

5. Михайлов, В.В. Расширяющиеся и напрягающиеся цементы и самонапряжённые конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 389 с.
6. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест: Изд-во БрПИ, 1998. – 246 с.
7. Król, M. Beton Ekspansywny / M. Król, W. Tur. – Warszawa: "Arkady", 1999. – 240 s.

УДК 624.014.27(476.7)

**Драган В.И.**, канд. техн. наук, доц.; **Шурин А.Б.**, канд. техн. наук;  
**Мухин А.В.**, канд. техн. наук, доц.; **Шалобьга Н.Н.**, канд. техн. наук, доц.  
(БрГТУ, г. Брест)

### **КОМБИНИРОВАННАЯ СТРУКТУРНАЯ ОБОЛОЧКА ПОКРЫТИЯ ЛЕДОВОГО КАТКА ПО УЛИЦЕ ГОЛОВАЦКОГО В ГОРОДЕ ГОМЕЛЕ**

**Конструктивное решение.** Покрытие ледового катка по ул. Головацкого в г. Гомеле 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 [1; 2]. Покрытие имеет размеры в плане  $49,092 \times 57,82$  м и представляет собой комбинированную пространственную структурную оболочку, в поперечном разрезе близкую по очертанию к синусоиде (рис. 1).

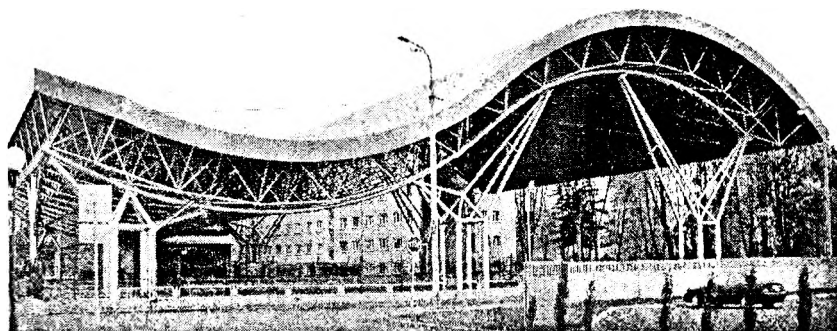


Рис. 1. Общий вид комбинированного структурного покрытия по оси «А»

Применение криволинейного очертания позволило снизить высоту оболочки до 2,4 м. Нижний пояс оболочки по периметру опирается на ригели, повторяющие криволинейную форму покрытия. Ригели подкрепляются пространственными стержневыми опорами с подкосами. Объединение стержней в единую конструкцию выполнено с помощью полых шаровых узлов системы «БрГТУ» [1]. Структурная оболочка имеет диагональные верхнюю и нижнюю поясные сетки с ячейками в виде ромбов (рис. 2). Высота структурной оболочки по осям 2400 мм, размер стороны ромба верхней поясной сетки – 2861 мм, размеры сторон ромбов нижней поясной сетки – 2733; 2911; 3005; 3053 мм. В качестве стержней в структурной оболочке применены трубы стальные горячекатаные по ГОСТ 8732 ( $\emptyset 76 \times 5$ ,  $\emptyset 89 \times 5$ ,  $\emptyset 102 \times 8$ ,  $\emptyset 114 \times 9$  и  $\emptyset 121 \times 11$ ). 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 фасонку.

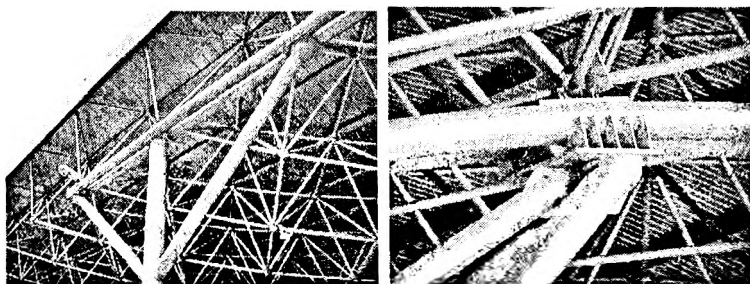


Рис. 2. Узлы опирания структурной оболочки на криволинейный ригель

Для уменьшения строительной высоты покрытия и расхода металла структурная оболочка опирается нижними узлами на опорные площадки составных ригелей. Ригели выполнены из двух горячекатаных труб (ГОСТ 8732) сечением  $\emptyset 273 \times 10$ , 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.

