

УДК 624.014

Некоторые особенности проектирования, адаптации и технического сопровождения при возведении металлических конструкций покрытия над трибунами стадиона «Арена-Львов»

Холькин В.В.

ООО «Укринсталькон им. В.Н.Шимановского», Украина

Аннотация. Изложены основные концептуальные решения стадиона «Арена-Львов». Приведено описание основных конструктивных решений несущих металлоконструкций покрытия над трибунами стадиона, рассмотрены особенности адаптации рабочей документации и расчетов при его проектировании, а также при монтаже металлоконструкций укрупнительными блоками.

Анотація. Викладені основні концептуальні рішення стадіону «Арена-Львів». Наведено опис основних конструктивних рішень несучих металоко­н­струкцій покриття над трибунами стадіону, розглянуто особливості адаптації робочої доку­мен­тації і розрахунків при проектуванні, а також при монтажі металоко­н­струкцій укрупненими блоками.

Abstract. Here committed the basic conceptual technical solutions of the Stadium «Арена-Львов». It describes main solutions of the load-bearing steel structure design of the roof covering above grandstands, adaptation singularities of working documentation and calculations in its design and features of assembling metalware with the use of enlarged units.

Ключевые слова: стадион, покрытие над трибунами стадиона, структурные конструкции, изготовление, монтаж, расчет, аэродинамические исследования.

Концептуальные решения. Сданный в эксплуатацию в октябре 2011 года стадион «Арена-Львов» – один из четырех стадионов Украины, на которых проводились матчи финального турнира чемпионата Европы 2012 по футболу. Этот стадион отвечает всем необходимым критериям и требованиям УЕФА и ФИФА к стадионам для проведения международных турниров и чемпионатов по футболу высшего ранга (рис. 1). Одним из главных требований к стадионам, где проводятся такие турниры, является так называемое «правило трёх S». Согласно этому правилу во время проведения футбольных матчей на стадионе необходимо на высоком уровне обеспечить – сервис (servsce) + надёжность (stcursty) + безопасность (sfety). Европейская футбольная ассоциация назвала стадион «Арена-Львов» самым комфортабельным среди тех, на полях которых были проведены матчи ЕВРО-2012. Обеспечить три «S» проектировщикам успешно удалось, разместив между первым и вторым ярусами трибун внешнюю променад, которая является прогулочной зоной, служит для

расположения торговых фастфудов и магазинов, а также позволяет эвакуировать всех зрителей из чаши стадиона всего за восемь минут.

С любого комфортного места для зрителя, а их насчитывается 34915, обеспечен удобный обзор всех зон футбольного поля благодаря тому, что этот стадион проектировался как чисто футбольный. Площадь его застройки составляет около 46000 м². Размеры травяного газона футбольного поля: длина – 108 м, ширина – 68 м. Общая площадь территории с размещённой на ней инфраструктурой составляет около 248000 м². Покрытие накрывает все места для зрителей. Для нормального роста травы на естественном газоне футбольного поля часть кровли выполнена светопропускаемой, а само покрытие имеет понижение в направлении юго-западных трибун для продления времени его естественного освещения. Полив газона осуществляется только дождевой водой.



а



б

Рис. 1. Общие виды стадиона «Арена-Львов»:
а – по проекту компании «Alpine Bau GmbH» (вид с севера);
б – по утвержденному проекту (вид с северо-запада)

«Арена-Львов» один из самых экологически благоприятных стадионов мира. Он расположен в зоне города, где нет промышленных предприятий. Сооружение стадиона включает четыре этажа, первый из которых предназначен для размещения паркинга, а на других размещены двухъярусные трибуны, ложи и другие удобства для VIP-посетителей (в том числе скай-боксы на 150 мест), пресс-центр и пр.

Проектом предусмотрено значительное развитие пристадионной инфраструктуры путем создания автостоянок общей площадью 6000 м² для футбольных команд, официальных лиц, VIP-посетителей, представителей СМИ, болельщиков (в т.ч. с ограниченными физическими возможностями), путей независимого и безопасного прохода и эвакуации зрителей.

