

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

ВВЕДЕНИЕ

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 150м с различными очертаниями в плане. С увеличением пролета эффективность применения структурных покрытий возрастает. Они пригодны для создания различных форм: плоские покрытия, оболочки, купола. К преимуществам архитектурного плана относятся сравнительно малая строительная высота, достигающая $1/20 \div 1/50$ перекрываемого пролета. Покрытие обладает высокой несущей способностью и пригодно для восприятия нагрузок свыше 300 кг/м^2 при пролетах до 100м.

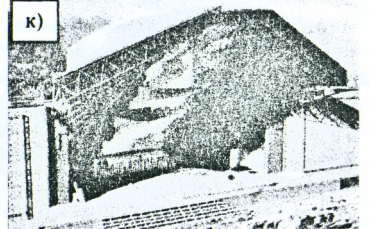
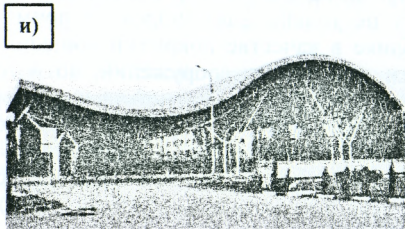
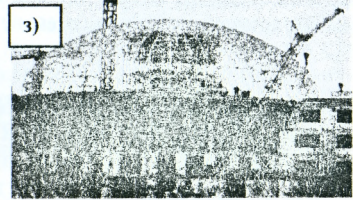
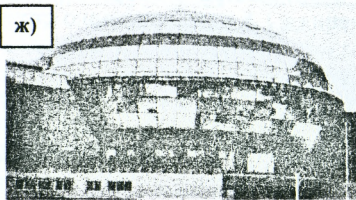
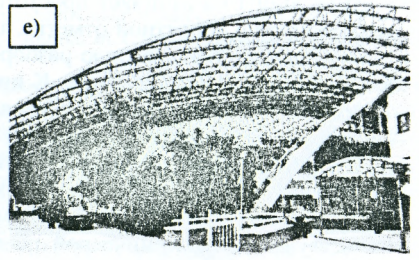
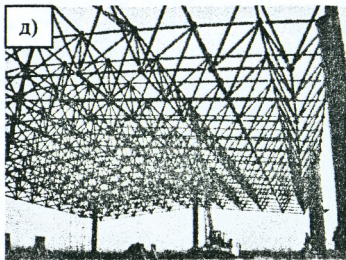
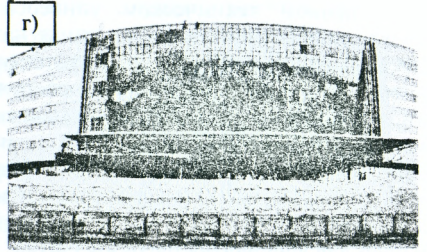
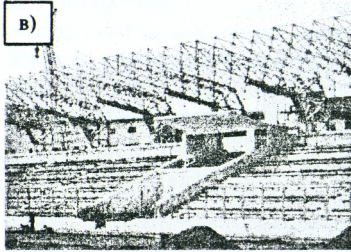
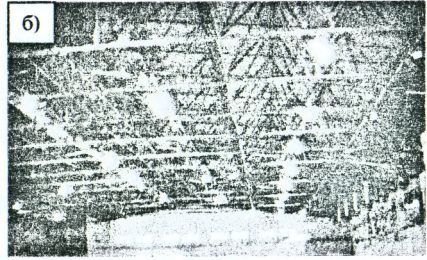
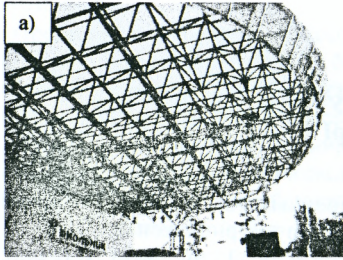
Структуру «БрГТУ» отличает простота и быстрота сборки конструкции как непосредственно на проектной отметке, так и вблизи строящегося сооружения. Нельзя не отметить и возможную разборность конструкции с последующей ее повторной сборкой на новом месте. К преимуществам этой конструкции относятся высокая индустриальность изготовления основных конструктивных элементов, полная их заводская готовность, однотипность изделий и возможность их широкой унификации не только для отдельных сооружений, но и для зданий с различными пролетами, нагрузками и схемами опирания.

