



Рассматриваются уникальные проектные решения вантовой системы кровли многофункционального спортивного комплекса «Волгоград Арена», построенного в Волгограде к Чемпионату мира по футболу – 2018 в России. На основе проектного опыта автором статьи рассмотрены этапы подготовки и монтажа вантовой системы кровли, спроектированной по индивидуальному проекту. Анализируются преимущества и недостатки вантовой системы кровли.

Ключевые слова: стадионы; вантовая система кровли; архитектурные решения; конструктивные решения; многофункциональные спортивные комплексы. /

The article deals with modern design and architectural solutions for the cable-stayed roof system of the multifunctional sports complex "Volgograd Arena" built in Volgograd for the 2018 World Cup in Russia. On the basis of the design experience, the author of the article considers the stages of preparation and installation of a unique cable-stayed roof system designed according to an individual project. The advantages and disadvantages of the cable-stayed roof system are also considered.

Keywords: stadiums; cable-stayed roof system; architectural solutions; design solutions; multifunctional sports complexes. /

«Волгоград Арена»

Современные конструктивные и архитектурные решения вантовой системы кровли многофункционального спортивного комплекса /

текст
Павел Смольянов
Ольга Суслова /
 text
Pavel Smolyanov
Olga Suslova

Многофункциональный спортивный комплекс «Волгоград Арена» является первым и единственным на всей территории России стадионом на 45 тыс. зрительских мест с вантовым висячим покрытием (аналог вантовой системы меньших размеров находится в Краснодаре).

Проект многофункционального спортивного комплекса и архитектурную концепцию разработал проектный институт уникальных сооружений «Арена» (руководитель авторского коллектива Д. В. Буш; разработка архитектурной концепции: Орлов А., Куфонин И., Подъяпольский Д., Заклучаев А., Бузмакова Е., Романова Л., Серикова О., Харитоновна К., Коробков С., Цыплаков А., инженеры: Бекмухамедов Е., Есина Л. [1].

Вантовая система выполнена по принципу «велосипедного колеса». Стальные тросы (ванты) расходятся от центра крыши. Было принято современное проектное решение, благодаря которому при возведении объекта существенно снижается металлоемкость (Рис. 1).

В мировом опыте проектирования и строительства зданий и сооружений спортивного назначения большепролетные висячие покрытия получили широкое распространение (спортивный комплекс «Олимпийский», Олимпийский велодром в Лондоне, Большой спортивный бассейн в Токио архитектора Кензо Танге). В них основные несущие элементы – ванты, прокатные профили, мембраны, которые работают на растяжение. Висячие системы имеют ряд преимуществ перед фермами, рамами

и арками. Они могут перекрыть пролеты более 300 м; несущая способность вант реализуется в полной мере, вес покрытия минимальный. При увеличении пролета масса несущих элементов на единицу площади не увеличивается, строительная высота покрытия минимальная. Нет проблем с транспортировкой конструкций (ванты можно свернуть в бухты), при выполнении монтажа покрытия снижается потребность в лесах и подмостях. В процессе эксплуатации они менее чувствительны к различного рода перегрузкам и осадкам опор. Все это положительно влияет на минимизацию затрат при строительстве и эксплуатации стадиона.

У этих конструктивных систем есть ряд недостатков. Основной – их деформативность, отсутствие пространственной жесткости. Этот недостаток может привести к нарушению геометрии крыши, тем самым ограничить возможность установки навесного кранового оборудования, а также негативно отразиться на аэродинамической устойчивости покрытия. Отмеченные проблемы решаются стабилизацией висячих конструкций. Некоторым недостатком является необходимость постоянного эксплуатационного контроля за силой натяжения. Например, для спортивного бассейна в Токио создана целая лаборатория, которая является активным элементом объемно-пространственного решения (Рис. 2).

Висячие покрытия классифицируются по следующим признакам: геометрическая форма поверхности, Гауссова кривизна, материал, форма покрытия в плане и т. д. [2].

Применение вантовых покрытий на спортивных сооружениях обусловлено их технико-экономическими преимуществами перед традиционными конструкциями и, что особенно важно для спортивных объектов, с помощью данной технологии возможно перекрыть очень большие пролеты без промежуточных опор.