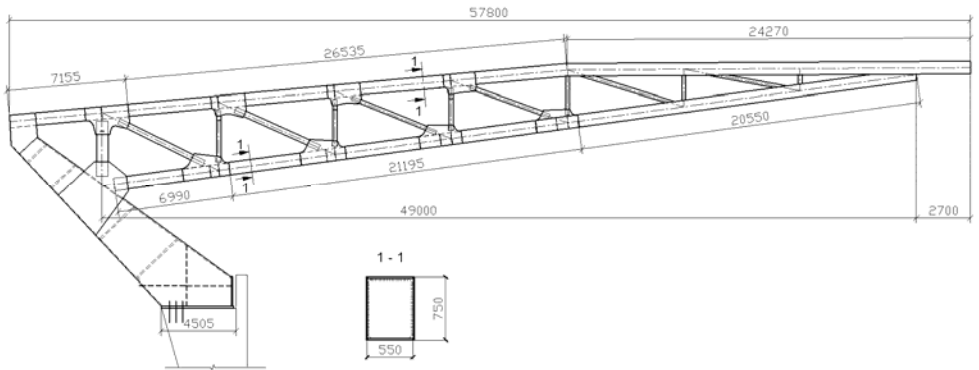
Заказчиком работ по строительству стадиона выступила Львовская городская администрация в лице Государственного предприятия «Дирекция по строительству объектов к ЕВРО-2012». На разных этапах его строитель-

ства в качестве генподрядчика выступали австрийская компания «Alpine Bau GmbH», ООО «Азовинтекс» и ООО «Альткомкиевстрой», генпроектировщика – австрийская компания «Albert Wimmer ZT GmbH», ООО «Гипроomez», ООО «Арника» и ООО «Укрдизайнгруп». Проектирование металлических конструкций покрытия стадиона на разных этапах строительства выполняли – австрийская компания «Albert Wimmer ZT GmbH», ООО «Гипроomez», ООО «Укринсталькон им. В.Н.Шимановского» и немецкая компания «MERO-TSK International GmbH».

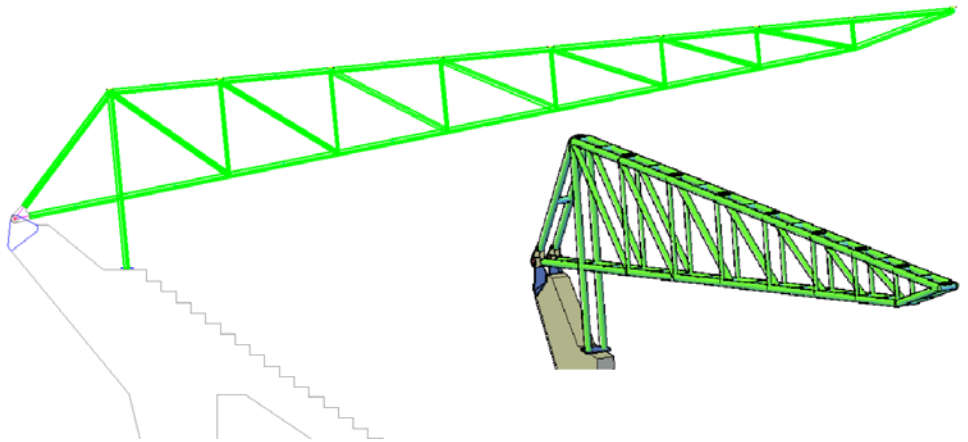
После окончательной корректировки архитектурно-строительной части проекта в апреле 2010 года ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» приняло окончательную форму покрытия, разработало новое конструктивное решение консольных пространственных ферм с узлами их крепления (рис. 2,б) и выдало нагрузки с необходимыми сечениями анкеров для проектирования железобетонных пилонов. При этом было предусмотрено, что анкеры этих устройств диаметром от 48 до 72 мм и длиной до 6 м выполняются из стали С345 и предварительно напрягаются усилиями величиной 80 % их несущей способности после бетонирования оголовков пилонов. В соответствии с [1] был принят коэффициент надежности по ответственности для несущих конструкций покрытия $\gamma_n = 1,25$. Значения климатических воздействий установлены исходя из срока эксплуатации стадиона $T_{ef} = 50$ лет, а величина сейсмичности площадки строительства составила 6 баллов по шкале MSK-64. На основе этих данных были запроектированы и возведены монолитные железобетонные пилоны (рис. 3).

