

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ФУТБОЛЬНЫХ СТАДИОНОВ ЧМ 2018

METAL STRUCTURES OF FOOTBALL STADIUMS OF THE WORLD CUP IN 2018

П. Г. ЕРЕМЕЕВ, д-р техн. наук

Представлены металлические конструкции футбольных стадионов ЧМ 2018 в разных регионах России. В этих сооружениях использованы металлические большепролетные пространственные конструкции покрытий над трибунами для зрителей. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко выполнял работы по научно-техническому сопровождению (НТС) их возведения. Эти сооружения относятся к уникальным, так как конструкции покрытия имеют пролеты более 100 м и консоли вылетом более 20 м. Их строительство требует решения проблем, не отраженных в нормативных документах.

Дано обоснование необходимости проведения НТС при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций. Приведен перечень основных задач НТС и методы их решения. Разработаны специальные технические условия (СТУ). Они содержат требования по обеспечению надежности и безопасности конкретных уникальных объектов. Приведены перечень вынужденных отступлений от действующих норм и компенсирующие мероприятия. Освещены вопросы НТС на всех этапах проектирования, в том числе разработка рекомендаций по нагрузкам и воздействиям, расчетам и проектированию конструкций покрытия над трибунами, обеспечению безопасности от прогрессирующего обрушения при аварийных

Metal structures of the football stadiums for the FIFA World Cup 2018 in the different regions of Russia are presented. Metal wide-span spatial designs of roofs over stands for the audience are used in these building. TSNIISK of V.A. Koucherenko performed works on the scientific and technical support (STS) for their building. These constructions belong to unique since roof structure has spans of more than 100 m and cantilever span more than 20 m. Their construction requires the solutions of the problems which are absent in regulations. Justification of need of carrying out the STS at design, production and installation of designs is given. The list of the main tasks of STS and methods of their decision is provided. The special technical specifications are developed. They contain requirements for ensuring reliability and safety of concrete unique objects. The list of the compelled derogations from existing rules and compensating measures is provided. Questions of STS at all design stages are taken up, including development of recommendations on loadings and actions, calculations and design of roof structures over stands, as well as on providing security from the progressive collapse at emergency actions. The list of tasks and the main results of STS of structures manufacturing and

воздействиях. Приведен перечень задач и основные результаты НТС изготовления и монтажа конструкций; проведения мониторинга на стадии возведения и эксплуатации сооружения.

installation is provided, as well as carrying out monitoring at a stage of construction and operation of a building.

Ключевые слова:

Металлические конструкции, научное сопровождение проектирования и возведения, покрытия над трибунами футбольных стадионов

Key words:

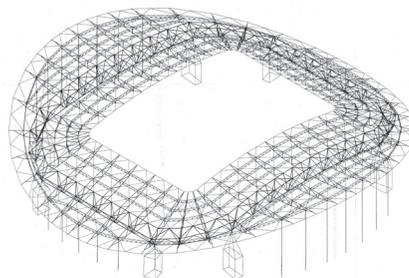
Metal structures, roof structures over stands for football stadiums, scientific support for design and construction

Для проведения чемпионата мира по футболу в 2018 г. в 11 городах России построены стадионы с большепролетными металлическими пространственными конструкциями покрытий над трибунами [6, 9, 10, 12]. Одновременно в разных регионах страны построены клубные стадионы, также с металлическими конструкциями навесов над трибунами. В статье представлены объекты, в возведении которых принимал участие автор статьи.