Конструкция стадиона «Волгоград Арена» является уникальной: для нее были разработаны специальные технические условия и особый план производства работ, включающий поэтапное возведение, начиная с фасада, который представляет собой металлическую решетку, спроектированную по принципу гиперboloида Шухова. Разработка проекта включала в себя обязательную продувку макета в аэродинамической трубе. Для поиска

^ Рис. 1. Монтаж вантовой конструкции на стадионе «Волгоград Арена» в Волгограде

v Рис. 2. Олимпийский комплекс Кензо Танге в Японии





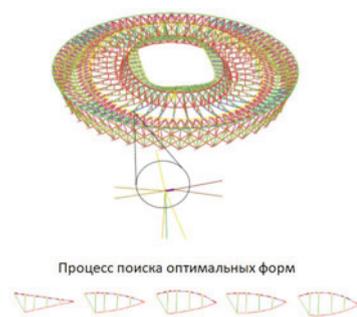
"Volgograd Arena"

Modern Design and Architectural Solutions for the Cable-Stayed Roof System of the Multifunctional Sports Complex

оптимальной формы оболочек производился расчет нагрузок и составлена расчетная модель (Рис. 3). Каждый отдельный элемент конструкции – металлический профиль или вантовая ферма – были тщательно подобраны и проверены [3].

Каждая стадия монтажа была смоделирована в специальной программе, чтобы оценить монтажные нагрузки на каждом этапе возведения. После постройки фасада начались работы по монтажу покрытия над фойе. Таким образом, конструкция получилась замкнутой снаружи, и монтажники оказались готовы к следующему этапу – большому подъему тросовой системы. Каждый из 88 тросов вантовой фермы натягивался отдельно с помощью канатных домкратов. После возведения всех металлических конструкций был начат монтаж висячей оболочки.

В процессе проектирования концепция изменилась. Вначале предполагалось, что козырек над полем будет сделан из поликарбоната, а остальная часть кровли – из ПВХ-мембраны. Однако, учитывая ряд особенностей поликарбоната и отрицательный опыт эксплуатации ранее построенных спортивных объектов, было решено отказаться от применения этого материала, имеющего к тому же низкие противопожарные показатели. В качестве материала для покрытия над козырьком была предложена однослойная ЭТФЭ-мембрана. Материал имеет высокую прочность, устойчив к атмосферным воздействиям, а также способен самоочищаться. Мембрана белого и голубого цвета задерживает ультрафиолетовое излучение, не снижая общего уровня освещенности.



< Рис. 3. Вантовая система кровли на стадионе «Волгоград Арена» в Волгограде

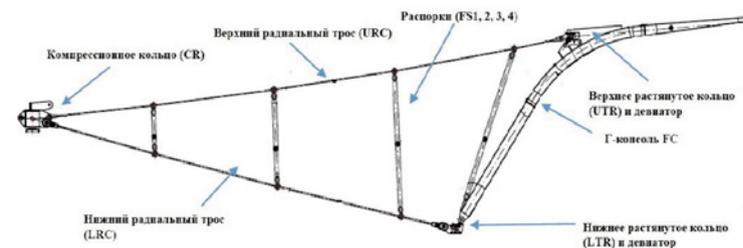
Монтаж вантовой системы кровли стадиона занял довольно продолжительное время и включал в себя два больших этапа: сборку и подъем собранной системы в проектное положение. Подготовительные работы длились три месяца и включали в себя соединение необходимых элементов, выполнение работ по монтажу временных конструкций, раскладку вант и непосредственно подъем. Внутренний контур вантовой системы является гибким. Он состоит из стальных канатов высокой прочности, которые образуют друг над другом два пояса на высоте 34 м и 48 м. Диаметр верхнего пояса 130 м, нижнего 150 м. Оба пояса состоят из шести канатов с алюмоцинковым покрытием, которые объединены между собой девиаторами (зажимами). Первоначально верхний ярус вант подняли на высоту 27 м, после чего началась установка «Г-консоли», далее закрепили к ним нижний ярус вант. В результате за счет натяжения нижнего яруса громадная металлическая конструкция поднялась на проектную высоту (Рис. 4). Несущими элементами вантовой крыши являются прочные стальные канаты, которые расположены над трибунами стадиона.

^ Рис. 4. Монтаж вантовой кровли на стадионе в Волгограде

Внешним контуром вантовой системы кровли стадиона служит жесткое компрессионное кольцо (еще его называют опорным кольцом), оно располагается на высоте 40 м и опирается на 44 несущие колонны (Рис. 5). Диаметр опорного кольца 200 м, периметр 700 м [4].