Конструктивное решение. Одними из наиболее ответственных конструкций стадиона «Арена-Львов» являются несущие металлические конструкции покрытия над его трибунами. Свой вклад в создание этого уникального покрытия вложили все компании и организации, которые на разных этапах участвовали в его проектировании. Формообразование этого покрытия фасадов и кровли общей площадью около 29000 м² было разработано компанией «Albert Wimmer ZT GmbH». По периметру стадиона оно имеет уклон около 5° в сторону внешнего контура и расположено на разных отметках с плавным понижением в сторону южных и юго-западных трибун. В зонах южных, восточных и северных трибун покрытие опирается на железобетонные пилоны, а в зоне западных трибун – на железобетонные колонны каркаса основного здания стадиона. Покрытие вместе с железобетонным каркасом чаши стадиона разделено антисейсмическими швами на 10 конструктивных блоков, длина которых не превышает 50 м. В качестве основных несущих конструкций покрытия на первом этапе его проектирования были приняты консольные фермы с вылетом консолей до 52 м (рис. 2,а), которые были объединены связями и прогонами в единую систему.

По прогонах покрытия устроена кровля из стального профилированного настила, на который уложены шумопоглощающие жесткие минераловатные плиты, гидроизоляция и кровельные профилированные листы из алюминиевого сплава. Вдоль всего внутреннего периметра покрытия предусмотрена светопрозрачная зона шириной от 9,5 до 15,5 м, выполненная из светопрозрачного материала макролона, а вдоль внешнего – лотки для сбора атмосферных осадков. Стеновое ограждение навесных фасадов предусмотрено из перфорированных кассетных профилей из алюминиевого сплава.



а



б

Рис. 2. Схемы консольной фермы:
а – по проекту компании «Alpine Bau GmbH»; б – по утвержденному проекту



Рис. 3. Армирование оголовков железобетонных пилонов с анкерными устройствами в зонах крепления консольных ферм покрытия

В июне 2010 года заказчиком было принято решение о разработке рабочей документации и изготовлении металлических конструкций покрытия стадиона «Арена-Львов» немецкой компанией «MERO-TSK International GmbH». Экспертиза и адаптация этой рабочей документации к требованиям украинских норм была поручена ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского». Заказчиком в техническом задании на разработку этой рабочей документации было оговорено, что геометрическая форма покрытия и разделение его антисейсмическими швами на отдельные конструктивные блоки должны соответствовать ранее разработанному проекту. При этом расположение узлов крепления вновь проектируемых металлических конструкций покрытия к железобетонным конструкциям и их крепление к анкерным устройствам должны быть идентичны ранее разработанным ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского».

Компоновка металлических конструкций покрытия фирмы «MERO-TSK International GmbH» представлена на рис. 4. Покрытие разделено на одиннадцать конструктивных блоков, каждый из которых включает прогоны, структурные конструкции, стропильные фермы, опорные стойки и опоры. Прогоны служат для крепления конструкций кровли и стенового ограждения. Структурные конструкции покрытия и фасадов имеют ортогональное расположение поясов и образуют прямоугольные ячейки размерами около 3,3×3 м. Стержневые элементы структуры с помощью наконечников болтового типа крепятся к специальным узловым деталям (рис. 5), причем болты в этих соединениях приняты класса 10.9 с контролируемым усилием натяжения величиной до 15 % их несущей способности.