При этом можно выделить два принципиальных варианта конструктивного решения опорных узлов. Первый вариант разработан для случая, когда опорный узел структуры зафиксирован в проектном положении с помощью четырех ребер с использованием монтажной сварки. Данный вариант применен для случая, когда в узел приходят стержни, крепление ко-

торых в узлах выполнено с помощью болтов. Второй вариант применен для узлов, в которые приходят стержни с высоким уровнем усилий и поэтому сопряжение таких стержней с полыми сферами выполнено на сварке. Ригели покрытия через подкосы опираются на пространственные опорные конструкции (рис. 2). Пространственные колонны по осям «А» и «Д» состоят из четырех сталежелезобетонных стоек с оболочкой в виде трубы  $\varnothing 402 \times 10$ , ригелей сечением  $\varnothing 219 \times 10$  и подкосов сечениями  $\varnothing 219 \times 10$ ,  $\varnothing 273 \times 10$  и  $\varnothing 273 \times 14$ . Колонны-стойки по оси «1» состоят из труб сечением  $\varnothing 402 \times 10$  и подкосов сечением  $\varnothing 273 \times 10$  мм (см. рис. 2). Плоская опорная конструкция по оси 3 состоит из двух стоек сечением  $\varnothing 402 \times 10$ , ригеля и подкосов сечением  $\varnothing 273 \times 10$ .

На узловые элементы верхнего пояса поперек структурной оболочки опираются прогоны, в большей части выполненные из горячекатаных двутавров № 14Б2 по ГОСТ 26020. В зоне образования «снегового мешка» (в осях «2» – «3») прогоны представляют собой сварной двутавр, изготовленный из двух швеллеров стальных горячекатаных №14 по ГОСТ 8240 [1; 2]. На прогоны опирается стальной профилированный настил «Kalzip 65/500» (см. рис. 1).

**Численное моделирование.** Статический расчет покрытия производился с использованием ПК «ЛИРА» и контролировался по методикам, изложенным в нормативных документах. В основе данного программного комплекса лежит метод конечных элементов, реализованный в форме метода перемещений.

Для дальнейшего сопоставления результатов расчета конечно-элементных моделей (КЭМ) с экспериментальными данными статический расчет производился на следующие виды загрузок: собственный вес покрытия, включая вес прогонов, и испытательная нагрузка.

Для проведения численных исследований покрытия были разработаны и использованы несколько КЭМ, последовательно усложняющихся для более полного учета особенностей работы конструкции. Соединение стержней в узлах структурной плиты принято шарнирным.

**Натурные испытания.** При проектировании данного сооружения возникли вопросы, выходящие за рамки действующих нормативных документов. Сложность геометрической поверхности оболочки не позволила принять нормируемые значения и эпюры ветровых и снеговых нагрузок. В связи с уникальностью сооружения и новизной конструктивных решений возникла необходимость проведения экспериментальных исследований путем нагружения покрытия полной нормативной нагрузкой. Натурные испытания проводились по методике, разработанной в [2] и апробированной при проведении серии натурных испытаний большепролетных

комбинированных покрытий, таких как «Универсальный спортивный комплекс для игровых видов спорта в г. Бресте», «Ледовая арена на 800 мест в городе Пружаны» и т.д. [4 – 6].

Натурные испытания преследовали следующие цели:

- оценка несущей способности и надежности конструкций большепролетного покрытия на фоне экспериментального определения напряженно-деформированного состояния (НДС);
- верификация расчетной модели на фоне результатов экспериментальных исследований; оценка методики расчета и принятых расчетных предположений;
- экспериментальная оценка запасов несущей способности конструкции; подтверждение безопасности, функциональной пригодности и долговечности сооружения.

Испытательная нагрузка назначалась по нормативному значению снеговой нагрузки по наиболее невыгодному случаю нагружения, в верхней части покрытия (в осях «3» – «5») принято  $\mu = 1$ , в нижней части (в осях «1» – «3»)  $\mu = 2$  (рис. 3, 4).

