

Составляя выражение баланса работ при $a_1 < f_0$

$$A_1 = A_2 + A_3 + A_4 \quad (16)$$

получаем нелинейное уравнение относительно l_{a2} – длины зоны передачи напряжений после приложения статической нагрузки Q . Численно решив его, находим новую величину втягивания канатов перемножением единичной эпюры продольных сил на окончательную эпюру [4]

$$\delta_1 = \frac{3N_{S1} + 4\Delta N_{S1}}{6E_s A_s} \quad (17)$$

В таблице 2 приведены значения длин зоны передачи напряжений l_a и втягивания каната в зависимости от значения приложенной внешней нагрузки Q для плиты 2ПТМ 72.12.22-6S1400.

Таблица 2

Нагрузка Q , кН/м ²	Прогиб в центре, мм	Приращение усилия в канатах, кН	l_a , м	δ , мм
0	-6,38	0	0,4010	1,02
2,12	-4,00	+2,582	0,4149	1,06
3,52	-2,54	+4,061	0,4154	1,07
4,5	0	+6,448	0,4459	1,15

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в рассматриваемом диапазоне изменения внешних нагрузок фактически не меняются величины зоны передачи напряжений и втягивания каната. Разницу в значениях можно объяснить также неточностью приближенного решения вследствие принятых предположений. Также очевидно, что если усилие преднапряжения растягивает канат примерно на 40 мм, то изменение его длины вследствие изгиба на 1–2 мм несущественно повлияет на величины зоны передачи напряжений и втягивания каната.

Теоретические результаты таблиц 1, 2 подтверждаются данными натурных испытаний плиты 2ПТМ 72.12.22-9Y1770S7-1 на действие поперечной силы. У второй опоры плиты при пролете среза $c = 2,8d$ и нагрузке $Q = 160$ кН произошло хрупкое разрушение по наклонному сечению (рис. 8), которое сопровождалось втягиванием канатной арматуры на $\delta = 0,73$ мм по сравнению с его первоначальным положением.

Длина проекции критической наклонной трещины на продольную ось плиты составила 400 мм. Величина поперечной силы, вызвавшей образование трещины, достигла значения 150,98 кН, что

практически равно значению поперечной силы 149,5 кН, при которой произошло образование вертикальной трещины под силой на расстоянии 0,465 м от противоположной опоры. Следует предположить, что на такой вид разрушения повлияло приложение сосредоточенной нагрузки на плиту в пределах длины зоны передачи напряжений с канатной арматуры на бетон.



Рис. 8. Разрушение эталонной плиты 2ПТМ72.12.22-9Y1770S7-1 по наклонному сечению при пролете среза $c = 2,8d$

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тур, В.В. О нормировании величины втягивания канатов при изготовлении плит пустотного настила по технологии безопалубочного формирования / В.В. Тур, Т.М. Пецольд // Проблемы современного бетона и железобетона: сборник трудов: в 2 ч. / М.Ф. Марковский (гл. ред.) [и др.] – Минск: Стринко, 2007. – Ч. 1. – С. 531–550.
2. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 480 с.
3. Протокол механических испытаний арматурной пряди от 01.04.2009г. Испытательный центр ОТК группы предприятий «Северсталь-метиз».
4. Ржаницын, А.Р. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1990. – 438 с.

23.11.09

BOSAKOV S.V., BELEVICH V.N., SHETKO N.S. Definition of size втягивания ropes in bent preliminary pressure ferro-concrete plates without sheathing forming

In work the materials of theoretical researches by definition of length of a zone of transfer of pressure reinforcing of ropes in plates without sheathing forming and size втягивания of ropes are stated. With use of the power approach the formulas reflecting influence of physical parameters and technology of manufacturing of plates on size draw of ropes are received.

The comparison of results of account on offered by the authors to the formulas with results carried out on location of tests of a plate is executed.

624.014.27(476.7)

• • • • •
-

Введение. Проведенный анализ материалов международных конференций, научных симпозиумов по металлоконструкциям свиде-

тельствует о повышенном интересе к стальным конструкциям из круглых труб. Конструктивное решение узлов в данных конструкциях

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, первый проректор, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Шурин Андрей Брониславович, ст. преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Зинкевич Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

и методика их расчета в настоящее время является весьма актуальной и перспективной задачей.