«Казань Арена» (рис. 1, а) – на 45 тыс. зрителей (2012 г.). Форма плана – круг диаметром 250 м с центральным прямоугольным вырезом $129,6 \times 91,2$ м. Форма покрытия – часть цилиндрической поверхности. Несущие металлические конструкции покрытия над трибунами (рис. 1, б) состоят из опорного контура и консольных ферм. Контур выполнен в виде пространственной замкнутой трехпоясной фермы переменной высоты (9,9 ... 11,7 м) размером в плане $197,4 \times 161,5$, шарнирно опертой на восемь железобетонных пилонов в углах стадиона. Элементы контура запроектированы из стальных труб с безфасоночными узлами сопряжений. На главный контур шагом 15,3 м опираются плоские консольные фермы вылетом 33,9 ... 38,8 м, высотой на опоре 5,8 м. Консольные фермы по периметру шарнирно крепятся к стойкам. На основные консольные фермы опираются второстепенные, на них шагом с 3 м – прогоны под профнастил. Трубчатые элементы опорного контура и консольных ферм выполнены из стали С390. Кровля стадиона фальцевая. По внешнему и внутреннему краю покрытия расположено светопрозрачное ограждение из поликарбоната шириной 9,0 и 20,0 м соответственно.



а



б

Рис. 1. «Казань Арена»: а – общий вид; б – конструктивная схема

Стадион «Фишт» в Сочи на 50 тыс. мест (рис. 2, *а*) построен для проведения зимних Олимпийских игр 2014 г. Покрытие над трибунами стадиона представляет собой неправильную криволинейную поверхность, образованную конструкциями полуарок из плоских ферм переменного пролета и высоты с треугольной решеткой. Шаг параллельно расположенных, поперечных полуарок в основном 28 м, пролет 18,0 ... 71,0 м, высота сечения 2,5 ... 8,5 м. Со стороны, противоположной полю, полуарки опираются шарнирно на железобетонный каркас подтрибунных помещений. Со стороны поля поперечные арки замыкаются на 4-поясной главной арке пролетом 285,0 м и высотой 70,0 м (рис. 2,*б*). Переменная высота главной арки 7,0 ... 14,4 м, ширина 5,5 м. Решетка крестовая в плоскостях поясов и треугольная по диагонали между поясами для обеспечения пространственной жесткости главной арки. Сечение поясов всех арок принято коробчатого сечения. Общая устойчивость конструкции покрытия обеспечивается жесткими узлами сопряжения арок и системой горизонтальных и вертикальных связей по поверхности оболочки. Материал металлических конструкций – сталь класса С345, С390.