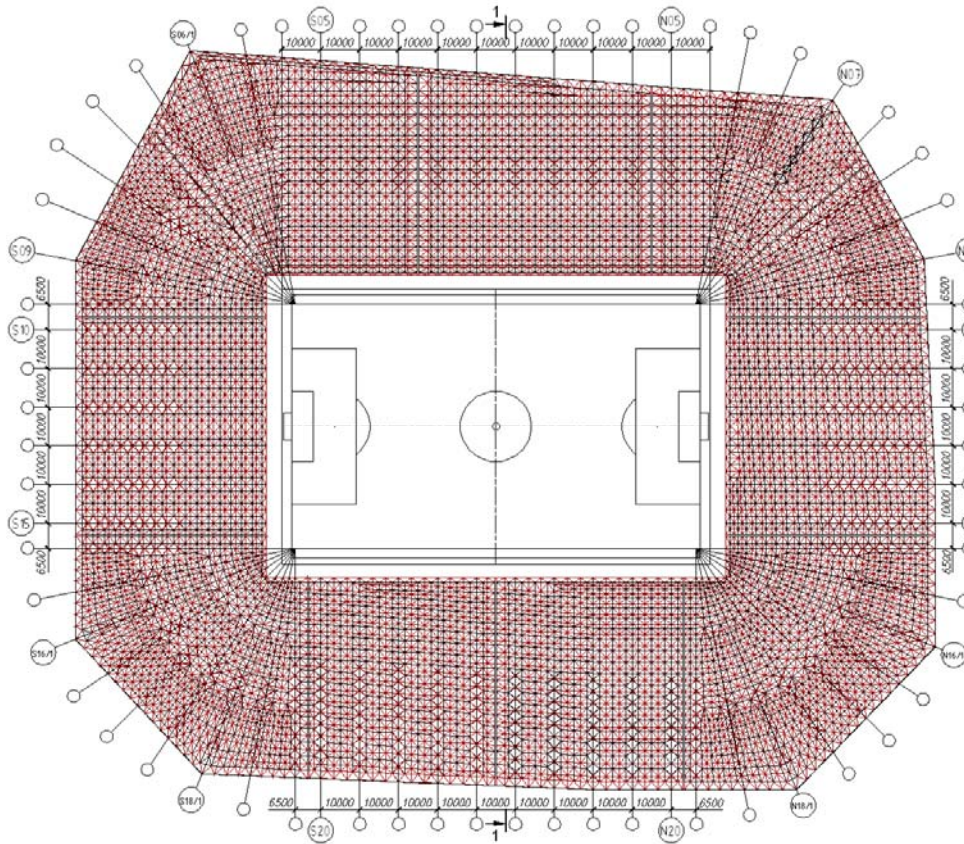
Структурные конструкции покрытия опираются на стропильные фермы переменной высоты, расположенные с шагом 10 м в центральных и $11,25^\circ$ в угловых секторах по радиусам окружностей (рис. 6). Стропильные фермы имеют консоли длиной до 19 м и опираются на железобетонные пилоны трибун с использованием отстоящих на 6 м друг от друга специально разработанных опор двух типов, причем если на опоры типа 1 фермы опираются через опорные стойки, то на опоры типа 2 – через опорную деталь. Опоры крепятся к железобетонным пилонам трибун с помощью анкерных болтов с последующей подливкой опорных плит твердеющим составом «Pagel».

Отправочные марки поясов и двух опорных раскосов ферм объединяются фланцевыми соединениями, а остальные раскосы – листовыми накладками при помощи высокопрочных болтов класса 10.9 с контролируемым усилием натяжения величиной 85 % их несущей способности.

Стержневые элементы структуры, стропильных ферм и опорных стоек приняты из круглых труб, детали опор из толстолистового проката, а прогоны из двутавров и швеллеров. Металлические конструкции покрытия выполнены из сталей марок S355J2H, S355J2+N, S355J2+N+Z25 и S355J2+AR, имеющих гарантированные показатели ударной вязкости при температуре минус 20°C . При этом расход стали на основные несущие металлоконструкции покрытия составил около 2700 т.

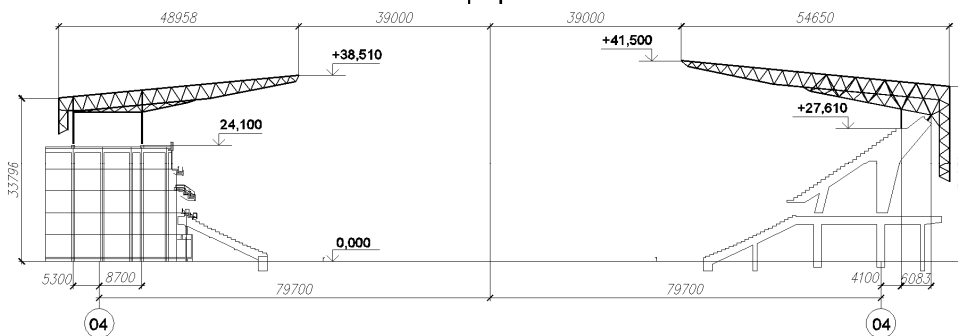
По ряду причин часть металлоконструкций покрытия конструктивного блока № 8 (в осях S03...S07) и все конструкции конструктивного блока № 10 (в осях N05...N07/1) общим объемом в 200 т были изготовлены и поставлены на объект компанией «Novum Structures LLC».

