

2. 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. Головки, А.Б. Шурин, В.В. Люстибер, А.В. Мигель // Строительная наука и техника – 2007. – № 3(12) – С. 18–29.

3. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат. 2489 Респ. Беларусь, E04B 1/58/ В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобьга, В.Н. Пчелин; заявитель Брестский гос. ун-т. – № 20050458, заявл. 21.07.2005; опублик. 28.02.2006 // Афишный бюл. / Нац. центр интеллектуальной собственности. – 2006. – № 1. – С. 194.

УДК 624.012.45

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ НОВОГО УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА «БрГТУ»

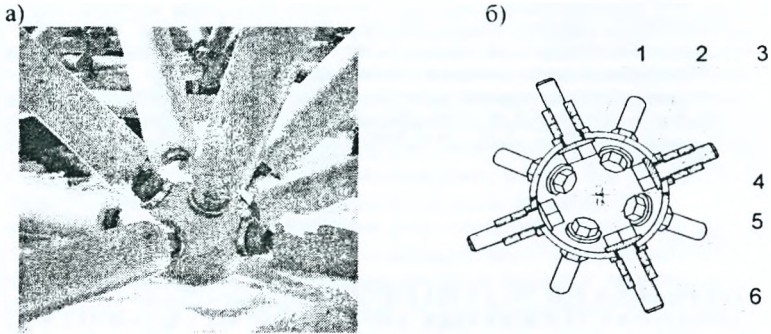
Шалобьга Н. Н., Драган В.И., Шалобьга Т.П.

**Введение.** Применение легких металлических структурных конструкций покрытий и перекрытий в современном строительстве следует признать недостаточным при несомненных и очевидных достоинствах данного типа конструкций по сравнению с другими пространственными и плоскими системами. В последнее время в Республике Беларусь появилась потребность в большепролетных структурных покрытиях, но их проектирование сдерживалось несколькими объективными причинами, а именно: сложностью формообразования, малой изученностью работы данных конструкций в реальных условиях, несовершенством имеющихся конструктивных решений узловых соединений стержневых элементов их высокой стоимостью и сложностью изготовления [1], в совокупности с отсутствием проверенных и эффективных методик их расчета.

Как известно, пригодность к эксплуатации пространственной структурной конструкции определяется не только несущей способностью и деформативностью стержней, но и данными показателями для узловых сопряжений. Если для стержневых элементов имеется возможность применения в расчетах известных зависимостей, то для узловых соединений приходится выполнять достаточно сложные расчеты, основываясь или только на упрощенных инженерных зависимостях, или производить дорогостоящие натурные испытания данных соединений или конструкции в целом. При этом следует отметить отсутствие в нормативных документах по проектированию металлических конструкций каких-либо рекомендаций по расчету узловых соединений.

### Конструктивное решение узлового соединения «БрГТУ»

В Брестском государственном техническом университете была создана новая металлическая структурная конструкция, получившая название система «БрГТУ», отличающаяся от известных структурных систем конструкцией узлового соединения и стержня структуры [1, 5]. Узловой элемент «БрГТУ» в законченном изготовленном виде представляет собой полый толстостенный шарсферу с отверстиями в стенке, в которые устанавливаются на сферических шайбах высокопрочные болты, имеющие возможность вкручиваться в специальные гайки трубчатых стержней [5]. Данный узловой элемент относится к наиболее технологичному типу узловых систем – комбинированному, но имеет ряд преимуществ, выгодно отличающих его от уже используемых [1, 5].



а) общий вид, б) поперечный разрез  
 1 — полусфера, 2 — внутренняя шайба с выпуклой поверхностью;  
 3 — наружная шайба с вогнутой поверхностью; 4 — болт,  
 5 — силовая гайка; 6 — контргайка  
 Рисунок 1 — Узел структурной конструкции типа «БрГТУ»

### Методика расчета на прочность и конструирования узла «БрГТУ»

Анализ конструкции узла «БрГТУ» установил, что для обеспечения несущей способности узла необходимо обеспечить несущую способность высокопрочного болта, высокопрочной гайки и несущую способность поллой сферы с отверстиями.