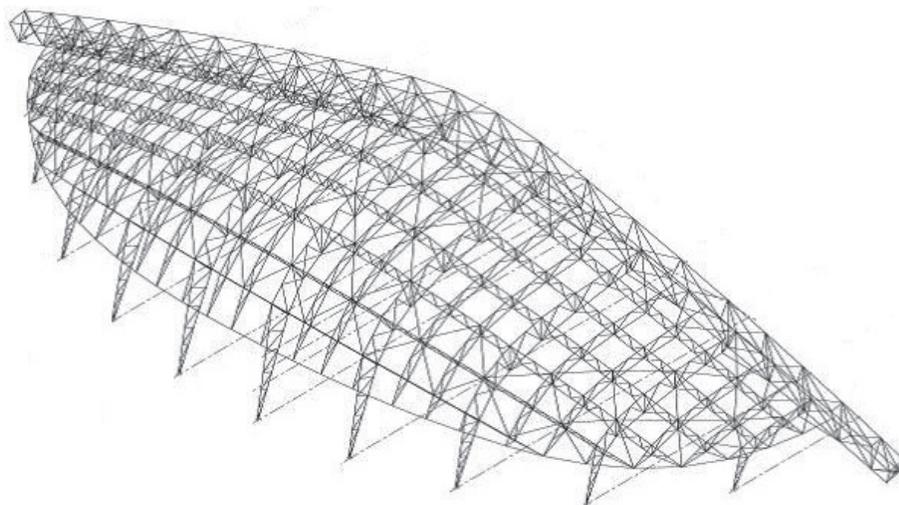
*а**б*

Рис. 2. Стадион «Фишт» в Сочи: *а* – общий вид; *б* – конструктивная схема

«Ростов Арена» (рис. 3, *а*) на 45 тыс. зрителей в плане имеет форму овала с максимальными размерами $257,2 \times 218,5,0$ м с прямоугольным вырезом $130,5 \times 91,8$ м над футбольным полем. Основные несущие конструкции – система из 46 радиальных консольных балок, объединенных кольцевыми прогонами и связями (рис. 3, *б*), которые обеспечивают пространственную работу покрытия и его устойчивость. Плоские консольные балки вылетом 51,34 м крепятся двумя наклонными вантовыми подвесками к верху пилонов, расположенных по периметру стадиона. К узлу примыкания подвесок с пилоном подходят оттяжки, которые замыкаются на железобетонные ростверки через преднапряженные анкерные устройства. Все основные стержневые элементы запроектированы из стальных сварных профилей прямоугольного коробчатого сечения. Радиальные фермы в кольцевом направлении объединяются металлическими арочными прогонами с разной стрелой подъема. Кровля стадиона – мембранная.

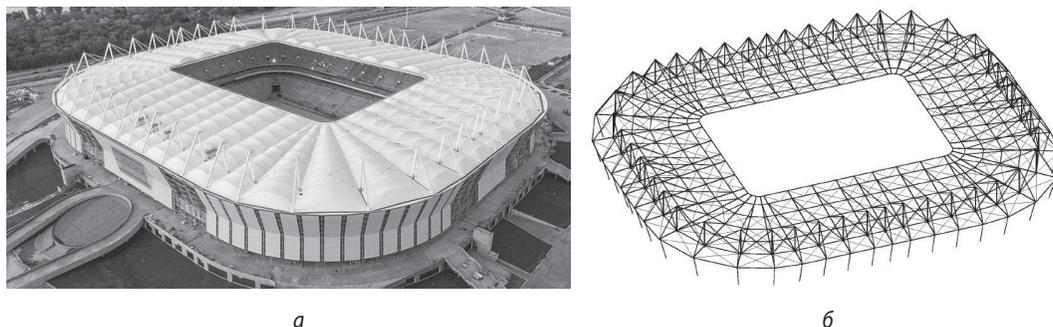


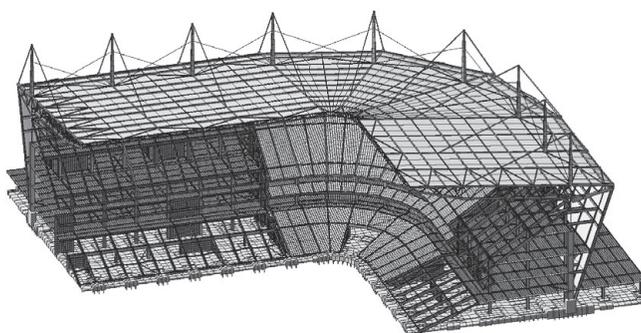
Рис. 3. «Ростов Арена»: *а* – общий вид; *б* – конструктивная схема

«Стадион Калининград» (рис. 4, *а*) на 35 тыс. зрительских мест, в том числе временных трибун на 10 тыс. зрительских мест. Сооружение в плане имеет форму прямоугольника с закругленными углами с размерами в осях $166,65 \times 203,65$ м с прямоугольным проемом $126,9 \times 89,4$ м над футбольным полем. Несущие конструкции покрытия – пространственная стержневая система, включающая радиальные (32 шт.) и кольцевые фермы, объединенные связями, которые обеспечивают пространственную работу покрытия и его устойчивость (рис. 4, *б*). Все основные стержневые элементы запроектированы из стальных коробчатых профилей. Плоские консольные радиальные фермы вылетом 38,2 м подвешены к верху пилонов, расположенных по периметру стадиона. К узлу примыкания подвесок с пилоном подходят оттяжки, которые замыкаются на каркас трибун. В местах опирания покрытия на каркас трибун и подтрибунных помещений предусмотрено применение специальных опорных шарнирных узлов. Связевые элементы приняты из растянутых стержней фирмы Macalloy. Кровля основной части покрытия над трибунами выполнена

из стального профилированного настила. Участок покрытия у центрального проема над футбольным полем – светопрозрачные конструкции (поликарбонат).