Внутренний и внешний контур вантовой системы крыши соединены радиальными вантами высокопрочными стальными канатами. Над трибунами стадиона находится

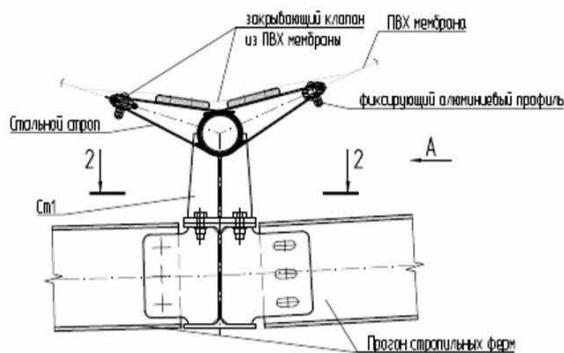
v Рис. 5. Схема покрытия над трибунами на стадионе в Волгограде





> Рис. 8. Стадион
ФК «Краснодар»
в Краснодаре

> Рис. 6. Крепление
кровли на стадионе в
Волгограде



система из 44 вантовых ферм, в которую входят 44 нижних и 44 верхних радиальных ванта, крепкие металлические вертикальные распорки, соединяющие между собой верхние и нижние ванты. Таким образом осуществляется стабилизация конструкции.

После завершения монтажа и поднятия вантовой системы в проектное положение на 48 м на нее закрепили мембранное покрытие в белых, синих и голубых цветах. Кровельное покрытие – прочная и устойчивая к перепадам температур эластичная мембрана на основе ПВХ (поливинилхлорид), которая крепится фиксирующими элементами к прогонам (Рис. 6). ПВХ-мембрана имеет полимерное покрытие на основе поливинилденфторида и акрила.

v Рис. 7. Способ закрепления ПВХ-мембран на стадионе в Волгограде



Мембрана над фойе смонтирована по другому принципу. Она не закреплена, а свободно перемещается над жесткой металлоконструкцией (Рис. 7). Так как изначально здесь был запланирован поликарбонат, крыша в этом месте должна была быть плоской; соответственно, результаты продувки в аэродинамической трубе на уровне макета уже не годились. Специалистам пришлось проводить дополнительные расчеты и моделировать продувку виртуально, с помощью специального программного обеспечения. Нагрузки для плоской крыши – только вертикальные, но так как вместо поликарбоната сконструирована мембрана, за счет формы оболочки появилась двойная кривизна и стали учитываться нагрузки как вертикальные, так и горизонтальные. Однако проблема заключалась в том, что металлические конструкции крыши были уже смонтированы. Для того, чтобы они смогли выдержать новые нагрузки, разработан специальный вариант арок с затяжкой, которые крепились к прогонам, а не к фермам. В процессе разработки 3D-модели каждая арка имела собственную форму и размер.

Покрытие стадиона (включая вантовую систему над трибунами и металлические фермы над фойе) в плане представляет собой круг диаметром 290 м, площадь кровли – 62 тыс. м². Спроектированное покрытие рассчитано на снеговую нагрузку в 120 кг/м² (сможет выдержать вес более 7000 т).

При проектировании многофункционального спортивного комплекса учитывался международный опыт, но все же проект уникален и не имеет аналогов в мире. Вантовая система весом около 2300 т, в сумме более 12 км тросов диаметром от 60 до 110 мм. Точность натяжения каждого троса контролировалась с помощью специального оборудования и компьютерных программ. Учитывая сложность конструкции вантовой крыши, ее монтаж осуществлялся под ежедневным строительным контролем со стороны инженеров компаний проектировщиков и заводов-изготовителей вантовой системы, которая была произведена в Швейцарии. Шефмонтаж выполняла международная компания из Франции, которая известна участием в строительстве мостов в Санкт-Петербурге и Владивостоке.



^ Рис. 9. Стадион
ФК «Краснодар»
в Краснодаре

Французские строители признались, что вложили в работу на волгоградской арене сердце и душу и очень довольны результативным сотрудничеством. По словам руководителя шэфмонтажа Марка Гонтье, к работе по подъему вантовой системы «Волгоград Арены» была привлечена многонациональная группа инженеров из разных стран [5].

Добавило оригинальности спортивному комплексу архитектурное решение внешнего облика в виде перевернутой короны. При взгляде на комплекс с высоты птичьего полета можно увидеть, как образуется пятиконечная звезда – дань памяти и уважения к городу-победителю. Так тесно взаимосвязана архитектура города и спортивного комплекса.

Меньший по размеру образец вантовой системы покрытия был смонтирован в городе Краснодаре на стадионе ФК «Краснодар» и уникален необычной мембранной крышей с газовым отоплением (Рис. 8).