Диаметр и марка стали высокопрочных болтов, как и для большинства комбинированных узловых элементов, назначается исходя из величины усилий, действующих в стержнях структурной конструкции, и могут быть определены достаточно простыми и известными зависимостями, приведенными в нормативных документах [2, 3]. В узловом элементе типа «БрГТУ» высокопрочный болт рассчитывается только исходя из условия работы на восприятие растягивающих усилий, и поэтому его прочность определяется по следующей зависимости [2, 3]:

$$N \leq R_{bh} A_{bn} \cdot \gamma_b, \quad (1)$$

где  $R_{bh}$  — расчетное сопротивление растяжению высокопрочных болтов;

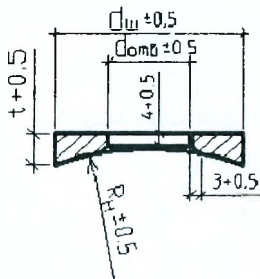
$A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто;

$\gamma_b$  — коэффициент условий работы соединения [2].

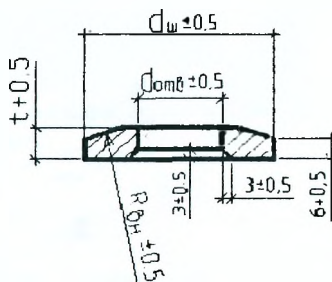
Определив из условия площадь сечения высокопрочного болта по таблице 61 [2] принимаем его диаметр. Диаметр отверстий в сфере назначается таким образом, чтобы они были на 1 мм больше диаметра болта.

Важной особенностью конструкции узла является применение под высокопрочные болты специальных шайб со сферическими, обращенными к шару поверхностями (рисунок 2). Данная конструкция шайб обеспечивает центровку стержней на центр узла при закручивании силовой гайки, исключая появление эксцентриситетов.

а)



б)



а – наружная шайба с вогнутой поверхностью;

б – внутренняя шайба с выпуклой поверхностью

Рисунок 2 – Специальные шайбы со сферическими поверхностями

Диаметр подкрепляющих шайб назначается согласно рекомендаций [6] и таблицы 1. Окончательные конструктивные размеры подкрепляющих шайб могут быть уточнены в процессе расчета толстостенной полый сферы с отверстиями узлового элемента на основании исследований [5]. Конструкция и размеры подкрепляющих шайб должны соответствовать размерам указанным на рисунке 2 и приведенным в таблице 1.

Полый шар с отверстиями в стенке является с точки зрения аналитического расчета очень сложной системой, в которой напряженно-деформированное состояние зависит от многих факторов: диаметра сферы, толщины его стенки, диаметра и мест расположения отверстий, характера приложения нагрузок и т.д.

Как показали данные экспериментальных исследований и проведенные численные расчеты различных КЭ-моделей сфер основными напряжениями, определяющими напряженное состояние полый сферы, являются меридиональные напряжения. В этом случае, при действии локальной силы  $F$ , направленной вдоль оси отверстия радиусом  $r_{отв}$ , подкрепленного шайбой радиусом  $r$ , прилегающая к шайбе область оболочки подвержена действию изгибных напряжений [4, 5], распространяющихся вдоль меридиана на длину зоны краевого эффекта, размер которого зависит от геометрического фактора оболочки  $\sqrt{R \cdot h}$  (рисунок 3).