а



б

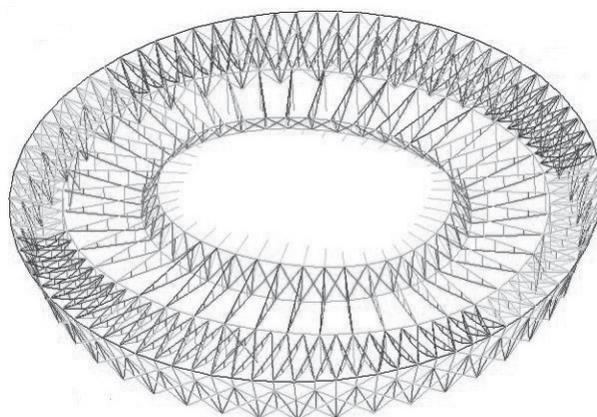
Рис. 4. «Стадион Калининград»: а – общий вид; б – конструктивная схема

«Волгоград Арена» (рис. 5, а) на 45 тыс. зрителей представляет собой опрокинутый усеченный конус, с круговым планом диаметром около 290 м, высотой покрытия над полем 49,5 м. Покрытие над трибунами стадиона (овал $240,2 \times 201,8$ м), представляет собой систему типа «велосипедного колеса» с одним сжатым наружным контуром и двумя растянутыми внутренними контурами, связанными системой из 44 радиальных вантовых ферм. Внешний контур представляет собой жесткое металлическое кольцо коробчатого сечения. Внутренний контур – гибкий, состоит из двух овальных поясов размером в плане $163,4 \times 131,8$ м (нижний пояс) и $146,6 \times 112,6$ м (верхний пояс), разнесенных по высоте на расстояние 13 м. Каждый пояс представляет собой пакет из шести высокопрочных канатов закрытого типа. Радиальные вантовые фермы плоские, с одним верхним и одним нижним поясами из канатов закрытого типа. Пролет вантовых ферм – от 45,21 до 46,99 м. Пояса соединены между собой жесткими металлическими стойками-распорками. Верхние пояса радиальных ферм в кольцевом направлении объединяются металлическими арочными прогонами шагом 9 м с разной стрелой подъема. Покрытие над зоной фойе имеет кольцевую форму и перекрыто фермами с переменным пролетом. Общая устойчивость конструкции покрытия

обеспечивается его пространственной работой и четырьмя плоскостями вертикальных крестовых связей (рис. 5, б). Покрытие над трибунами – тканевая мембрана.



а



б

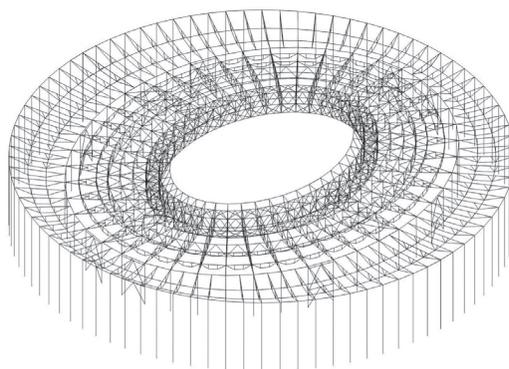
Рис. 5. «Волгоград Арена»: а – общий вид; б – конструктивная схема

«Стадион Нижний Новгород» (рис. 6, а) рассчитан на 45 тыс. зрителей. Покрытие над трибунами стадиона представляет собой радиально-кольцевую стержневую оболочку (рис. 6, б). Форма покрытия в плане: по наружному контуру – овал с размерами главных осей $243,8 \times 206,7$ м, а по внутреннему (проем над игровой зоной) – овал с размерами главных осей $123,0 \times 85,9$ м. Система несущих конструкций покрытия – 44 радиальные плоские фермы, расположенные между наружным и внутренним контурами. Вылет радиальных ферм – около 60,29 м, высота ферм со стороны проема – 14,5 м. Радиальные фермы опираются шарнирно-неподвижно при помощи шаровых сегментных опорных частей «MAURER» на железобетонные колонны каркаса сооружения. Внутренний контур – решетчатая кольцевая ферма с расстоянием между поясами 14,5 м. Пространственную работу покрытия обеспечивают кольцевые фермы и связи по верхнему поясу радиальных ферм. Все элементы радиально-кольце-