Экспериментальные исследования узлов из круглых труб выполнялись в Германии, Японии, Польше и в бывшем СССР [1, 4, 5, 6]. На основании экспериментальных исследований были выдвинуты критерии разрушения узлов: Н. Kanatan, R.M. Korol, F. Mang, J. Mouty, Н.С. Стрелецкий и т.д. Однако исследования работы узлов из круглых труб в упругопластической стадии в их работах не производились.

Работа проводилась с целью повышения надежности и долговечности узлов и деталей арок большепролетного комбинированного покрытия дворца для игровых видов спорта «Виктория» в г. Бресте, запроектированного на кафедре строительных конструкций УО БрГТУ в 2004 году. Покрытие – это структурная плита, представляющая собой двускатную складку с углом наклона в 15°, включающая в работу двух несущих двухшарнирных арок и воспринимающая совместно с затяжкой их распор. Подробнее конструктивное решение большепролетного покрытия описано в [2, 3].

Экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования крестообразных соединений из круглых труб проводились на специально разработанном стенде (рис. 1а). Стенд представляет собой крестообразное соединение из электросварных труб ($\varnothing 325 \times 14$ и $\varnothing 203 \times 11$) с приваренными по торцам ребрами жесткости, между которыми на стальных подкладках устанавливались два 100-тонных гидродомкрата, подключенных к насосной станции. Трубы изготовлены из стали 20 по ГОСТ 1050. Для стыка труб применялась сварка дуговая в среде CO_2 проволокой Св-08Г2С $\varnothing(1,4-2)$ мм. Деформации измерялись при помощи индикаторов часового типа. Индикаторы ИЧ-0,001 (цена деления 0,001 мм) устанавливались на узел таким образом, чтобы измерять деформации узла в диаметральных направлениях сечения затяжки [3].

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований на растяжение крестообразных узлов из труб

Номера образцов	Разрывное усилие, кН		Запас несущей способности N / N
	эксп., N	теор., N	
1	1161	1120,3	1,04
2	1217		1,09
3	1322		1,18

Все образцы испытаны на растяжение при одноосном (поперечном по отношению к поясной трубе) нагружении до их разрушения. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1. В результате экспериментальных исследований на стенде разрушение всех образцов произошло в зоне термического влияния сварного шва со стороны затяжки (рис. 1б). В результате статистической обработки данных построена диаграмма деформирования узла в координатах $N - l$ (рис. 2а).

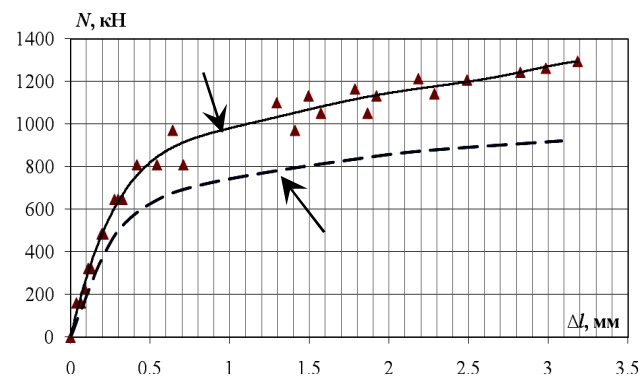
а)



б)



Рис. 1. Общий вид стенда для испытаний крестообразных соединений из труб (а) и доведенный до разрушения крестообразный стык труб (б)



а – экспериментальные данные; б – численные данные

Рис. 2. Диаграмма деформирования крестообразного стыка труб

Теоретическое усилие было рассчитано по методике, изложенной в [7]. В соответствии с требованиями п. 18.7 [7], при отсутствии подкладного кольца и физического метода их контроля качества необходим расчет стыковых сварных швов в стыке труб. Несущая способность сварного шва при резке трубы без скоса кромок вычисляется по формуле 1 [7]:

$$\begin{aligned} N &\leq 0,85 \cdot (S_{wh} + S_{wt}); \\ N &\leq 2 \cdot S_{wh}; \\ N &\leq 2 \cdot S_{wt}, \end{aligned} \quad (1 [7])$$