Испытательная нагрузка создавалась при помощи бетонных фундаментных блоков ФБС 12.4.6 (серия Б1.016.1.1 выпуск 1.98) с массой 0,64 т. Блоки раскладывались на деревянных щитах из досок толщиной 30 мм строго по схеме нагружения структурной плиты по специально разработанной технологической карте на проведение испытаний (рис. 3).

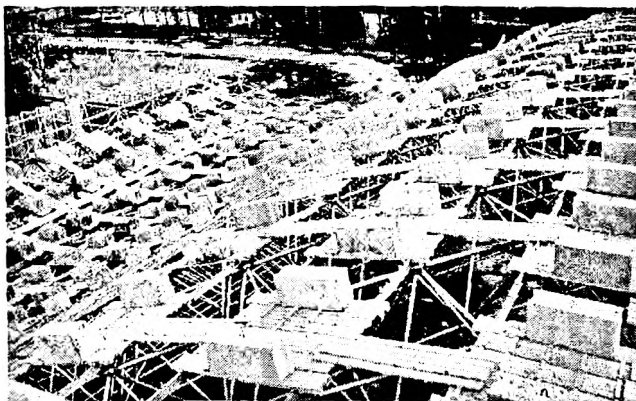


Рис. 3. Общий вид покрытия, нагруженного испытательной нагрузкой

Установлено, что эпюры вертикальных перемещений нижних узлов структурной оболочки под нагрузкой, построенные по результатам изме-

рений, повторяют очертание эпюр, полученных в результате статического расчета. Экспериментальные значения перемещений наиболее соответствуют конечно-элементной модели, учитывающей работу прогонов в составе покрытия (рис. 4).

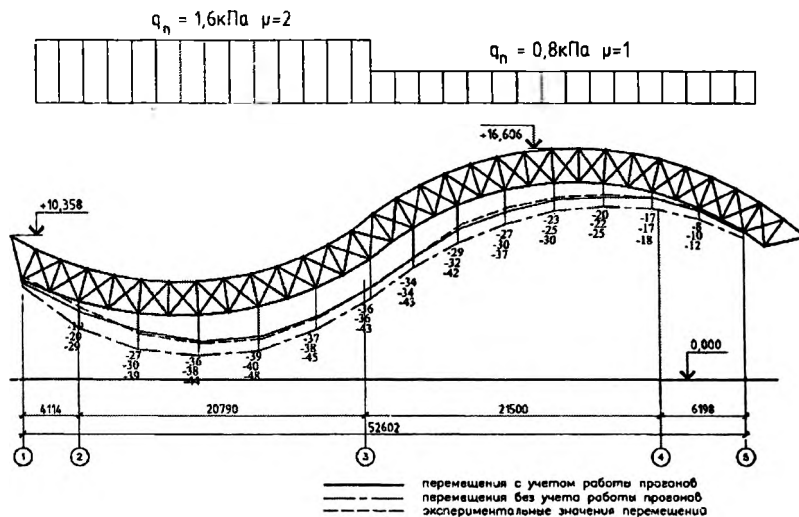


Рис. 4. Схема загрузки покрытия снеговой нагрузкой и эпюры вертикальных перемещений узлов нижней поясной сетки по оси «В»

Экспериментальные исследования подтвердили, что увеличение жесткости верхнего пояса структурной оболочки путем включения в работу конструкции прогонов приводит к перераспределению внутренних усилий в конструкции. Постановка прогонов вдоль диагонали ячейки позволило разгрузить центральную часть верхнего пояса оболочки покрытия в среднем до 20 %. В прогонах возникают продольные усилия, величина продольных усилий в исследуемой части покрытия изменяется от  $-17,5 \text{ кН}$  до  $7,5 \text{ кН}$  [7].

По результатам экспериментально-теоретических исследований НДС большепролетного комбинированного покрытия ледового катка по ул. Головацкого в городе Гомеле можно сделать следующие выводы:

1. В процессе натурных испытаний установлено, что действительная работа металлического покрытия соответствует расчетным положениям. Все элементы покрытия работают упруго. Экспериментальные усилия в элементах структурной оболочки и опорах соответствуют расчетным значениям. Схема деформирования покрытия соответствует расчетной моде-

ли. При осмотре конструкции покрытия в ходе испытаний каких-либо повреждений, искривлений и потери устойчивости элементов, разрушений узлов и деталей не обнаружено [1; 7].