вой стержневой системы выполнены в основном из сварных двутавров. Металлоконструкции покрытия над зоной фойе – 88 радиальных шпренгельных балок, пролетом от 22,4 до 40,8 м. Балки, объединенные системой распорок и связей, расположены в створе радиальных ферм покрытия над трибунами. Все радиальные балки выполнены из сварных двутавров, шпренгели – из холодногнутых сварных профилей. Общая устойчивость покрытия над трибунами обеспечивается совместной работой радиально-кольцевой стержневой системы со связями и вертикальными кольцевыми фермами.



а

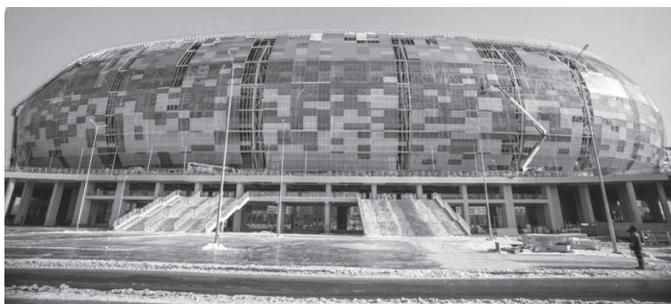


б

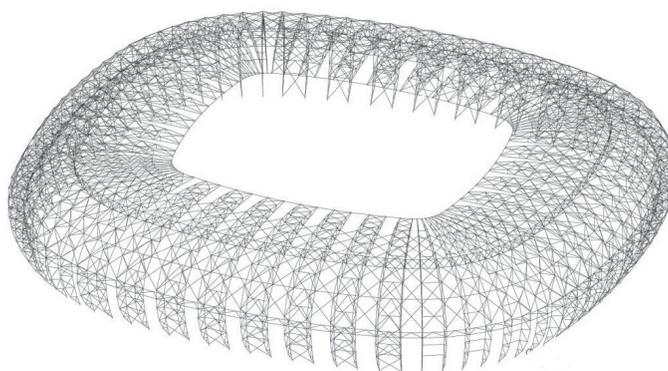
Рис. 6. «Стадион Нижний Новгород»: а – общий вид; б – конструктивная схема

«Мордовия Арена» в г. Саранске (рис. 7,а) рассчитан на 45 тыс. зрителей. Стадион представляет собой купол на овальном плане, с размерами по главным осям симметрии $228,3 \times 209,6$ м и прямоугольным центральным проемом $110,6 \times 91,95$ м. Отметка края проема 45,125 м. Основными несущими конструктивными элементами покрытия стадиона являются 88 Г-образных консолей, расположенных равномерно по периметру сооружения. Консоли вылетом 49 м выполнены в виде криволинейных решетчатых ферм, опертых на отм. 8,9 шарнирно неподвижно на монолитные железобетонные пилоны. Консоли объединены в пространственную систему кольцевыми фермами, распорками и связями по верхним и нижним поясам консольных ферм. Основные несущие конструкции выполнены из стальных

труб с безфасоночными узлами сопряжения элементов. Связевые элементы – растянутые стержни (рис. 7, б).



а



б

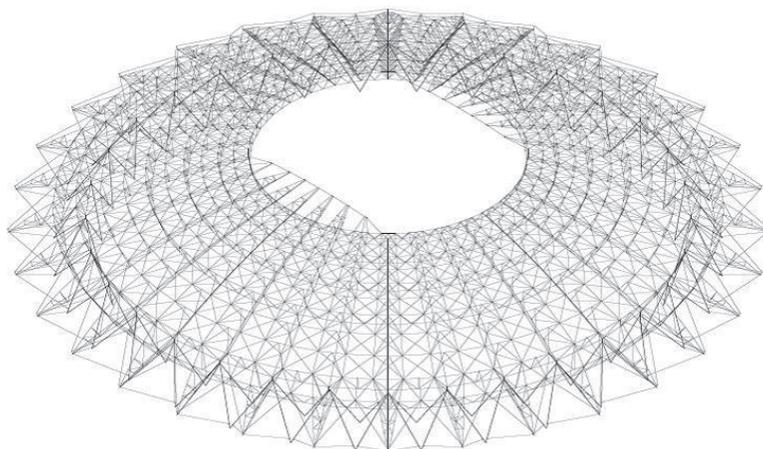
Рис. 7. «Мордовия Арена» в г. Саранске: а – общий вид; б – конструктивная схема

