центре арены смонтирована временная пространственная опора, на которую были установлены металлические кольца центрального барабана. Верхнее кольцо барабана опирается на нижнее через 24 трубчатые стойки, развязанные между собой. Монтаж вантовых ферм производился навесным способом с использованием канатной дороги из двух 7-проволочных стальных прядей. Канатная дорога закреплялась на верхнем железобетонном кольце в металлических упорах. Монтаж вант велся с использованием переставных рабочих платформ на двух уровнях у железобетонного кольца для одновременной работы с несущими и стабилизирующими вантами. Стойки вантовых ферм подавались башенным краном в зону рабочих платформ и присоединялись к хомутам вант по мере их перемещения в сторону центральных металлических колец.

С одной стороны вант крепился нерегулируемым анкером в виде стальной серги, а с другой – регулируемый анкер с гайкой, позволяющий регулировать величину натяжения вант. Формируемые фермы перемещались по канатной дороге на специальных каретках при помощи лебедок (рисунок 3) и закреплялись в неподвижных анкерах на железобетонных перекрытиях. В металлических кольцах центрального барабана вантовые фермы закреплялись с помощью регулируемых анкеров.

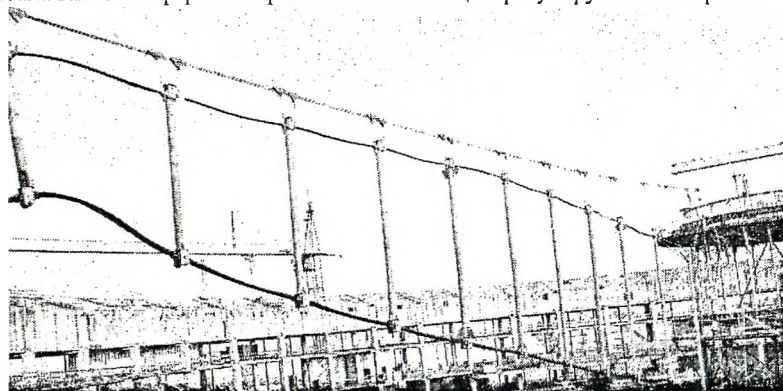


Рисунок 3 - Монтаж вантовых ферм

Несущие ванты заводились с усилием 14 тс, а стабилизирующие – с усилием 2 тс, что обеспечивало устойчивость поясов ферм во время монтажа. Предварительное исследование на физической модели вантовой фермы в масштабе 1:25, проведенное в лаборатории испытания конструкций БНТУ, показало, что при этих условиях устойчивость поясов обеспечивается.

Ванты шарнирно подсоединялись к железобетонному кольцу с помощью цапф, которые вставлялись в проушины анкерных устройств железобетонного кольца и вант.

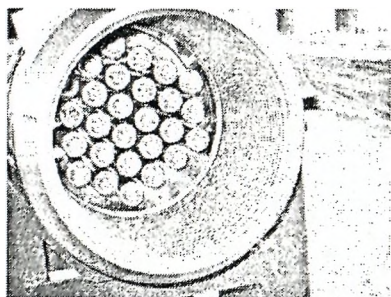


Рисунок 4 - Глухие анкера прядей несущей ванты

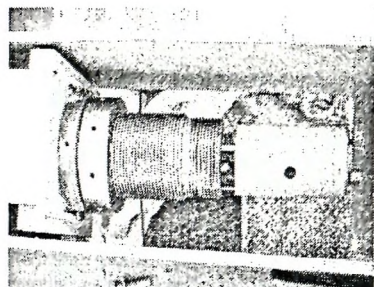


Рисунок 5 - Анкеровка вант на металлическом кольце

На центральный барабан анкер несущей ванты заводился с усилием 140 кН, анкер верхней стабилизирующей ванты, снабженный тягой с гайкой для регулирования длины при натяжения, заводили тяговым усилием 20 кН. Вантовые фермы напрягались в три этапа усилиями 140 кН, 350кН и 510 кН. После предварительного натяжения стабилизирующих вант на анкерные устройства надевались металлические кожухи, которые заполнялись расплавленным парафином для защиты оголенных участков прядей в местах крепления анкеров от коррозии. Освобождение центральной башни проводилось с помощью 8 гидродомкратов путем последовательного опускания телескопических участков стоек башни.

Ограждающими конструкциями покрытия служат стальные панели из профилированного настила 16 типоразмеров трапецидального очертания. Их укладывают по верхним поясам вантовых ферм на столики вертикальных стоек. Общий вид смонтированной двухпоясной вантовой системы покрытия представлен на рисунке 6.

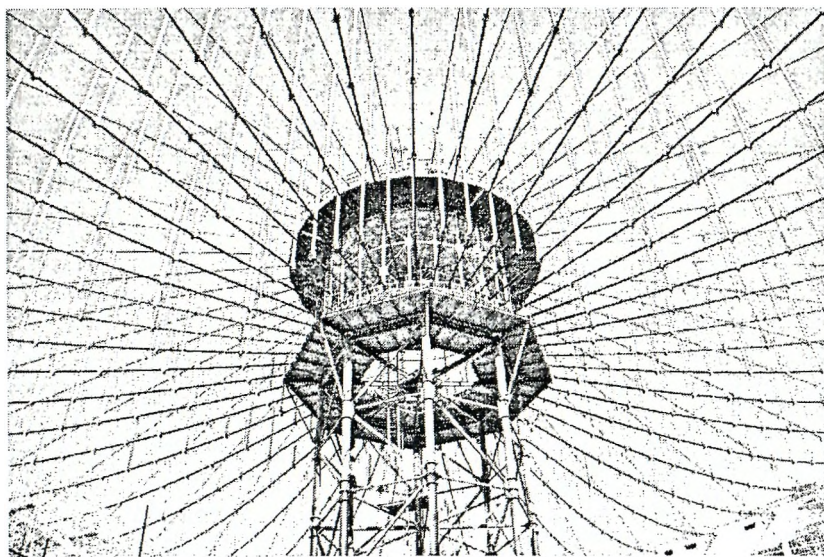


Рисунок 6 - Смонтированная система вантового покрытия

Заключение. 1. Радиальная двухпоясная вантовая система спортивно-зрелищной арены комплекса «Минск-Арена» диаметром 116,0 м отличается легкостью и стабильностью покрытия, небольшой высотой строительного отапливаемого объема.

2. Компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния двухпоясной вантовой системы с одновременным использованием нескольких программных комплексов позволил оперативно вносить коррективы в расчетные модели и показал высокую сходимостью результатов.

3. Монтаж вантовых ферм навесным способом с использованием канатной дороги без установки лесов показал его высокую эффективность

Список цитированных источников

1. Ванты Фрейссине. / Представительство «Фрейссине Интернасьональ» в России.– М.: 2006.

2. Рекомендации по проектированию висячих конструкций./ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: 1974.

4. Стрелец-Стрелецкий, Е.Б., Гензерский, Ю.В., Лазнюк, В., Марченко, Д.В., Титок, В.П. Лири 9.2.Руководство пользователя. Основы: учебное пособие. Киев: издательство «Факт», 2005. – 145 с.

4. Басов, К.А. ANSIS в примерах и задачах. – М.: Компьютер Пресс, 2002.