Экспертиза и адаптация рабочей документации. На основе предоставленной компанией «MERO-TSK International GmbH» рабочей документации в объеме 530 чертежей формата A0 и 11 томов результатов расчетов были составлены расчетные схемы металлических конструкций покрытий над трибунами, а также определены действующие нагрузки и воздействия в соответствии с требованиями [2, 3]. Дублирующие расчёты выполнены в программе «Лира» с учетом постоянных и временных нагрузок, влияния температуры и сейсмичности площадки строительства с проверкой несущей способности всех металлических конструктивных элементов покрытия и анкерных устройств железобетонных пилонов трибун. Также проведена экспертиза рабочей документации металлических конструкций покрытия с анализом конструктивных решений на соответствие их требованиям украинских норм.



а

1 - 1



б

Рис. 4. Схема расположения конструктивных элементов структурного покрытия фирмы «MERO-TSK International GmbH» (а) и поперечный разрез стадиона (запад-восток) (б)



Рис. 5. Узловая деталь для соединения стержневых элементов структуры (а)
и наконечник стержневого структурного элемента (б)

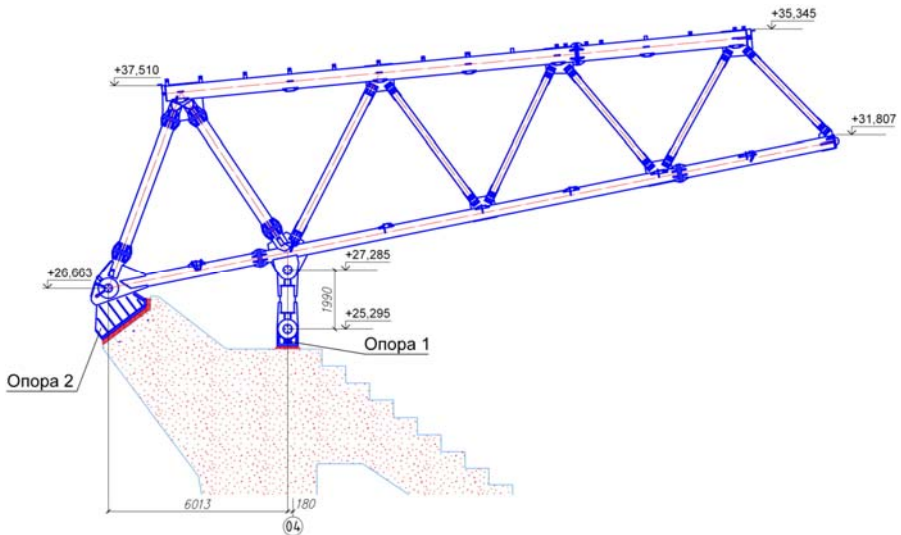


Рис. 6. Схема стропильной фермы

При проведении экспертизы рабочей документации металлических конструкций покрытия был дан ряд рекомендаций в части устранения выявленных несоответствий требованиям украинских норм в 252 чертежах и предоставления протоколов проведения испытаний примененных сталей на ударную вязкость при температуре минус 40 °С на образцах типа «Шарпи». В результате на основе данных рекомендаций компания «MERO-TSK International GmbH» скорректировала чертежи, внесла ряд уточнений и дополнений в расчеты и предоставила требуемые протоколы испытаний сталей, согласно которых показатели ударной вязкости в испытанных образцах при температуре минус 40 °С соответствуют требованиям украинских норм.

Дублирующие расчеты. Согласно [4] строительные конструкции возводимых стадионов подлежат обязательному научно-техническому сопровождению. Поэтому заказчиком было принято решение о выполнении этой работы ДП «Донецкий Промстройниипроект», который разработал программу научно-технического сопровождения проектирования и строительства стадиона «Арена-Львов». В соответствии с этой программой ООО «Укринсталкон им. В.Н. Шимановского» были выполнены дублирующие проверочные расчеты несущих металлоконструкций покрытия, целью которых являлось исследование конструктивной схемы покрытия и проверка сечений всех его элементов на прочность и устойчивость при действии расчетных сочетаний усилий. Расчетная модель металлических конструкций покрытия была сформирована на основе разработанной компанией «MERO-TSK International GmbH» его пространственной модели, которая не только точно отражает пространственную конструктивную схему покрытия, но и включает все его основные несущие элементы (рис. 7).