«Самара Арена» (рис. 8, а) на 45 тыс. зрителей представляет собой радиально-кольцевой купол (рис. 8, б) на круглом плане радиусом 300,0 м, высотой покрытия над полем до 60,0 м с вырезом в центре. Поверхность покрытия образована частью сферы радиусом $R = 306,4$ м. Основные несущие элементы – 32 радиальные консоли, запроектированные в виде трехпоясных решетчатых ферм из стальных круглых труб с непосредственным примыканием элементов решетки к поясам. Высота радиальных ферм переменная, с максимальным размером на опоре 10,2 м. Консоли имеют наклонные промежуточные опоры, установленные по радиусу $R = 135,2$ м. Вылет внешней консольной части покрытия 91,2 м. Промежуточные опоры – пирамидальная стальная конструкция, жестко заземленная в фундаменте. Радиальные элементы объединены в пространственную систему кольцевыми фермами и связями. Кольцевые фермы покрытия переменной высоты запроектированы в виде плоской решетчатой конструкции с непосредственным примыканием элементов решетки к поясам. Горизонтальные связи покрытия из стальных круглых труб предусмотрены в уровне верхних поясов

консолей. Кольцевые фермы и связи обеспечивают пространственную работу покрытия и его устойчивость, а также служат конструкцией для укладки кровли.



а



б

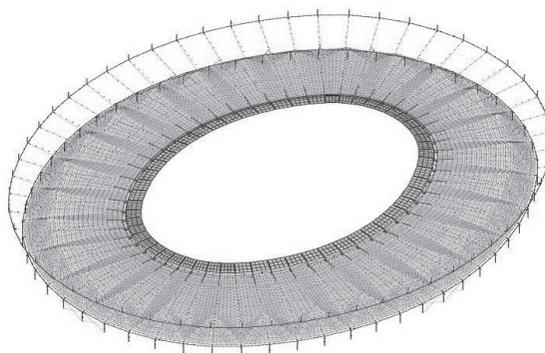
Рис. 8. «Самара Арена»: *а* – общий вид; *б* – конструктивная схема

В последние годы построен ряд клубных футбольных стадионов.

«Краснодар арена» (рис. 9,*а*) рассчитан на 33 тыс. зрителей. Сооружение, представляет собой в плане овал с габаритами примерно 190×230 м. Покрытие над трибунами стадиона – вантовая система типа велосипедного колеса с двумя сжатыми наружными контурами и растянутым внутренним кольцом, связанными системой 56 радиальных тросов. Радиальные ванты, расположенные в плане вразбежку, объединены подвесками в круговую систему консольных тросовых ферм с верхним несущим поясом и нижним – стабилизирующим (рис. 9, *б*).



a



б

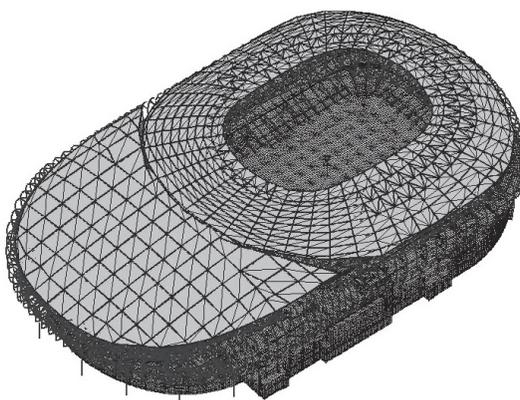
Рис. 9. «Краснодар арена»: *a* – общий вид; *б* – конструктивная схема