Конструктивные и строительные преимущества структуры системы «БрГТУ» свидетельствуют об экономической целесообразности их применения: сокращению расхода стали до 20%, уменьшению трудозатрат на строительной площадке до 25%, сокращению сроков возведения в 1.5 раза, снижению стоимости до 10% [1].

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

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. Всего в период с 2006 года по 2014 год построено 19 таких зданий и сооружений.

Впервые структурное покрытие системы «БрГТУ» было применено при строительстве театра эстрады в парке культуры и отдыха в г.Бресте (рис.а).



Структурное покрытие представляет собой пространственную стержневую плиту с ортогональной сеткой поясов с размерами ячеек 1.5x1.5 м. Конструкция имеет размеры в плане 18x22.5 м, высота структурной плиты по осям поясов 1.06 м. Все стержни пространственной конструкции имеют одинаковую номинальную длину и состоят из бесшовных круглых труб двух типоразмеров: поясов и раскосов – $\varnothing 76 \times 4$ мм, опорных раскосов – $\varnothing 102 \times 4$ мм. Все узлы выполнены из поллой сферы с наружным радиусом 160 мм и толщиной стенки $t=10$ мм. Структурная плита опирается на четыре колонны двух типов: сквозной четырехветвевой из труб сечением $\varnothing 102 \times 6$ мм и сплошной из труб $\varnothing 273 \times 7$ мм и имеет консольный вылет над сценой на 9.0 м [6-8].

Более сложное конструктивное решение применено в конструкции покрытия ледовой арены на 800 мест в г.Пружаны. Такая же конструкция применена на ледовых аренах в г.Кобрине, г.Лунинце, г.Ивацевичи (рис.б).

Покрытие представляет собой металлическую пространственную перекрестно – стержневую конструкцию, выполненную в виде предварительно – напряженной прямоугольной плиты. Регулярная пространственная конструкция образована двумя прямоугольными плитами, соединенными в коньке и создающими два ската с уклоном 8° . Структурная плита опирается по контуру крайними узлами нижнего пояса на сталежелезобетонные колонны с шагом 6м и образующие в плане прямоугольник с размерами сторон 39x63 м. Ячейки поясов плиты имеют размер 3x3 м, высота плиты в осях – 3 м.

В связи с необходимостью восприятия реакции распора, в уровне опорных узлов нижнего пояса плиты устанавливаются затяжки с шагом 3 м, в направлении меньшего пролета.

Все затяжки выполнены из бесшовных горячекатаных труб $\varnothing 127$ мм и толщиной стенки 8 мм. Затяжки включают в работу предварительным натяжением 50 кН. Для сборки покрытия ледовой арены применены две марки узлов системы «БрГТУ»: с толщиной стенки поллой сферы 10 мм и наружным диаметром 160 мм и с толщиной стенки 16 мм и наружным диаметром 212 мм. Стержни структурной плиты изготовлены из круглых труб $\varnothing 127 \times 8$ мм, $\varnothing 89 \times 5$ мм, $\varnothing 83 \times 4$ [2, 6-8].

Интересное конструктивное решение применения структуры «БрГТУ» применено в навесе над западной трибуной стадиона «Спартак» в г.Могилеве. Навес представляет собой структурную плиту размером в плане 131x14 м и высотой 1.41 м, защемленную по длинной стороне на трехветвевых пилонах, установленных с шагом 12 м (рис. в).