где N – растягивающее усилие в трубе подвески;

S_{wh} – несущая способность швов в носке и пятке;

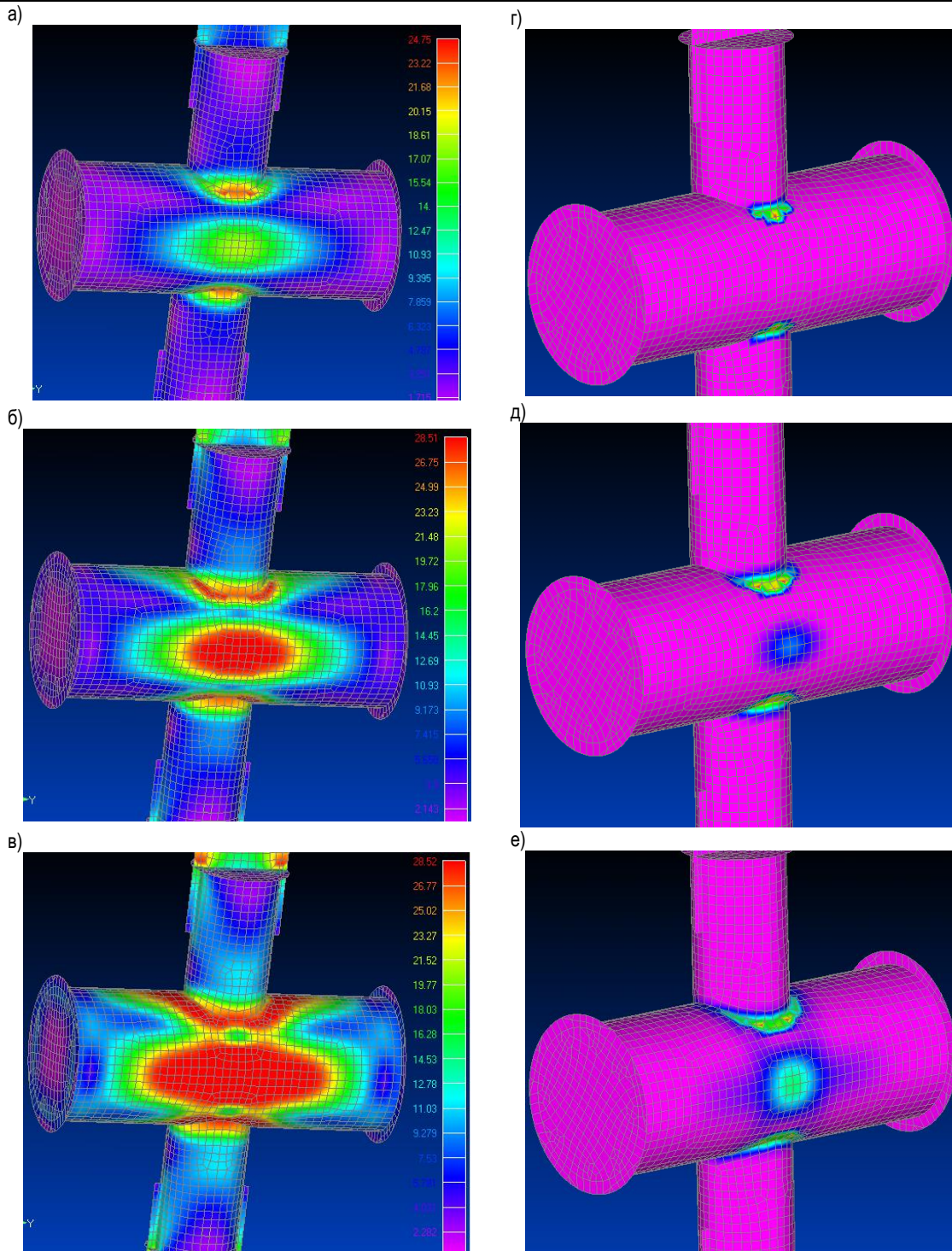
S_{wt} – несущая способность швов на бортах.

