

## НЕСУЩИЕ СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Люстибер В.В., Драган А.В.

**Введение.** В архитектуре современных зданий широко применяют светопрозрачные покрытия с использованием энергоэффективного остекления. К несущим конструкциям таких покрытий предъявляют более высокие требования, чем к конструкциям с классическими ограждающими конструкциями. Одним из определяющих среди этих требований является требование по обеспечению высокой жесткости несущей конструкции наряду с архитектурной привлекательностью и легкостью всего покрытия в целом. Известные конструктивные решения пространственных конструкций системы БрГТУ [1–4] в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к несущим конструкциям светопрозрачных покрытий, и имеют успешный опыт их широкого применения для разнообразных геометрических форм покрытий. Ниже выполнен обзор с краткой характеристикой светопрозрачных покрытий, возведенных в последние годы с использованием конструкций системы БрГТУ.

**Световые фонари торгово-развлекательного центра «Океания», г. Москва.** Архитектурной концепцией торгово-развлекательного центра «Океания» было предусмотрено возведение двух ветровых фонарей. В готовом виде каждый фонарь представляет собой остекленный усеченный эллипсоид высотой 3 м с основанием в виде эллипса с радиусами 13.4 м и 25.4 м (рисунок 1). В качестве несущего каркаса применена стальная однослойная сетчатая оболочка с нерегулярной треугольной сеткой. Соединение стержневых элементов в единую конструкцию выполнено с помощью узловых элементов системы БрГТУ с тавровыми опорными консолями [1].

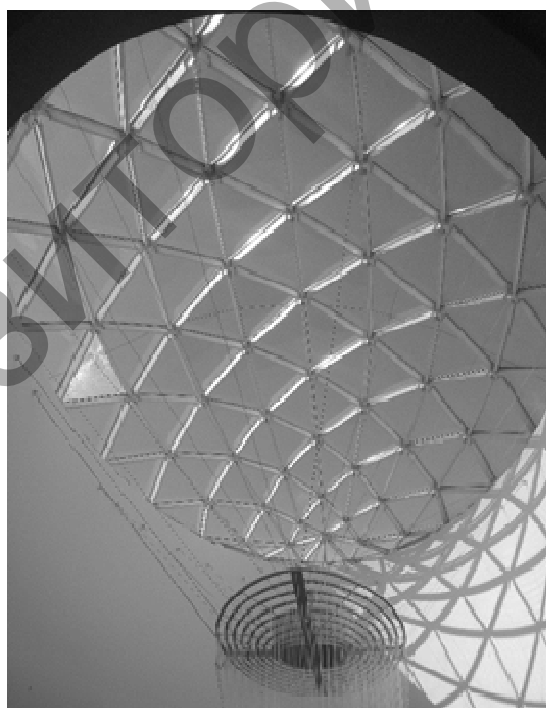


Рисунок 1 – Световой фонарь ТРЦ «Океания», г. Москва

Узловой элемент системы БрГТУ с тавровыми опорными консолями представляет собой полую сферу, с приваренными к ней через тавровые вставки фланцами с круглыми гладкими отверстиями. Стержневые элементы изготавливают из гнутых сварных прямоугольных труб, к торцам которых приваривают фланцы с резьбовыми отверстиями. На монтаже фланец стержневого элемента совмещают с соответствующим фланцем узлового элемента и скрепляют их между собой с помощью болтов, пропускаемых через гладкие отверстия

фланца узлового элемента и вкручиваемых в резьбовые отверстия фланца стержневого элемента. С целью обеспечения надежного заземления стержневого элемента в узле в каждом соединении устанавливают не менее четырех болтов с контролируемым натяжением. Использование прямоугольных труб и тавровых вставок с полками, верхняя поверхность которых располагается в одной плоскости с верхними полками прикрепляемых прямоугольных труб, позволяет выполнять монтаж стеклопакетов либо иных ограждающих конструкций непосредственно на несущий каркас без устройства дополнительной опорной системы.

Для указанных световых фонарей применены полые сферы с наружным радиусом  $R_{нар}=90$  мм с толщиной стенки 10 мм. Тавровые вставки и фланцы узловых элементов изготовлены из листовой стали толщиной 10 мм. Трубчатая часть стержневых элементов изготовлена из гнутых сварных прямоугольных труб сечением 180x80x4 по ГОСТ 30245, а фланцы – из листовой стали толщиной 20 мм. Материал конструкций: сталь С255 по ГОСТ 27772 – для прямоугольных труб, С345 по ГОСТ 27772 – для остальных элементов и деталей.