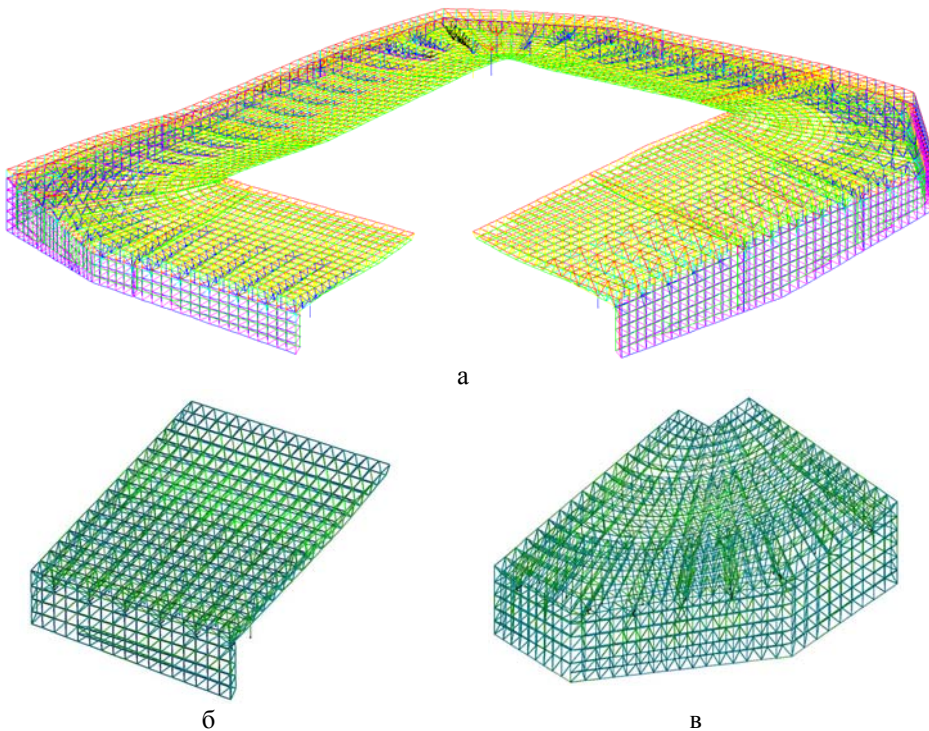


Рис. 7. Расчетные модели металлических конструкций покрытия стадиона «Арена-Львов» (а) и его конструктивных блоков над южными (б) и юго-восточными (в) трибунами

При выполнении дублирующих расчетов покрытия особое внимание было уделено сбору нагрузок и определению их расчетных сочетаний. При этом было исследовано распределение ветрового давления по поверхности покрытия в связи с его нетривиальной геометрической формой, что вызвало необходимость проведения не только численных аэродинамических исследований модели стадиона, но и испытаний его физической модели в масштабе 1:350 в аэродинамической трубе.

Анализ результатов исследований показал, что полученные значения ветрового давления на покрытие с учетом заполнения проемов между покрытием и трибунами и навесных фасадов оказались значительно меньшими, чем рекомендуемые [2] для подобных сооружений и принятых компанией «MERO-TSK International GmbH» при выполнении расчетов (рис. 8). С учетом последнего все дублирующие расчеты покрытия были выполнены при значениях ветрового давления, установленных по результатам проведенных аэродинамических исследований модели стадиона.