Предположив, что предельное состояние стенки пояса будет примерно одинаковым при приложении растягивающего и сжимающего усилия к подвеске, примем для расчета на местный изгиб пояса формулу 136 [7]:

$$\left| N_j \right| \frac{\sin \alpha_j}{\psi_j} \leq 2S, \quad (2 [7])$$

где S – характеристика несущей способности пояса, определяемая по формуле 137 [7].

Тогда несущая способность сварного шва составляет 1120,3 кН, что из условия прочности на местный изгиб – 1133,2 кН.



а, г – усилия в затяжке 240 кН; б, д – усилия в затяжке 480 кН;
в, е – усилия в затяжке 780 кН

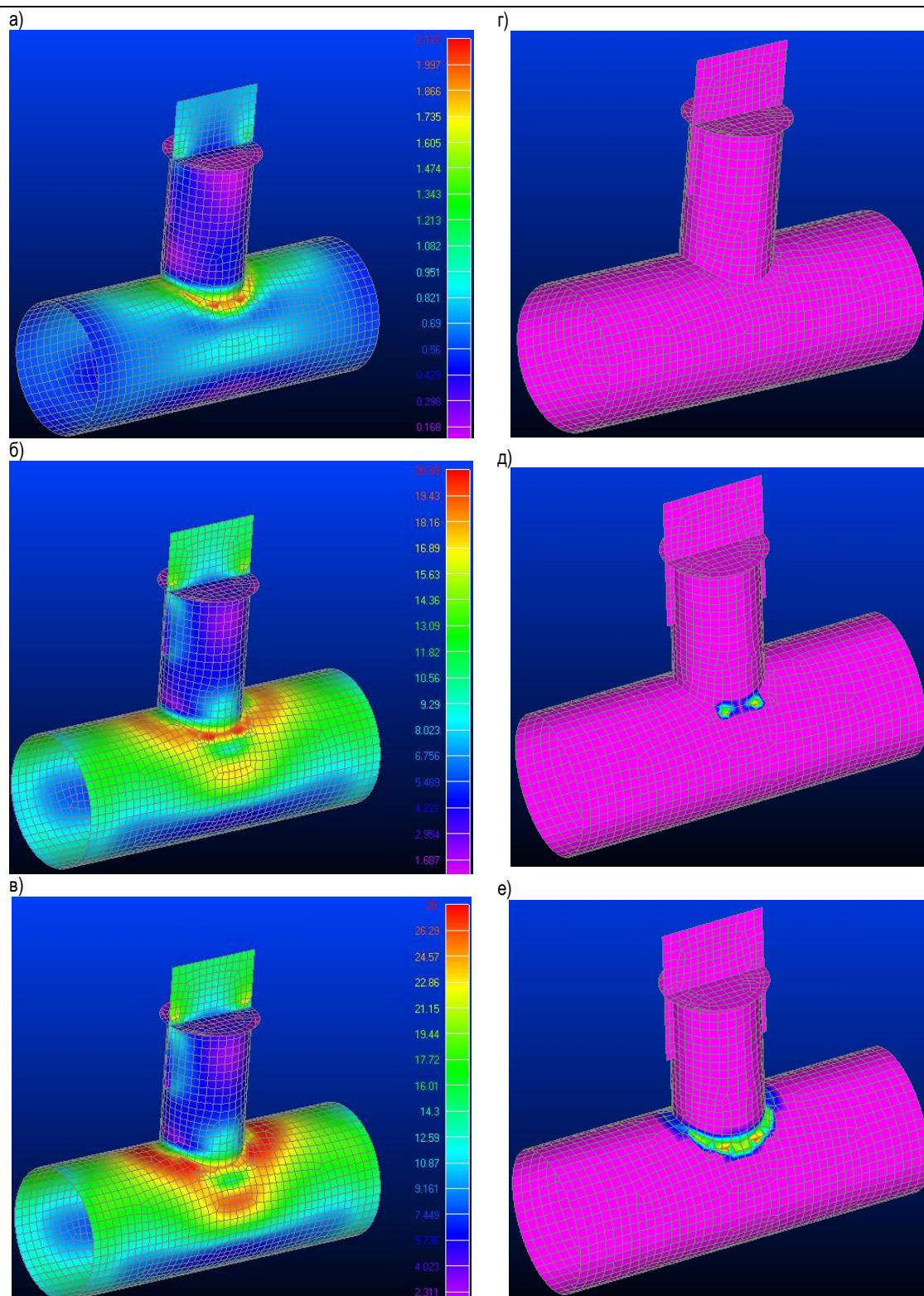
Рис. 3. Изополя распределения эквивалентных напряжений (а–в) и пластических деформаций (г–е) в зависимости от нагрузки в крестообразном стыке труб

Сопоставление теоретических данных, полученных по формулам (1) и (2), и экспериментальных данных для образцов показывает, что результаты испытаний достаточно согласуются (таблица 1).