**Купол торгово-развлекательного комплекса «Вегас-3», Московская область.** При возведении двух куполов торгово-развлекательного комплекса «Вегас-3», расположенного в Одинцовском муниципальном районе Московской области, впервые применен новый узловой элемент с фасонками типа «ласточкин хвост» [2]. Купола запроектированы сферическими с треугольными ячейками и имеют радиус покрытия  $R=28.0$  м и строительный подъем  $f=8.455$  м (рисунок 2).



Рисунок 2 – Купол ТРК «Вегас-3», Одинцовском муниципальном район Московской области

Новый узловой элемент представляет собой полую сферу с приваренными листовыми фасонками, ориентированными нужным образом в пространстве. При изготовлении узлового элемента предусмотрен следующий порядок выполнения технологических операций. Полусферы с заданным наружным радиусом изготавливают горячей штамповкой из листовой стали. На торцах кромок полусфер снимают фаски и совмещают две полусферы, образуя тем самым полую сферу. Радиус полой сферы и толщина ее стенки определяют из условия обеспечения несущей способности сферы и креплений. Объединение полусфер в единый конструктивный элемент осуществляют посредством выполнения стыкового сварного шва с разделкой кромок по замкнутому контуру, обеспечивая тем самым равнопрочность сварного шва основному металлу. Фасонки типа «ласточкин хвост» с двумя выступающими упорами изготавливают из листовой стали путем фрезерования. На участке фасонки, примыкающей к поверхности сферы, снимают двустороннюю фаску, после чего выполняют ее присоединение к полой сфере с помощью сварки.

Стержневые элементы могут быть изготовлены из круглых труб (прямошовных электросварных по ГОСТ 10704 или бесшовных по ГОСТ 8732) или из замкнутых гнутых

сварных профилей (квадратных или прямоугольных по ГОСТ 20345). В торцы труб вваривают специальные детали с захватами.

Крепление каждого стержневого элемента в узле выполняется с помощью двух болтов с предварительным натяжением. Внутренние усилия в соединении передаются через поверхности контакта выступающих участков фасонки типа «ласточкин хвост» и элементов специальной детали с захватами. Предварительное натяжение болтов выполняется с целью обеспечения плотного примыкания друг к другу поверхностей контакта, через которые передаются внутренние усилия в соединении. Таким образом, рассматриваемое соединение не является фрикционным в классическом понимании данного термина.

Стержневые элементы указанных куполов изготовлены из бесшовных горячедеформированных труб сечением  $\text{Ø}114 \times 5$  и  $\text{Ø}159 \times 7$  по ГОСТ 8732 из стали 20 по ГОСТ 8731. Узловые элементы выполнены из полых сфер, имеющих стенку толщиной 14 мм и наружный радиус  $R_{\text{нар}}=104$  мм. Сферы состоят из полусфер, изготовленных горячей штамповкой из листовой стали класса С345 по ГОСТ 27772. Крепление каждого стержневого элемента в узле выполняется с помощью двух болтов М20 класса прочности 10.9 по ГОСТ 7798 с предварительным натяжением. Для фасонки типа «ласточкин хвост» приняты следующие сечения свободных участков: 20x116 мм, 30x160 мм, 30x170 мм.

**Купол Детского центра, г. Ялта.** Конструкция однослойного сетчатого купола Детского центра в г. Ялта образована стержневыми элементами, жестко соединенными в узлах с помощью узловых элементов с фасонками типа «ласточкин хвост». Диаметр купола в основании составляет 20.600 м, а высота – 13.860 м. При разбивке принята сетка с трапециевидными ячейками. Для повышения жесткости, обеспечения геометрической неизменяемости и общей устойчивости купола предусмотрена система связей.



Рисунок 3 – Купол Детского центра, г. Ялта

Стержневые элементы купола изготовлены из гнутых сварных прямоугольных труб сечением  $120 \times 80 \times 5$  и сечением  $120 \times 80 \times 6$  по ГОСТ 20345 из стали С255 по ГОСТ 27772. Узловые элементы выполнены из полых сфер, имеющих стенку толщиной 10 мм и наружный радиус  $R_{\text{нар}}=60$  мм. Крепление каждого стержневого элемента в узле выполняется с помощью двух болтов М20 класса прочности 10.9 по ГОСТ 7798 с предварительным натяжением.

