

Большепролетные металлические структурные конструкции системы БрГТУ

Драган В.И., Морилова Н.Л.

Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь

Одним из эффективных типов пространственных конструкций для уникальных большепролетных сооружений являются структурные конструкции, в разработке которых Беларусь сегодня имеет несомненный приоритет. В Брестском государственном техническом университете создана новая металлическая структурная конструкция, получившая название система “БрГТУ”. Эта металлическая конструкция обладает архитектурной выразительностью и привлекательностью, позволяет перекрывать сооружения пролетом более 150 м с различными очертаниями в плане. Структуру “БрГТУ” отличает простота и быстрота сборки конструкции как непосредственно на проектной отметке, так и вблизи строящегося сооружения.

Конструктивные и строительные преимущества структуры системы БрГТУ свидетельствуют об экономической целесообразности их применения: сокращение расхода стали до 20 %, уменьшение трудозатрат на строительной площадке до 25 %, сокращение сроков возведения в 1.5 раза, снижении стоимости до 10 %.

Структурная металлическая конструкция системы БрГТУ достаточно быстро получила признание архитекторов, проектировщиков и в настоящее время имеет несомненный приоритет по отношению к другим пространственным конструкциям. Об этом свидетельствует не только факт широкого применения данной

конструкции по всей республике в качестве покрытий общественных зданий, культурно развлекательных и спортивных сооружений, но и то, что данная конструкция была использована при возведении уникальных сооружений, таких как, например, покрытие летнего амфитеатра в г. Витебске.

Впервые структурное покрытие системы БрГТУ было применено при строительстве театра эстрады в парке культуры и отдыха в г. Бресте.

Первое место среди возведенных сооружений с использованием системы БрГТУ ввиду его уникальности, бесспорно, занимает большепролетное покрытие Летнего амфитеатра, запроектированное в металлических конструкциях заводского изготовления. Комбинированная стержневая система состоит из структурной цилиндрической оболочки, усеченной двумя наклонными плоскостями, и подкрепляющих ее девяти вертикальных арок (пять нижних и четыре верхних), а также двух наклонных арок. Принятая конструкция одновременно конструктивно логична и интересна.

Пролет оболочки составляет 120,014 м, ширина покрытия переменная и изменяется от 24,0 м на опорах до 71,0 м в средней части покрытия. Высота подъема осей вертикальных арок над фундаментами составляет 18,5 м, высота покрытия по осям арок – 3,32 м. Радиус нижней поясной сетки по центрам узлов $R=106,98$ м, высота сечения оболочки – 2,51 м, размер ячеек верхней поясной сетки – 3,0 x 3,0 м. Структурная оболочка воспринимает внешние нагрузки по всей площади покрытия и передает опорные реакции на вертикальные и наклонные арки и колонны, обеспечивает совместную работу всех конструкций покрытия, выполняет функцию решетки пространственной арки.

За последнее время с применением структурной системы БрГТУ, было запроектировано более 20 объектов, 10 из которых возведены.

Система БрГТУ отличается от других систем конструктивными решениями узлов и стержней, обладает научной и технической новизной и защищена 15 патентами на изобретение.

Узел структуры состоит из полого шара с отверстиями, в которые устанавливаются высокопрочные болты для соединения стержней.

Полый шар собирают из двух полусфер, полученных путем горячего прессования из листового проката. В полусферах высверливаются отверстия необходимого диаметра под

высокопрочные болты. Внутренние и наружные шайбы имеют сферическую поверхность с радиусом, равным внутреннему и наружному диаметру шара соответственно. В отверстия со стороны полости полусфер устанавливаются на сферических шайбах высокопрочные болты. На высокопрочные болты с наружной стороны устанавливается наружная сферическая шайба и две гайки: силовая гайка контргайка. Далее производят сварку полусфер стыковым швом с разделом кромок полуавтоматической или автоматической сваркой в среде углекислого газа. Диаметр шара, толщина стенки шара, диаметр и марка стали высокопрочных болтов и гаек, толщина и размеры сферических шайб назначаются исходя из величины усилий, возникающих в стержнях структуры. Стержни структуры изготавливаются из круглых бесшовных труб. Для их соединения с болтами узлов в торцы труб устанавливаются и привариваются по контуру специальные круглые гайки с резьбовыми отверстиями.