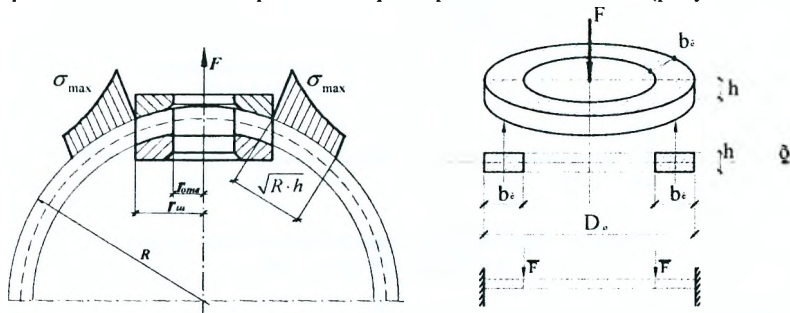


Рисунок 3 – Расчетная схема к определению усилий в оболочке

Принимая условную работу зоны краевого эффекта оболочки подобной работе кольцевой пластины на жестких опорах и считая ширину такого кольца  $b$ , пропорциональной протяженности зоны краевого эффекта, по аналогии с напряженно-деформированным состоянием кольцевых пластин в первом приближении для определения максимальных нормальных напряжений в зоне краевого эффекта может быть использована следующая зависимость:

$$\sigma_{\max} = \frac{k \cdot F_{\max}}{\gamma} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – геометрический параметр, равный  $\frac{\sqrt{R \cdot h} \cdot h^2}{r_0}$ ,

$R$  – внешний радиус сферы,

$r_0$  – радиус подкрепляющей шайбы.

Коэффициент  $k$  определялся на основании расчетов численных моделей сфер, с различными геометрическими характеристиками (толщиной и радиусом), при их одноосном нагружении сосредоточенной силой  $F=100$  кН, а так же на основании экспериментальных данных при аналогичном нагружении. Зависимость коэффициента  $k$  от ширины зоны краевого эффекта приведена на рисунке 4.

В таком случае связь между расчетной несущей способностью  $F_{\max}$  и геометрическими характеристиками сферы узла можно записать следующим образом:

$$F_{\max} = \frac{1}{k} \cdot \gamma \cdot R_y \cdot \gamma_c. \quad (3)$$

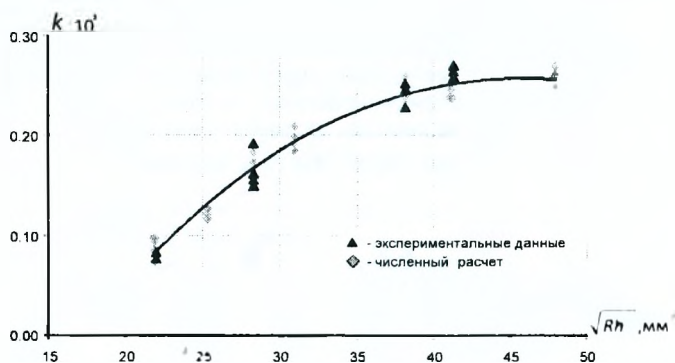


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента  $k$  от геометрических характеристик сферы узла

Построив график зависимости  $F_{\max} \sim \gamma$  (рисунок 5), можно определить расчетное значение несущей способности узла в упругой области работы материала.

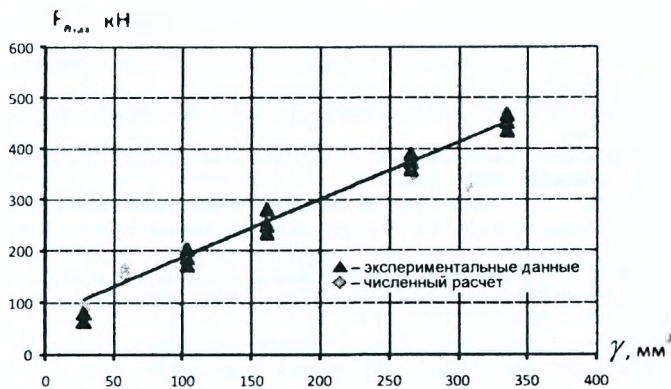


Рисунок 5 – Зависимость расчетной несущей способности узла от его геометрических параметров

Как показало сопоставление расчетных и экспериментальных данных, использование полученного геометрического параметра  $\gamma$  [5] позволяет определить уровень максимальных нагрузок для сфер узловых элементов «БрГТУ» с точностью, достаточной для проектирования структурных конструкций.