Все стержни структурной плиты состоят из бесшовных горячекатаных труб $\varnothing 60 \times 4$, $\varnothing 89 \times 5$, $\varnothing 102 \times 8$. Применено два типа узлов диаметром 160 мм и толщиной 10 мм, и диаметром 212 мм и толщиной стенки 16 мм. Опорные пилоны состоят из двух условных конструктивных фрагментов: трехветвевой решетчатой колонны и трехветвевое решетчатого ригеля. Решеткой ригеля являются раскосы и стержни пояса структурной плиты. Такая конструкция сопряжения обеспечивает совместную работу структурной плиты и ригелей и защемляет плиту на опорных пилонах. Сжатая ветвь пилона запроектирована из двух труб $\varnothing 325 \times 14$ мм, соединенных листовыми накладками, растянутые ветви выполнены из труб $\varnothing 325 \times 14$ мм, решетка состоит из труб $\varnothing 121 \times 8$, $\varnothing 219 \times 8$ мм [6-8].

Подобную статическую схему имеет структурная плита системы «БрГТУ» над главным входом многопрофильного культурно – спортивного комплекса «Минск - Арена». Структурная плита имеет криволинейное очертание в плане с

радиусом примыкания к фасаду здания $R=64.80$ м, с размерами по ширине 17.71 м и длине дуги наружной грани 46.34 м. Криволинейная плита опирается на четыре колонны каркаса здания, четыре колонны в пролете плиты и имеет консоль длиной 6.3 м. Высота структурной плиты 1.700м, длина стержней верхнего и нижнего пояса 2.53 м, ширина переменная (2.109м – 2.689м). Все стержни запроектированы из бесшовных горячекатаных труб $\varnothing 89 \times 5$ мм, $\varnothing 114 \times 8$ мм, $\varnothing 114 \times 12$ мм, все узлы запроектированы $\varnothing 212$ мм и толщиной стенки 16 мм (рис.г).

Структурная конструкция системы «БрГТУ» является весьма удачной конструкцией для перекрытия спортивных залов, больших пролетов в общественных зданиях. Плоская плита покрытия применена в покрытии универсального спортивного зала многопрофильного спортивного комплекса «Минск - Арена». Структурная конструкция имеет размеры в плане 24х42 м и высоту 2.62 м, опирается по контуру на стены крайними узлами с шагом 3.0 м [6-8].

Структурными плитами системы «БрГТУ» перекрыты залы борьбы и игровой зал в здании ДЮСШ №2 г.Калинковичи Гомельской области.

В покрытии здания кафе возле г.Береза на трассе «Брест-Минск» применена структурная конструкция с размерами в плане 18х24 м. и высотой 1.5м (рис.д).

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), двух наклонных арок. Принятая конструкция одновременно конструктивно логична и интересна (рис.е) [3-8].

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.

Основными конструктивными элементами, обеспечивающими передачу на фундаменты нагрузок и воздействий являются пять нижних и четыре верхних вертикальных арок, между которыми расположена цилиндрическая структурная оболочка. Шаг вертикальных арок составляет 3.0 м, причем верхние вертикальные арки смещены относительно нижних на 1.5 м. Вертикальные арки выполнены в виде пучков, состоящих из трех криволинейных труб $\varnothing 273 \times 10$ мм, объединенных между собой в местах примыкания узлов структуры планками и диафрагмами. Такое решение обеспечивает совместную работу ветвей и передачу усилий с узлов структуры на вертикальные арки.

Вертикальные арки опираются на монолитные железобетонные фундаменты через консоли, которые представляют собой сталебетонные элементы, жестко защемленные в теле фундамента на глубину 1.5 м. Узел сопряжения вертикальных арок и консолей выполнен в виде фланцевого соединения на высокопрочных болтах. Принятая конструкция опирания реализует безшарнирную статическую схему, как для арок, так и для пространственной оболочки в целом. Жесткое сопряжение оболочки с фундаментами обеспечивает требуемую жесткость и пространственную неизменяемость покрытия, высокую надежность и большие запасы несущей способности, а также позволило применить простую конструкцию опорных узлов.