Стадион является одним из интереснейших строительных проектов последних десятилетий. Технические возможности спортивного объекта позволят проводить на нем международные матчи, а зрительская зона вместимостью более 33 тыс. человек отличается повышенной комфортностью. Над стадионом установлена крыша особой вантовой конструкции, закрывающая все трибуны, покрытая высокопрочной мембраной и стеклянным козырьком. Кроме того, в кровлю встроены инфракрасные обогреватели, чтобы в холодную погоду зрителям на трибунах было тепло и комфортно (Рис. 9).

Покрытие над трибунами стадиона «Краснодар» представляет собой вантовую систему типа «велосипедное колесо» с двумя сжатыми наружными поясами и растянутым внутренним кольцом. Наружные пояса неразрезные, выполнены из стали коробчатого сечения. Внутреннее кольцо состоит из набора 8 тросов, связанных системой с 56 радиальными тросами. Нижнее сжатое кольцо (опорный контур) коробчатого сечения размером 650x1200 мм, толщиной стенок 35 мм и 40 мм, с поперечными ребрами жесткости и торцевыми плитами толщиной от 60 до 80 мм. Верхнее сжатое кольцо коробчатого сечения размером 700x1200 мм, толщиной стенок 50 мм и 70 мм

с поперечными ребрами жесткости и торцевыми плитами толщиной от 40 до 100 мм.

Маятниковые колонны коробчатого сечения размером 400x400 мм с толщиной стенок от 20 до 45 мм. Диаметры верхних радиальных тросов от 70 до 115 мм. Диаметры нижних радиальных тросов 52 мм и 70 мм. Диаметры диагональных тросов 31 м. Вся крыша стадиона состоит из трех основных элементов: металлоконструкций, тросов и мембраны. Около 2500 т металлоконструкций изготовлено на российском предприятии ЗАО «Курган-стальмост»; конструкция покрытия разработана компанией из Германии, а мембрана – фирмой из Италии [6]. Стадион с подобной вантовой системой крепления козырька есть в Варшаве и Турции. Авторы архитектурно- и конструктивного решения стадиона в целом и кровли в частности – немецкие специалисты. Стадион «Краснодар» является плодом международного сотрудничества. Разработкой проекта занималась немецкая компания, известная в спортивном мире благодаря проектированию объектов к Олимпийским играм в Китае и к Чемпионату мира по футболу в ЮАР, а также стадионов для команд немецкой Бундеслиги. Реализация столь амбициозного строительного проекта предусматривала применение только самых надежных и передовых материалов и технологий, соответствующих международным стандартам качества.

По проекту большое количество климатического и инженерного оборудования предусматривало его размещение на кровле, что предъявляло повышенные требования к кровельному ковру. Для обеспечения прочной и долговечной защиты эксплуатируемой части кровли застройщик выбрал битумно-полимерный материал. Материал монтируется методом наплавления, создавая абсолютный непроницаемый слой на крыше. Важно отметить одну из уникальных особенностей гидроизоляционных материалов для кровли: производитель использует гидрофобизированный сланец в качестве посыпки для верхнего слоя битумно-полимерных материалов. Он образует на поверхности кровельного ковра прочный «каменный щит»; сланец в течение всего срока эксплуатации надежно препятствует воздействиям на кровельную систему

механических факторов, перепадов температур и ультрафиолетового излучения.

Качественную гидроизоляцию неэксплуатируемой части кровли обеспечивает полимерная мембрана. Этот наукоемкий кровельный материал производится из европейского сырья в России на заводе «Лоджикруф» методом экструзии – передовой технологии, благодаря которой конечный продукт обладает идеально однородным составом, что во многом обуславливает его высокие эксплуатационные свойства.

После завершения чемпионата мира все вновь построенные стадионы используются как многофункциональные комплексы в режиме «наследие» [7]: на стадионах будут устроены фитнес и спа-центры, тренажерные и кардио-залы, взрослые и детские спортивные секции, фан-клубы, залы для проведения мероприятий и конференций, кафе и рестораны, магазины спорттоваров и клубной символики.

В соответствии с техническим заданием были разработаны два варианта схемы планировочной организации земельного участка:

- на период проведения мероприятий Чемпионата мира по футболу 2018 года;
- на период использования стадиона после Чемпионата мира по футболу 2018 года.

В будущем стадионы должны стать не только местом проведения футбольных матчей международного и национального уровней, но и иных массовых мероприятий. За счет проведения данных мероприятий будут покрываться расходы на эксплуатацию и содержание стадионов и их территории. Многофункциональность стадионов принималась во внимание еще на этапе проектирования: рассматривались различные варианты приспособления стадионов под многофункциональные центры, призванные дать новый толчок к развитию экономики городов.