Согласно произведенным экспериментальным и численно-теоретическим исследованиям, составлен следующий сортамент узлов типа «БрГТУ», нашедших практическое применение более чем в 15 объектах, построенных на территории Республики Беларусь [5].

Таблица 1 – Сортамент узлов структурной конструкции типа «БрГТУ»

Геометрические характеристики узла								Максимальное усилие, $F_{max}$ , кН
Полый сферы			Высокопрочных болтов	Подкрепляющих шайб				
Радиус R, мм	Толщина h, мм	Радиус отверстия, $R_{отв}$ , мм	Марка стали	Диаметр, мм	Диаметр $d_n$ , мм	Диаметр отверстия $\Phi_{отв}$ , мм	Толщина l, мм	
50	10	8,5	30Х3МФ, 40Х «селект»	16	38	17	10	170
80	6	12,5		24	56 63	25	10	60
80	10	12,5		24	56 63	25	10	180
80	12	12,5		24	56 63	25	10	270
104	14	12,5 15,5		24 30	56 63	25 31	10	340
106	16	15,5		30	63	31	10	450



### Список цитированных источников

1. Драган, В.И. К вопросу эффективности узлового соединения структурных конструкций / В.И. Драган, Н.Н. Шалобьга // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура – 2006 – № 1 (37). – С. 127-130.
2. СНиП II-23-81\*. Нормы проектирования Часть II. Стальные конструкции – М.: Стройиздат, 1990. – 136 с.
3. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 304 с.
4. Чернышев, Г.Н. Асимптотические методы в теории оболочек (сосредоточенные нагрузки) / Г.Н. Чернышев // Сб.: Тр. VII Всес. конф. по теории оболочек и пластинок. – М.: Наука, 1966.
5. Шалобьга, Н.Н. Напряженно-деформированное состояние узла из полого шара новой металлической структурной конструкции: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Н.Н. Шалобьга. – Брест, 2009. – 24 с.
6. Государственный стандарт союза СССР Шайбы класса точности С к высокопрочным болтам: ГОСТ 22355-77\*.– Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 3 с.

УДК 625.142.4: 624.042

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕТОННЫХ ТРУБ

Шепелевич Н.И.

**Введение.** Бетонные трубы широко применяются в практике строительства самотечных канализационных коллекторов. Так, бетонные безнапорные трубы по ГОСТ 20054-82 (диаметром от 100 до 1000 мм) изготавливали с заданными геометрическими параметрами. Несущая способность труб обеспечивалась заданной прочностью бетона на осевое растяжение [1]. СТБ 1163-99 так же были предусмотрены аналогичные трубы, геометрические размеры и прочностные характеристики которых устанавливались рабочими чертежами [2].

В 2000 и 2003 год РУП «Институт БелНИИС» были разработаны выпуски №2 и №4 типовой серии БЗ.008.1-1 на бетонные безнапорные трубы с внутренним диаметром от 100 до 600 мм. Трубы были запроектированы как изгибаемые элементы, несущая способность которых обеспечивается прочностью бетона на растяжение путем применения соответствующего класса бетона по СНиП 2.03.01[3].

Производство бетонных безнапорных труб диаметром 150 – 300 мм было налажено в ОАО «Трест № 15 «Спецстрой» (г. Минск) методом виброформования, а труб диаметром 300-400 мм – на РУП «Спецжелезобетон» (г.Микашевичи) по технологии вибропрессования. Если говорить о зарубежной практике, то, например, DIN V 4032 предусмотрены бетонные трубы диаметром от 100 до 1500 мм, и данные трубы в больших объемах производятся в Германии [4].

С введением в действие СНБ 5.03.01 возникла необходимость переработки рабочих чертежей труб. Так как в СНБ отсутствуют классы бетона по прочности при осевом растяжении, то расчетное сопротивление бетона на растяжение принимают в зависимости от класса прочности бетона при осевом сжатии (при  $\gamma_c = 1,8$ ) [5]. При этом значения расчетного сопротивления бетона на растяжение получаются существенно ниже, чем в случае применения соответствующих