Наклонные арки являются обрамляющими элементами структурной оболочки и представляют собой плоские серповидные фермы с решеткой из круглых труб.

В связи с существенной асимметрией поверхности оболочки относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести вертикальных арок и фундаментов, со стороны большей консоли установлены две сквозные трехветвевые колонны. Конструктивное решение сопряжения оголовка колонны со структурной оболочкой разработано таким, чтобы на колонну передавалось только вертикальное усилие. Опорный узел структурной оболочки может свободно перемещаться в горизонтальном направлении благодаря двум фторопластовым пластинам толщиной 10 мм, уложенными между опорной плитой узла структурной оболочки и оголовком колонны.

Главная роль для создания архитектурной привлекательности и конструктивной целесообразности сооружения отводится структурной оболочке системы «БрГТУ». Радиус нижней поясной сетки по центрам узлов $R=106,98$ м, высота сечения оболочки 2.51 м, размер ячеек верхней поясной сетки 3.0х3.0 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.

Одним из приоритетных конструкций покрытия среди построенных с применением структурной конструкции системы «БрГТУ» является купол здания НОК (рис. ж, з) [6-8]. Купол здания «Олимпийского комитета» состоит из трех отдельных стальных конструкций, выполненных с использованием стержневых систем БрГТУ:

- первая конструкция представляет собой купол, опирающийся шарнирно на отметке 15,470 м на верхнюю полку стального опорного кольца, заделанного в железобетонную плиту покрытия;

- вторая и третья конструкции представляют собой фрагменты купола, расположенные между двумя плитами перекрытия, которые опираются шарнирно на отметке +8,000 м на закладные детали нижней плиты перекрытия и прикреплены листовыми шарнирами на отметке +14,804 м к нижней полке стального опорного кольца, заделанного в верхнюю железобетонную плиту перекрытия.

Конструкции запроектированы в виде двухслойной сетчатой оболочки из стержней с расстояниями между слоями 1640 мм. Внутренняя поверхность оболочки образована вращением кривой, состоящей из двух дуг окружностей с радиусами $R_1=7,07$ м, $R_2=33$ м.

Стержневая сетчатая оболочка разбита на ячейки в виде равнобедренных трапеций. Основание трапеций до отметки +22,885 м получено делением окружностей на 58 частей. Выше указанной отметки основания трапеций получены делением окружности на 29 частей. Пояса двухслойной оболочки соединены в пространственную систему стержнями решетки и объединены узловыми элементами системы «БрГТУ».

Покрытие ледового катка по ул. Головацкого в г. Гомеле (рис. и) по технической сложности пространственной структурной оболочки, новизне принятых конструктивных технических решений, перекрываемой площади без промежуточных опор и другим параметрам относится к уникальным сооружениям. Покрытие запроектировано на кафедре строительных конструкций БрГТУ в 2007 году. Покрытие имеет размеры в плане 49,092х57,82 м и представляет собой комбинированную пространственную структурную оболочку, в поперечном разрезе близкую по очертанию к синусоиде. Объединение стержней в единую конструкцию выполнено с помощью полых шаровых узлов системы «БрГТУ» [6-9].

Структурная оболочка имеет диагональные верхнюю и нижнюю поясные сетки с ячейками в виде ромбов. Высота структурной оболочки по осям – 2,4 м, размер стороны ромба верхней поясной сетки – 2,861 м, размеры сторон ромбов нижней поясной сетки – 2,733 м, 2,911 м, 3,005 м, 3,053 м. В качестве стержней в структурной оболочке применены трубы стальные горячекатаные по ГОСТ 8732 (Ø76x5, Ø89x5, Ø102x8, Ø114x9 и Ø121x11). В торцы стержневых элементов вварены круглые гайки с резьбой М30. Наиболее нагруженные стержневые элементы с величиной продольного усилия более 400 кН сопрягаются с узлами с помощью монтажной сварки через фасонки.