Стадион «ВТБ-арена» в Москве – сооружение (рис. 10, *a*), состоящее из нескольких объемов различного назначения: футбольный стадион на 26 тыс. мест, с покрытием над трибунами; универсальный концертно-спортивный зал на 12 тыс. мест. Сооружение в плане имеет форму овала с максимальными размерами $285,0 \times 165,0$ м, высота сооружения 55,0 м. Все сооружение накрыто единой оболочкой (рис. 10, *б*). Конструкция покрытия над трибунами (с овальным проемом над футбольным полем) выполнена в виде стержневой системы из консольных радиальных балок переменной высоты, подкрепленных растянутым шпренгелем с V-образными стойками. Радиальные элементы, опертые по периметру на железо-

бетонные колонны каркаса, замыкаются на внутреннем и наружном контурах. Нижний пояс радиальных шпренгелей в месте сопряжения с V-образными стойками замыкается на нижнем внутреннем кольце из пакета растянутых стержней. По верхнему поясу радиальных шпренгелей расположены кольцевые элементы (прогоны). Конструкция перекрытия арены выполнена в виде системы параллельных большепролетных металлических ферм, опирающихся на них ферм меньшего пролета и прогонов. На этом и примыкающих к нему участках облегченная оболочка кровли покрытия, необходимая для создания его формы, опирается через стойки на нижележащие конструкции. Общая устойчивость конструкции покрытия обеспечивается его пространственной работой со связевыми панелями и соответствующими граничными закреплениями. Ограждающие конструкции – панели с применением поликарбоната и алюминиевые кровельные панели с фальцевыми соединениями.



а



б

Рис. 10. Стадион «ВТБ-арена» в Москве: а – общий вид; б – конструктивная схема

В соответствии с Градостроительным кодексом (ФЗ № 190-ФЗ) описанные сооружения относятся к уникальным (пролеты более 100 м и консоли вылетом более 20 м) [1, 8]. Нормативными и законодательными документами (ГОСТ 27751-2014 и Федеральный закон № 384-ФЗ) для обеспечения качества и высокой надёжности таких сооружений предусматривается научно-техническое сопровождение (НТС) при их возведении [2, 3] для решения следующих вопросов, не отраженных в действующих нормах:

- рекомендации по определению снеговых нагрузок и аэродинамических коэффициентов для сооружений пролетом свыше 100 м с нестандартной формой поверхности покрытия (СП 20.13330.2016), а также для сейсмических районов – отступление от требований СП 14.13330.2014 в части устройства антисейсмических швов;

- рекомендации по применению современных конструктивных решений в большепролетных покрытиях (СП 16.13330.2016);

- применение канатов типа монострендов, стальных литых элементов [4, 11], конструкций из поликарбоната, тентовых материалов и т. п.

При возведении этих объектов ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО НИЦ «Строительство» выполнял научно-техническое сопровождение, в том числе:

- разработка «Специальных технических условий (СТУ)» и рекомендаций по назначению климатических нагрузок [5];

- НТС при проектировании на стадии «П» и «РД»;

- подготовка рекомендаций, обеспечивающих безопасность сооружения от прогрессирующего обрушения [7];

- НТС изготовления и монтажа металлических конструкций;

- участие в мониторинге конструкций при возведении и эксплуатации объектов.

Для уникальных объектов с большепролетными конструкциями разработаны СТУ с перечнем вынужденных отступлений от действующих норм и компенсирующих мероприятий по надежности и безопасности. На этапе предпроектных предложений проведен анализ мирового опыта возведения аналогичных объектов, в ряде случаев предложены новые рациональные варианты конструктивных решений. На стадии «П» разработаны рекомендации по климатическим нагрузкам с учетом результатов продувок модели сооружения в аэродинамической трубе. На стадии «Р» разрабатывались новые конструктивные решения и рекомендации по проектированию. Выполнен комплекс поверочных расчётов конструкций в геометрически нелинейной постановке, с анализом расчётных схем, исследованием результатов расчётов. Принято консультативное участие при рабочем проектировании, проведено согласование проектной документации.