Принятые конструктивные решения позволяют достаточно точно и однозначно выделить характер и направления силового потока в узле. Передача усилия со стержневого элемента на болт происходит через резьбовое соединение гайки стержня и болта. Контргайка служит только для стопорения стержневого элемента, а ее работой при передаче симметричного усилия пренебрегают. Передача усилия с болта на стенку узла зависит от знака усилия и происходит в следующей последовательности. Сжимающее усилие в стержне через резьбу передается на силовую гайку, далее на наружную шайбу и через нее – на стенку шара. Усилие растяжения передается с головки болта на внутреннюю шайбу, а далее – на стенку шара.

Важным конструктивным достоинством структурной системы БрГТУ, является возможность регулировать зазор между гайками в узле, что позволяет компенсировать неточности изготовления деталей, включить в работу абсолютно все стержни конструкции и создать начальное полезное усилие в стержнях пространственной системы.

Конструктивная особенность системы БрГТУ, применение сферических толстостенных узлов позволяют допустить при расчете гипотезу о шарнирном соединении узлов и значительно упростить статическую схему. Сравнение численных расчетов с результатами натурных испытаний большеразмерных фрагментов, большепролетных покрытий Летнего амфитеатра в Бресте, Ледового дворца в Пружанах. Летнего амфитеатра в г. Витебске показало, что все стержни центрально растянуты или сжаты, расчетные и

экспериментальные значения хорошо соответствуют друг другу в пределах, не превышающих $5 \div 10$ %, незначительные изгибающие моменты в стержнях обусловлены случайными эксцентриситетами, связанными с разностенностью труб и местными погибами труб, возникшими при прокатке.

При расчетах устойчивости стержней структуры БрГТУ предлагается принимать в качестве расчетной длины длину между центрами узлов. Конструкция узла реализует очень близкое к шарнирному примыкание стержня. В момент потери устойчивости обнаружен поворот болта в отверстии полого шара, что дает возможность назначать свободную длину стержня как расстояние между сечениями с нулевыми моментами, исходя из классического его понимания.

Было исследовано напряженно-деформированное состояние толстостенной сферы с отверстиями и подкрепляющими шайбами, нагруженной локальными нагрузками от усилий в стержнях структуры. Разработана конечно-элементная модель, проведено ее экспериментальное подтверждение на натурных испытаниях узлов при одноосном и многоосном нагружении. Был выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния полого шара с отверстиями и подкрепляющими шайбами при многоосном нагружении локальными нагрузками, и установлены закономерности распределения напряжений и деформаций в зависимости от диаметра и толщины полого шара, размеров подкрепляющих шайб, величины локальных нагрузок. Установлено, что при любых соотношениях усилий в стержнях структуры исчерпание несущей способности узла происходит всегда в результате развития пластических деформаций стали в кольцевой зоне вокруг шайб, сопровождающихся выпучиванием или вдавливанием стенки шара при растяжении или сжатии соответственно. Появление пластических деформаций, изменяющих форму шара в других зонах, либо образование трещин в его стенке, не происходит.

Разработана достоверная методика определения несущей способности узлов структурной конструкции, основанная на сопоставлении максимального усилия, действующего на узел, с максимальным допускаемым усилием, назначенным на основании диаграммы деформирования ("нагрузка – деформация") при одноосном растяжении или сжатии полого шара с отверстиями и подкрепляющими шайбами. За допускающую нагрузку на узел принимаются значения $N = 0.6 N_{пред}$.

Разработан сортамент узлов с различными диаметрами и толщиной полых шаров, размерами подкрепляющих шайб и высокопрочными болтами для восприятия усилий в стержнях структуры от 100 до 1000 кН. Предложенная конструкция узлов обеспечивает высокую надежность по сравнению с конструктивными решениями ("Меро", "Мархи" и др.) за счет исключения силовых и конструктивных эксцентриситетов, включения в работу всех стержней, обеспечения требуемой точности сборки и проектного положения структурной конструкции.