Для уменьшения строительной высоты покрытия и расхода металла структурная оболочка опирается нижними узлами на опорные площадки составных ригелей. Ригели выполнены из двух горячекатаных труб сечением Ø273x10, объединенных в местах опирания узлов диафрагмами и площадками. Ригели, расположенные по оси А и Д, выполнены криволинейными в вертикальной плоскости. Ригели, смонтированные по оси 1 и 3, выполнены прямолинейными [6-8].

Покрытие над сценой амфитеатра в парке отдыха г. Молодечно запроектировано из двух пространственных двухпоясных структурных конструкций (рис. к). Сооружение имеет следующие генеральные размеры: ширина - 25,879 м; длина - 35,658 м; высота +15,064 м.

Пространственная решетчатая конструкция имеет четырехугольную сетку верхнего и нижнего поясов. Размеры ячеек верхней и нижней поясной сетки составляют 1,5...1,7x1,5...1,8 м. Высота конструкции по осям поясов составляет 1,06 м. Структурные конструкции опираются крайними узлами нижней и верхней поясной сетки с шагом 1,5...1,6 м на стальные ригеля пространственных рам.

Стержневые элементы конструкции покрытия выполнены из бесшовных горячекатаных труб по ГОСТ 8732 (тр. 73x6, тр. 89x10, тр. 108x10 и тр. 140x12), в торцы которых вварены круглые гайки с резьбой М24 и М30.

Конструкция стержней и узлов структурной конструкции системы «БрГТУ»

Система «БрГТУ» отличается от других систем конструктивными решениями узлов и стержней, обладает научной и технической новизной и защищена 13 патентами на изобретение [10].

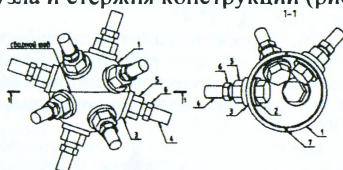
Узел структуры состоит из полого шара с отверстиями, в которые устанавливаются высокопрочные болты для соединения стержней.

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 устанавливаются наружная сферическая шайба и две гайки: силовая гайка и контргайка. Далее производят сварку полусфер стыковым швом с разделом кромок полуавтоматической или автоматической сваркой в среде углекислого газа.

Важная роль в данном узле отводится шайбам. Сферические поверхности внутренней и наружной шайбы, примыкающие к шаровой поверхности, имеют радиусы, равные соответственно внутреннему и наружному радиусу шара. Данная конструкция шайб обеспечивает центрирование стержней на центр узла при закручивании силовой гайки, благодаря совмещению поверхностей контакта шайба – сфера.

Следует отдельно отметить, что выполнение в стенке полого шара отверстия с диаметром, превышающим диаметр болтов, обеспечивает возможность поворота болтов при сборке на угол α , что значительно упрощает сборку и позволяет снизить точность изготовления узла и стержня конструкции (рис. 1).



1 – полусфера, 2 – внутренняя шайба с выпуклой поверхностью; 3 – наружная шайба с вогнутой поверхностью; 4 – болт; 5 – силовая гайка; 6 – контргайка; 7 – центрирующий штифт
Рис.1 – Узловой элемент системы «БРГТУ»