Численные исследования. Учитывая ответственность узлов арок, а также сложное напряженно-деформированное состояние (НДС) в зоне стыка труб, возникла необходимость определения НДС численными методами.

В качестве метода решения применялось конечно-элементное моделирование с применением вычислительного пакета «MSC.visual

Nastran for Windows». Данный вычислительный комплекс позволил смоделировать условия нагружения, необходимые для подтверждения эксплуатационной надежности узлов и их реального напряженно-деформированного состояния. Для построения КЭ-модели крестообразного соединения труб применено моделирование с использованием четырехугольных конечных элементов Plate (пластина) с заданием соответствующей толщины элемента. Для КЭ-модели моделировалось одноосное нагружение в 1200 кН. Характеристики стали труб (сталь 20) принимались на основании проведенных испытаний на растяжение стандартных образцов, вырезанных из труб.



а, г – усилие в затяжке 80 кН; б, д – усилие в затяжке 880 кН;
в, е – усилие в затяжке 1600 кН

Рис. 4. Изополя распределения эквивалентных напряжений (а-в) и пластических деформаций (г-е) в зависимости от нагрузки в Т-образном стыке труб

Для оценки несущей способности принят критерий ограниченной пластической деформации, предложенный Н.С. Стрелецким в 1952 г. и отраженный в действующих нормах проектирования металлических конструкций. В качестве критерия оценки сложного напряженно-деформированного состояния приняты эквивалентные напряжения по энергетической теории Губера–Мизеса–Генки ($\sigma_{\text{экв}}$) и значения

упругих и упругопластических деформаций. Для упрощения КЭ-модели не учитывались форма сварного шва в зоне стыка затяжки с подвеской и свойства материала в зоне его термического влияния.

На основании анализа крестообразных стыков труб установлено, что при увеличении нагрузки вокруг сварного шва со стороны затяжки формируется характерная кольцевая зона с высоким уровнем эквива-

лентных напряжений (рис. 3), которые достигают своего максимального значения при нагрузке 480 кН (рис. 3б). Возрастают эквивалентные напряжения и по оси затяжки, в результате чего при нагрузке 480 кН кривизна поверхности стенки затяжки преобразуется из положительной в отрицательную. Как показывает построенная диаграмма деформирования, стык работает упруго до нагрузки $N = 450$ кН (рис. 2б), что на 18% меньше экспериментального значения. В целом, результаты моделирования подтверждают, что разрушение образца происходит в кольцевой зоне стыка со стороны затяжки, где эквивалентные напряжения достигают своего максимального значения.

Для уточнения реальной работы узла стыка затяжки с подвеской в конструкции покрытия было произведено его моделирование в упругопластической стадии работы. Т-образное соединение из труб исследовалось при двусном растяжении на расчетные нагрузки. На основании анализа установлено, что при увеличении нагрузки вокруг сварного шва со стороны затяжки также формируется характерная кольцевая зона с высоким уровнем эквивалентных напряжений, которые достигают своего максимального значения при продольном усилии в затяжке 850 кН. Пластические деформации появляются только в кольцевой зоне вокруг сварного шва со стороны затяжки при усилии в затяжке 800 кН. Однако, в отличие от одноосного растяжения, по оси затяжки эквивалентные напряжения в стенке не достигают критических значений, стенка работает упруго и сплющивания трубы не происходит, что подтверждается изополями распределения пластических деформаций (рис. 4е).