НТС на стадии изготовления и монтажа металлических конструкций включало:

- разработку ТУ на изготовление, монтаж и приёмку металлоконструкций (СП 53-101-98) с требованиями, не входящими в нормативные документы или регламентирующие более высокие требования;

- контроль и приёмку металлических конструкций при изготовлении и монтаже;
- учет точности изготовления и сборки металлоконструкций при разработке (участие) проекта производства работ (ППР);
- мониторинг металлоконструкций при изготовлении и монтаже;
- сертификация металлоконструкций зарубежной поставки;
- анализ результатов НТС с выводами о соответствии нормам, проекту и «Техническим условиям на изготовление и монтаж»;
- контроль качества проката путем анализа сертификатов качества на металлопрокат, результатов входного заводского контроля и др.;
- механические и металлографические испытания метизов для определения их фактической несущей способности;
- испытания образцов фрикционных соединений на высокопрочных болтах для определения их несущей способности;
- оценка фактической несущей способности металлоконструкций на основании анализа результатов исполнительных геодезических схем и визуальных осмотров.

Выводы

1. Для проведения чемпионата мира по футболу в 2018 г в России построены стадионы с большепролетными металлическими пространственными конструкциями покрытий над трибунами.
2. Появление в последние десятилетия новых конструктивных форм, материалов, методов проектирования и строительства, определяет необходимость повышенного внимания к возведению подобных объектов, многоступенчатой системы контроля.
3. В целях обеспечения качества проектирования, изготовления и монтажа стальных конструкций уникальных объектов необходимо научно-техническое сопровождение на всех этапах их проектирования и возведения.
4. Научно техническое сопровождение строительства – это комплекс работ научно-методического, экспертно-контрольного, информационно-аналитического и организационного характера для обеспечения надежности (безопасности, функциональной пригодности и долговечности) сооружений.

Библиографический список

1. *Виммер М.* Проектирование стадионов. Практическое пособие. М.: Dom Publishers. 2016. 320 с.
2. *Еремеев П. Г.* Современные конструкции покрытий над трибунами стадионов. М.: АСВ, 2015.
3. *Еремеев П. Г.* Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений. М.: АСВ, 2009.

4. *Еремеев П.Г.* Конструктивные узлы из стальных отливок в современном строительстве. // Журнал «Монтажные и специальные работы в строительстве». 2011. №4. С. 2-5.
5. *Одесский П. Д., Кулик Д. В.* Сталь нового поколения в уникальных сооружениях. М.: Изд. «Интернет Инжиниринг». 2005.
6. *Попов Н. А.* Динамическая реакция сооружений при действии ветра // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 29-34.
7. Стадионы к чемпионату мира по футболу 2018 г. // Строительство и эксплуатация спортивных сооружений. 2011. № 01 (59). С. 7-45
8. СТО 36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях ОАО «НИЦ Строительство».
9. *Goepfert K., Stein M.* International Stadium Projects: Each Unique and Easy to Recognize. Proceedings of structures congress. 2009. Vol.: 4. Pp. 2428-2438.
10. Football Stadiums. Technical recommendations and requirements, Fifth edition, 2011. Publisher FIFA.
11. Russia 2018. World cup: the complete guide to all the stadiums. The Guardian. 2017/nov/30 . Россия ЧМ-2018: справочник по всем стадионам
12. *Schober H.* Steel castings in architecture and engineering // Modern Steel Construction, vol. 43, no. 4, 2003. Pp. 65–72.
13. UEFA guide to quality stadiums. Published by the Union of European Football Associations (UEFA), Nyon, Switzerland. 2011.

Автор

Павел Георгиевич ЕРЕМЕЕВ, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Pavel YEREMEYEV, Doctor of Engineering, Prof., Head Researcher TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: eremeevpg@rambler.ru

тел.: +7 (499) 174-73-25