Сравнительное исследование архитектурных и конструктивных решений вантовых систем кровель двух многофункциональных спортивных комплексов, построенных в Волгограде и Краснодаре, показывает, что каждый из них уникален. Они не являются типовыми проектами, у каждого есть свои отличительные черты и современное проектное решение. На основе анализа процесса проектирования и строительства этих двух стадионов можно сделать вывод, что научный и проектный потенциал, накопленный за эти годы в России, вывел строительную индустрию в строительстве спортивных объектов на совершенно новый уровень развития и обеспечил нам конкурентоспособность в этой области. Отечественный спорт получил площадки, отвечающие всем современным требованиям по оборудованию, микроклимату и комфорту для спортсменов и зрителей. Применение новых архитектурных решений с использованием вантовых систем кровель в сочетании с новейшими технологиями, современными кровельными материалами и новейшим оборудованием дало сильный толчок развитию отечественной архитектуры.

Литература

1. Буш, Д. Стадион для проведения игр Чемпионата мира по футболу – 2018 в Волгограде // Проект Байкал. – 2017. – №51. – С. 66-67
2. Трущев, А. Г. Пространственные металлические конструкции. – Москва: Стройиздат, 1983. – 215 с.
3. Стадион с вантовой кровлей: «Волгоград Арена» // Кровли: интернет-издание. – URL: <http://www.krovlirussia.ru/%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/roof-digest/stadion-s-vantovoj-krovlej-volgograd-arena> (дата обращения: 02.11.2019)
4. Вантовая система кровли стадиона «Волгоград Арена». – URL: http://www.stroytransgaz.ru/img/vlg7/vantovaya_sistema.pdf (дата обращения: 02.11.2019)
5. Завершение подъема самой крупной в России вантовой кровли на стадионе «Волгоград Арена» отметили шампанским // Высота 102: информационное агентство. – URL: <https://v102.ru/news/65826.html> (дата обращения: 02.11.2019)
6. Стадион «Краснодар», г. Краснодар. – URL: <http://www.kurganstal-most.ru/deyatelnost/stadiony/stadion-fk-krasnodar-g-krasnodar/> (дата обращения: 02.11.2019)
7. Распоряжение Правительства РФ от 24 июля 2018 г. N 1520-р «Концепция наследия чемпионата мира по футболу FIFA 2018 года». // Гарант. Ру: информационно-правовой портал. – URL: <http://static.government.ru> (дата обращения: 02.11.2019)

References

- Bush, D. (2017). Volgograd Stadium for the 2018 World Football Championship. Project Baikal, 14(51), 66-67. doi:10.7480/projectbaikal.51.1122
- Informacionnoe agentstvo "Vysota 102". (2017, July 7). Zavershenie pod`ema samoj krupnoj v Rossii vantovoj krovli na stadione «Volgograd Arena» otmetili shampanskim [The lifting of the largest cable-stayed roof at the stadium "Volgograd Arena" was celebrated with champagne]. Retrieved October 24, 2019 from <https://v102.ru/news/65826.html>
- Internet izdanie "Krovli". (2018, June 14). Stadion s vantovoj krovlej: «Volgograd Arena» [A stadium with a cable-stayed roof: "Volgograd Arena"]. Retrieved October 24, 2019 from <http://www.krovlirussia.ru/%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/roof-digest/stadion-s-vantovoj-krovlej-volgograd-arena>
- Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 24 iyulya 2018 g. N 1520-r. [Order of the Government of the Russian Federation of July 24, 2018 # 1520-r "The concept of the legacy of the 2018 FIFA World Cup"]. Retrieved October 24, 2019 from <https://static.government.ru>
- Stroytransgaz. (2018, May 10). Vantovaya sistema krovli stadiona «Volgograd Arena» [A cable-stayed roof system of the stadium "Volgograd Arena"]. Retrieved October 24, 2019 from http://www.stroytransgaz.ru/img/vlg7/vantovaya_sistema.pdf
- Trushchov, A.G. (1983). Prostranstvenny`e metallicheskie konstrukcii [Spatial metal structures]. Moscow: Strojizdat.
- ZAO "Kurganstal`most". (2016, July 1). Stadion "Krasnodar", g. Krasnodar [Stadium "Krasnodar", the city of Krasnodar]. Retrieved October 24, 2019 from <https://www.kurganstal-most.ru/deyatelnost/stadiony/stadion-fk-krasnodar-g-krasnodar/>