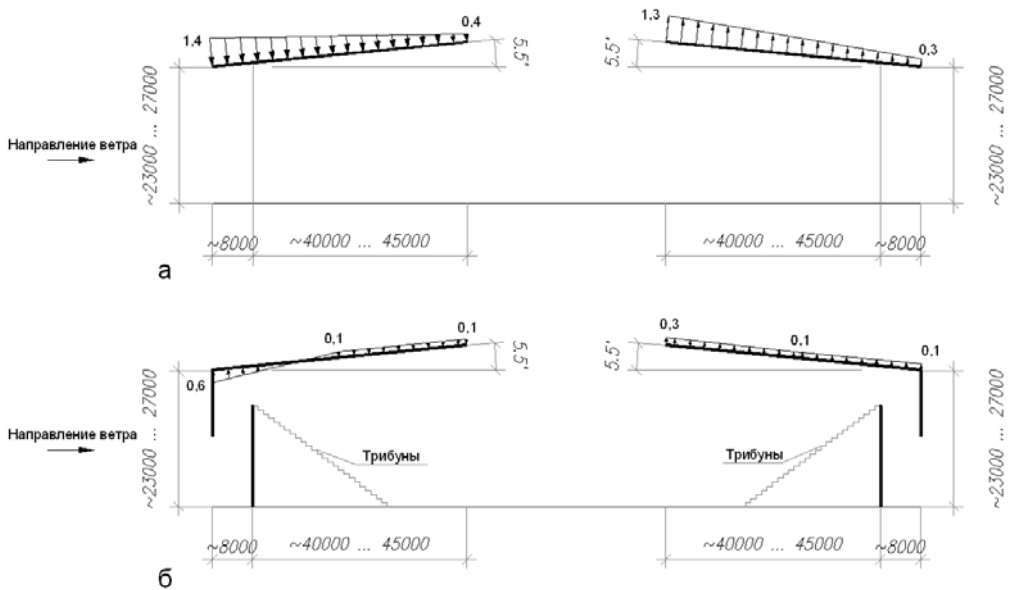


Рис. 8. Эпюры аэродинамических коэффициентов C_{aer} покрытия стадиона «Арена-Львов», определенные по рекомендациям [2] (а) и результатам аэродинамических исследований (б)

Проверка поперечных сечений элементов металлических конструкций покрытия показала, что они отвечают установленным украинскими нормами требованиям по прочности и устойчивости, а величины прогибов и перемещений находятся в допустимых пределах. Также следует отметить, что расчетные сочетания усилий во всех элементах металлических конструкций конструктивных блоков покрытия по данным ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» оказались меньшими на 20–30 % по сравнению с расчетами компании «MERO-TSK International GmbH». Это объясняется завышением в расчётах компании «MERO-TSK International GmbH» значений действующих снеговых и ветровых нагрузок. Для снеговой нагрузки в этих расчётах не был учтен рекомендованный [5] коэффициент $\mu = 0,8$ для покрытий с малыми уклонами, что вызвало увеличение на 10–15 % расчетных сочетаний усилий. Значения ветрового давления на покрытие во время выполнения расчетов компанией «MERO-TSK International GmbH» были приняты по требованиям [2], так как на то время аэродинамические исследования на моделях стадиона ещё не были проведены. Это также привело к увеличению расчетных сочетаний усилий еще на 10–15 %.

Особенности изготовления и монтажа металлоконструкций.

Металлоконструкции покрытия стадиона «Арена-Львов» были изготовлены компанией «MERO-TSK International GmbH». Сертификаты на поставленные металлоконструкции свидетельствуют, что они изготовлены из сталей, указанных в рабочей документации. Кроме того, образцы примененных сталей листового проката, труб толщиной более 5 мм, узловых деталей и болтов класса 10.9 испытаны на ударную вязкость при температуре минус 40 °С. Все стержни, в которых соединения круглых труб с концевыми конусами выполнялись на лазерной сварке, после их изготовления прошли испытания на усилия растяжения, равные несущей способности их болтовых креплений.

Монтаж металлоконструкций покрытия выполнен ООО «Завод «Мастер-Профи Украина», шеф-монтаж – компанией «MERO-TSK International GmbH», а авторский надзор при монтаже этих конструкций – ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского». При проектировании покрытия особое внимание было обращено на технологичность изготовления и обеспечение возможности монтажа несущих металлических конструкций покрытия укрупненными блоками с целью упрощения и ускорения строительных работ.

Монтажные марки металлических конструкций покрытия предварительно укрупнялись на уровне земли в монтажные блоки. Для этого были запроектированы и изготовлены специальные укрупнительные стенды (их общий объём составил 77 т). Последующий монтаж этих блоков был

осуществлен в соответствии с разработанным ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» проектом производства работ с использованием специально спроектированных и изготовленных временных опор (их общий объём составил 250 т). Схема разбивки металлических конструкций покрытия на монтажные блоки представлена на рис. 9, а их укрупнение на стендах в монтажные блоки – на рис. 10.