Заключение

1. Экспериментальные исследования крестообразных стыков труб на одноосное растяжение показали, что разрушение всех образцов произошло в зоне термического влияния сварного шва со стороны затяжки. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных показывает, что результаты достаточно хорошо согласуются.
2. Проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния Т-образных и крестообразных соединений труб в упругопластической стадии работы узлов. В результате выполненных в работе численных исследований установлено:
 - максимальными являются эквивалентные напряжения по 4-й категории прочности (Губера–Мизеса–Генки), которые достигают своего максимального значения в кольцевой зоне стыка затяжки с подвеской со стороны затяжки при нагрузке $N = 480$ кН для крестообразного, и $N = 880$ кН для Т-образного соединения. Наибольшего значения эквивалентные напряжения достигают в точке перехода от стыкового шва к угловому со стороны затяжки;

- результаты моделирования крестообразных стыков труб согласуются с экспериментальными данными. Имеющие место отличия объясняются сложностью учета при формировании КЭ-модели формы сварного шва в зоне стыков труб и свойств материала в зоне его термического влияния.
- при одноосном нагружении крестообразных стыков труб, при дальнейшем увеличении нагрузки, по оси поясной трубы формируется зона концентрации эквивалентных напряжений, в результате кривизна поверхности стенки трубы преобразуется из положительной в отрицательную. Двусное нагружение уменьшает концентрацию напряжений по оси поясной трубы, в результате сплющивания стенки трубы в Т-образном соединении не происходит.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абаринов, А.А. Особенности работы и расчета ферм из труб / А.А. Абаринов, Н.Б. Козьмин, А.Ф. Кузнецов // Архитектура и строительство. – 1975. – № 4. – С. 32–36.
2. Драган, В.И. Исследование, расчет и испытание большепролетного металлического покрытия здания универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шурин, А.В. Мухин, И.В. Зинкевич, Л.Г. Головки // Архитектура и строительство – 2005: сб. трудов I междунар. науч.-практического семинара, Брест, 22–23 сентября 2005. – Брест, 2005.
3. Драган, В.И. Обеспечение надежности комбинированного покрытия универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шурин // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: XIV Международный научно-практический семинар, Минск, 22-23 июня 2006 г. / БНТУ. – Минск, 2006.
4. Диденко, В.Н. Исследование узлов трубчатых ферм при перпендикулярном примыкании элементов / В.Н. Диденко // Архитектура и строительство. – 1976. – № 5. – С. 41–42.
5. Ильясевич, С.А. Усталостная прочность сварных узлов трубчатых конструкций / А.С. Ильясевич, В.М. Горпиченко // Архитектура и строительство. – 1973. – № 2. – С. 41–43.
6. Решетников Б.Н. Результаты испытания моделей стальных стропильных ферм из высокопрочных труб / Б.Н. Решетников, А.М. Ривкин // Архитектура и строительство. – 1975. – № 3. – С. 31–35.
7. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – М.: ЦИТП, 1989. – 128 с.

09.02.10

DRAGAN V.I., SHURYN A.B., ZINKEVICH I.V. The work of T-shaped and cross nodal connections of round pipes in an elastoplastic stage.

The results of experimental and numerical researches of T-shaped and cross nodal connections of round pipes in the elastoplastic stage are given. The zones of concentration of equivalent tensions in an annular zone around a welded joint are defined.

624.014.27(476.7)

. " . " . " . .

Введение. Покрытие бассейна и аквапарка в г. Пружаны выполнено в виде стальной цилиндрической структурной оболочки, по верхним поясам которой уложен сплошной деревянный настил. Структурная оболочка с кристаллом в виде пирамиды с ромбическим основанием 2,156×2,156 м по верхним поясам имеет высоту по центрам узлов 2,6 м. Оболочка опирается нижними узлами на железобетонные и сталежелезобетонные колонны (рис. 1). При этом, при-

нимая во внимание конструктивное решение узлов, отметим, что сопряжение является жестким. Стрела подъема оболочки в середине пролета (вдоль длинной стороны), принятая как расстояние между центрами нижних узлов, составляет 5 м.

Особенностями разработанного в ОАО «Брестпроект» стального структурного покрытия, для которого в качестве верхних поясов применяются квадратные трубы холодного формования, являются:

Мухин Анатолий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Люстибер Вадим Викторович, ст. преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.