2. Максимальный прогиб покрытия, соответствующий полному нормативному значению проектной нагрузки, составил 33 мм в центральной части покрытия, что значительно меньше предельно допустимого прогиба, определенного по [8] и равного 175 мм [1].

3. Расчет несущей способности стержневых элементов структурной оболочки покрытия на усилия, полученные в результате натуральных испытаний, показал следующие результаты:

– в стержневых элементах сечением тр.  $76 \times 5$  мм продольные усилия достигли  $-71,7$  кН, расчетная несущая способность составляет 127,6 кН. Запас несущей способности составляет 1,8;

– в стержневых элементах сечением тр.  $89 \times 5$  мм продольные усилия достигли  $-55,5$  кН при сжатии и 273,3 кН при растяжении. Расчетная несущая способность составляет 183,5 кН и 668 кН соответственно. Минимальный запас несущей способности составляет 2,8.

4. Экспериментально-теоретические исследования большепролетного комбинированного покрытия навеса над ледовой площадкой в г. Гомеле позволили установить включение прогонов в работу покрытия, которые разгружают верхний пояс структурной оболочки. Увеличение жесткости верхнего пояса структурной оболочки за счет включения прогонов в работу покрытия приводит к перераспределению внутренних усилий в конструкции. В результате в наименее нагруженных стержнях структурной оболочки установлено изменение знака продольного усилия, которое происходит при величине усилия до 100 кН в 15 % стержневых элементов [7].

### Литература

1. Натурные испытания металлических конструкций покрытия ледового катка по ул. Головацкого в г. Гомеле: науч.-техн. отчет по хоз. договору № 11/26 от 17.01.2011. – Брест: УО БрГТУ, 2011. – 42 с.
2. Программа проведения испытаний металлических конструкций покрытия ледового катка по ул. Головацкого в г. Гомеле. – Брест: УО БрГТУ, 2011. – 21 с.
3. Конструктивные решения и основные результаты расчетов большепролетного металлического покрытия летнего амфитеатра в г. Витебске / В.И. Драган [и др.] // Строительная наука и техника. – Минск, 2007. – № 3(12). – С. 18 – 29.

4. Результаты обследования и натурных испытаний металлической структурной оболочки покрытия бассейна и аквапарка в г. Пружаны / В.И. Драган [и др.] // Вестн. БрГТУ. – Брест, 2010. – № 1(61): Строительство и архитектура. – С. 54 – 57.
5. Драган, В.И. Экспериментальное исследование несущей способности большепролетного металлического покрытия здания универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шурин // Строительная наука и техника. – Минск, 2005. – № 2. – С. 9 – 14.
6. Драган, В.И. Экспериментальные исследования работы структурной конструкции с узловым соединением «БрГТУ» / В.И. Драган, Н.Н. Шалобыта // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь: сб. ст. XIV междунар. науч.-практ. межвуз. семинара, Минск, 2007 г.: в 2-х т. – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 133 – 138.
7. Драган, В.И. Действительная работа металлической комбинированной структурной оболочки покрытия ледового катка по ул. Головацкого в г. Гомеле / В.И. Драган, А.Б. Шурин // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев, 2012. – № 1.
8. Нагрузки и воздействия (Дополнения. Раз. 10. Прогобы и перемещения): СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦНИТП Госстроя СССР, 1989, 8 с.

УДК 624.072.21.7

**Васильев А.А.; Козунова О.В.; Сигай Е.А.**  
(БелГУТ, г. Гомель)

## **УПРУГОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕНОВОГО БЛОКА НА КЛЕЕВЫХ АРМИРУЮЩИХ СВЯЗЯХ**

В Беларуси стеновое ограждение каркасных зданий, как правило, выполняется в виде одно- или двухслойной кладки, поэтажно опирающейся на диски перекрытий. Кладка однослойных стен обычно ведется из ячеистобетонных блоков на тонких растворных швах с последующими защитно-декоративной облицовкой штукатурным раствором и окраской. Значительно реже возводятся здания, стеновое ограждение которых выполняется двухслойным, чем из ячеистобетонных блоков с защитно-декоративной облицовкой из кирпича. Наиболее массово применяемая однослойная кладка из блоков ПГС на тонких растворных швах с последующими оштукатуриванием и окраской, несмотря на относительно невысокую стоимость, имеет конструктивные недостатки, значительно снижающие ее теплотехнические характери-