Стержневые элементы связей изготовлены из электросварных прямошовных труб сечением  $\text{Ø}76 \times 5$  и сечением  $\text{Ø}83 \times 5$  по ГОСТ 10704 из стали 20 по ГОСТ 1050.

С целью упрощения и повышения качества монтажа, а также для уменьшения значений горизонтальных реакций, передаваемых от купола на железобетонный каркас, и рассеивания энергии при сейсмических воздействиях в основании купола предусмотрено опорное стальное кольцо. В опорных узлах стального кольца для достижения обозначенных вышесказанных целей предусмотрены фторопластовые пластины, и пластины из нержавеющей полированной стали. Опорное кольцо диаметром  $D=20.600$  м имеет сварное двутавровое сечение.

**Атриум объекта «Центр безопасности по ул. Олешова», г. Минск.** Несмотря на архитектурную привлекательность однослойных несущих конструкций, их применение не всегда является рациональным по следующим причинам: необходимость восприятия значительных реакций распора, большой строительный объем неиспользуемого пространства в пределах купола, повышенная металлоемкость из условия обеспечения требуемой жесткости покрытия. В некоторых случаях оправдано применение классической двухслойной несущей конструкции [3], которые характеризуются высокой жесткостью и способностью воспринимать значительные нагрузки при значительных пролетах и относительно низких значениях высоты пространственной конструкции.

Несущий каркас покрытия атриума Центра безопасности выполнен в виде структурной конструкции системы БрГТУ [3]. Размеры основной ячейки верхней и нижней поясной сеток структурной плиты составляют 1532x1525 мм, высота плиты 1081 мм по осям поясных сеток. Узловые элементы выполнены из полых сфер с наружным радиусом  $R_{нар}=80$  мм толщиной стенки 10 мм. Для крепления стержневых элементов предусмотрены болты М20 и М24 по DIN933 класса прочности 12.9. Стержневые элементы изготовлены из стальных электросварных прямошовных труб сечением  $\varnothing 57 \times 3$  и сечением  $\varnothing 76 \times 3.5$  по ГОСТ 10704. Структурная конструкция опирается контурными узлами верхней поясной сетки на стальные колонны, изготовленные из прямоугольных гнутых сварных профилей сечением 200x160x5 по ГОСТ 30245. Между основными колоннами устанавливаются стойки фахверка, выполненные из гнутосварных профилей сечением 100x60x4 по ГОСТ 30245.



Рисунок 4 – Конструкции атриума Центра безопасности, г. Минск

**Заключение.** Сопровождение процесса возведения светопрозрачных покрытий с несущими стальными конструкциями системы БрГТУ, которое берет свое начало на стадии разработки проектов, не прерывается во время изготовления конструкций и их монтажа, и продолжается при эксплуатации этих покрытий, подтвердило, что принятые конструктивные решения в действительности являются эффективными и могут успешно использоваться в современном строительстве зданий и сооружений различного назначения.

#### Список источников

1. Узел соединения пространственного каркаса из полых стержней : полез. модель ВУ 10764 / В. И. Драган , А. В. Драган, К. К. Глушко, В. Н. Пчелин. – Оpubл. 15.05.2015.
2. Узел соединения пространственного каркаса из полых стержней : полез. модель ВУ 11204 / В. И. Драган , К. К. Глушко, А. В. Драган, В. В. Люстибер. – Оpubл. 30.10.2016.
3. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: полез. модель ВУ 2489 / В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобыта, В.Н. Пчелин. – Оpubл. 28.02.2006.
4. Узел соединения пространственного каркаса из полых стержней : полез. модель ВУ 11679 / В. И. Драган , К. К. Глушко, А. В. Драган, В. В. Люстибер. – Оpubл. 30.04.2018.
5. Драган, В.И. Перекрытия в ажуре. Структурные плиты на основе металлических каркасов для спортивных объектов на примере металлической пространственной конструкции системы «БрГТУ» / В.И. Драган, В.В. Люстибер // Мастерская. Современное строительство. – 2009. – №1(58). – С. 38-43.