Диаметр шара, толщина стенки шара, диаметр, 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.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган, В.И. Разработка методов расчета напряженно – деформированного состояния сложных стальных и сталежелезобетонных конструкций при нестационарных силовых и не силовых воздействиях / В.И. Драган, Н.Н. Шалобьга, А.В. Мухин, В.В. Люстибер // Сборник научных трудов II Международного научно – практического семинара по реализации задач ГНУФИ «Строительство и архитектура», Минск, 19-21 сентября 2007г. : в 3т. – Минск т.1. – С224-242.
2. Драган, В.И. Натурные испытания металлической структурной плиты покрытия Ледовой арены в Пружанах / В.И. Драган, В.В. Люстибер // Строительство и архитектура – 2007. – №5. – С. 64-67.
3. Драган, В.И. Конструктивные решения и основные результаты расчетов большепролетного металлического покрытия Летнего амфитеатра в г.Витебске / В.И. Драган, А.В. Мухин, И.В. Зинкевич, В.А. Лебедь, Н.Н. Шалобьга, Л.Г. Головкин, А.Б. Шурин, В.В. Люстибер, А.В. Мигель // Строительство и архитектура – 2008. - №1(49). – С. 94-102.
4. Драган, В.И. Пространственное металлическое покрытие летнего амфитеатра в г.Витебске / В.И. Драган, А.В. Мухин, В.В. Люстибер // Problemy naukow - budownictwa. – Bialystok – 2007. – Т II. – S. 211-219.

5. Драган, В.И. Проектирование и строительство оболочки покрытия амфитеатра «Славянский базар» / В.И. Драган // Архитектурно – планировочные решения, конструктивно – технологические системы и энергосберегающее оборудование жилых и общественных зданий XXI века: материалы международной научно – технической конференции. – Минск, 25-26 июня 2008. – Мн., 2008. – С. 42-45.
6. Драган, В.И. Опыт проектирования металлической структурной конструкции системы «БрГТУ» на уникальных объектах республики Беларусь // Сборник научных трудов XVI международного научно – методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест 28-30 мая 2009г: в 2 т. – 2009. – Т.1. – С. 42-49.
7. Драган, В.И. Новое направление в конструировании металлических структурных конструкций с высокой несущей способностью и экономической эффективностью // Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. – 2009. - №4(35). – С.72-75.
8. Драган, В.И. Большепролетные металлические структурные конструкции системы «БрГТУ» // Збірник наукових праць Українського науково – дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча техніки України, д.т.н., професора О.В. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь». – 2010. – Вип.5. – С. 72-82.
9. Драган, В.И. Комбинированная структурная оболочка покрытия ледового катка по ул. Головацкого в г.Гомеле // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XVIII Международного научно – методического семинара. – Новополоцк, 28-29 ноября 2012 г.: в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т.1. – С. 53-58.
10. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат.2489 Респ. Беларусь, Е04В 1/58/ В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобыта, В.Н. Пчелин; заявитель Брестский го. ун-т. - №20050458, заявл. 21.07.2005; опубл. 28.02.2006 // афішыйны бюл/ нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.2006. - №1. – С.194.

УДК 624.014.27

Драган В.И., Морилова Н.Л.

ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

Введение

Проектирование современных архитектурных форм большой выразительности и универсальности, образуемых на основе многократно повторяющихся элементов, привели к созданию металлической структурной системы нового типа – структурной конструкции системы «БрГТУ».

За последние десять лет запроектировано более 30 и построено 19 уникальных сооружений с применением металлических структурных конструкций системы «БрГТУ». Это покрытия сцен летних амфитеатров в г. Бресте, г. Кобрине, г. Хойники, покрытия ледовых арен в г. Пружаны, г. Лунинец, г. Ивацевичи, г. Кобрине, покрытие летнего амфитеатра в г. Витебске, навес над трибунами стадиона «Спартак» в г. Могилеве, покрытием спортивного зала и главного входа на «Минск - арена», покрытия ДЮСШ №2 в г. Калинковичи, купол здания НОК в г.Минске, покрытие амфитеатра в парке г. Молодечно и другие.

Для дальнейшего развития, проектирования и строительства новых объектов с применением структурных конструкций системы «БрГТУ» необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью определения и уточнения новых конструктивных решений, а также реализации новых методов расчета и проектирования конструкций, в том числе в случае аварийных нагрузок и аварийных состояний, включая методы определения надежности и живучести структурных конструкций системы «БрГТУ».