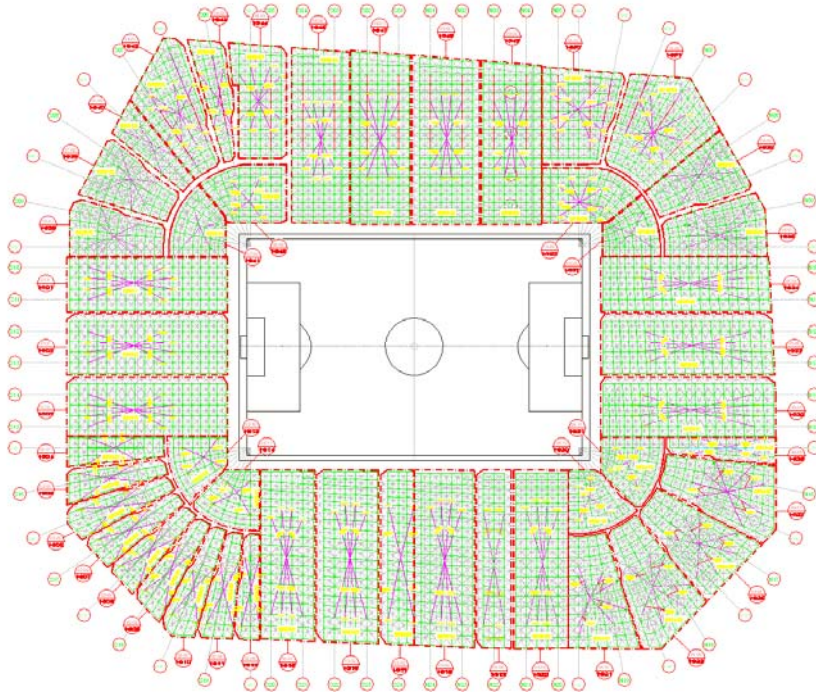


Рис. 9. Схема разбивки металлических конструкций покрытия на монтажные блоки



Рис. 10. Укрупнение металлических конструкций покрытия на стендах в монтажные блоки

Установка монтажних блоків весом до 116 т в проектне положення була здійснена унікальним краном Liebherr LR 1600/2 грузопідйомністю 600 т (рис. 11). При цьому монтажні блоки покриття закріплялися на стаціонарних опорах і одночасно фіксувалися на тимчасових опорах, що дозволяють регулювати геометрію монтажних блоків в вертикальній і горизонтальній площинах при їх об'єднанні стержневими елементами в єдиний конструктивний блок. Для цього на тимчасових опорах була розміщена монтажна оснастка, включаючи спеціальні домкратні пристрої та інші монтажні пристосування (рис. 12).



Рис. 11. Установка монтажного блока в проектное положение

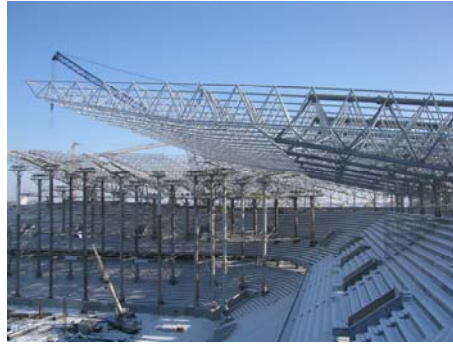


Рис. 12. Временные опоры для сборки монтажных блоков покрытия над восточными трибунами в единый конструктивный блок

Монтаж всіх конструктивних блоків покриття був завершений в жовтні 2011 року (рис. 13). При цьому було смонтовано більше 60 тисяч отпрарочних марок конструктивних елементів, для чого потребувалося більше 110 тисяч високопрочних болтів діаметром від 12 до 64 мм.



Рис. 13. Общий вид в период монтажа конструкций покрытия стадиона «Арена-Львов»

В заключение следует отметить, что оперативное решение разработчиками рабочей документации, изготовителями и монтажниками многих возникающих при строительстве технических вопросов позволило в сжатые сроки смонтировать это уникальное покрытие над трибунами стадиона «Арена-Львов».

Литература

- [1] Державні будівельні норми України. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. ДБН В.1.2-14-2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
- [2] Державні будівельні норми України. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. ДБН В.1.2-2:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 58 с.
- [3] Державні будівельні норми України. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. Норми проектування. ДБН В.1.1-12:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с.
- [4] Державні будівельні норми України. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. ДБН В.1.2-5:2007. – К.: Мінрегіобуд України, 2007. – 14 с.
- [5] European norms. Actions on structures. Part 1-3: General actions. Snow loads. EN 1991-1-3:2003. – Bruxelles: CEN, 2003. – 56 p.

Надійшла до редколегії 06.08.2012 р.