

УДК 692.445

ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЕТЧАТОГО КУПОЛА

Тур В.И., Тур А.В.

ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»,
Ульяновск, e-mail: v_tur@mail.ru

В 2011–2012 годах разработаны узловые соединения сетчатых куполов со стержнями из тонкостенных холодногнутых профилей [2, 3] и проведено численное и экспериментальное исследование их напряженно-деформированного состояния [5]. В ходе исследований было выявлено, что узловые соединения обладают некоторой податливостью. Целью настоящей работы является определение степени влияния податливости узловых соединений купола на его напряженно-деформированное состояние. Оценка влияния податливости узловых соединений купола выполнялась с использованием программного комплекса «Лира 9.4» с моделированием податливости узловых соединений тремя способами: 1. Пересчет модуля упругости стержневых элементов с учетом податливости узловых соединений. Такой метод используется в работах О.Ю. Дериглазова и И.С. Инжутова [1]. 2. Установка на концах стержней упругих элементов, податливость которых будет равна податливости узловых соединений купола. 3. Заменой в расчетной схеме купола цилиндрического элемента узлового соединения шестиугольником из шести прямых стержней соответствующей длины, жестко соединенных между собой. Было выявлено, что учет податливости путем пересчета модуля упругости стержневых элементов купола практически не вызывает изменений усилий в стержнях купола, а другими методами показывает снижение максимальных усилий на 12–15%. Учет податливости узловых соединений любым из методов показывает увеличение деформативности конструкции в целом.

Ключевые слова: сетчатый купол, узловое соединение, расчетная схема, напряженно-деформированное состояние

INFLUENCE OF NODAL JOINTS COMPLIANCE UPON STRESS-STRAINED STATE OF METAL MESH DOME

Tur V.I., Tur A.V.

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, e-mail: v_tur@mail.ru

In 2011–2012 mesh domes nodal joints with rods of thin cold-formed profiles were developed [2, 3] and numerical and experimental investigation of their stress-strained state was carried out [5]. Investigations have revealed that nodal joints possess some pliability. The aim of the study is to identify the degree of dome nodal joints compliance upon its stress-strained state. The estimation of dome nodal joints compliance was carried out by means of software complex Lira 9.4 simulating nodal joints compliance in three ways: 1. Recalculation of rods elements elasticity module taking into account nodal joints compliance. This method is used by O.Yu. Deriglazov and I.S. Inzhutov [1]. 2. Fitting of elastic elements, the compliance of which will be equal to the compliance of dome nodal joints at the rods ends. 3. Replacement of a nodal joint cylindrical element for a hexagon of six straight rods with corresponding lengths, the rods being interconnected rigidly. It was revealed that the compliance determined by recalculation of dome rods elements elasticity module causes practically no effort changes in dome rods, the other methods showing a decrease in the maximum effort by 12–15%. Calculation of nodal joints compliance employing any of the methods shows an increase in overall structure deformability.

Keywords: mesh dome, the node connection, the design scheme, the stress-strain state

В 2011–2012 годах разработаны узловые соединения сетчатых куполов со стержнями из тонкостенных холодногнутых профилей [2, 3] и проведено численное и экспериментальное исследование их напряженно-деформированного состояния [5].

В ходе исследований было выявлено, что узловые соединения обладают некоторой податливостью. Податливость узловых соединений купола оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние купола, в том числе на усилия в стержнях и прогибы узлов. Целью настоящей работы является определение степени влияния податливости узловых соединений купола на его напряженно-деформированное состояние.

Материалы и методы исследования

Оценка влияния податливости узловых соединений купола выполнялась с использованием программного комплекса «Лира 9.4» с моделированием податливости узловых соединений тремя способами:

1. Произвести пересчет модуля упругости стержневых элементов с учетом податливости узловых соединений. Данный метод используется в работах О.Ю. Дериглазова и И.С. Инжутова [1].

2. Установить на концы стержней упругие элементы, податливость которых будет равна податливости узловых соединений купола.

3. Заменой в расчетной схеме купола цилиндрического элемента узлового соединения шестиугольником из шести прямых стержней соответствующей длины, жестко соединенных между собой и вписанных в круг с радиусом, равным радиусу цилиндрического элемента.

Исследование податливости узловых соединений купола выполним на примере сетчатого купола диаметром 12 метров с тремя ярусами стержней всеми тремя описанными способами. Методика построения расчетной схемы купола, нагрузки и закрепления аналогичны описанным в работах [4, 6].

Пересчет модуля упругости осуществляется по формуле

$$E_y = \frac{E}{1 + \frac{\delta \cdot E}{l \cdot R_{см}} \cdot K_{кр}}, \quad (1)$$

где E – реальный модуль упругости материала стержней купола ($2 \cdot 10^5$ МПа); δ – возможное предельное значение деформаций податливости (принимается равным толщине цилиндрического элемента узла, т.е. 3 мм); l – длина стержня купола (2,5 метра); $R_{см}$ – расчетное сопротивление местному смятию (173 МПа);

$K_{кр}$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки, для длительной и постоянной нагрузки $K_{кр} = 1$.

Подставляя в формулу, получаем условный модуль упругости $E_y = 8,53 \cdot 10^4$ МПа.

Условный модуль упругости используем только для материала тонкостенных стержней каркаса купола, для стержней нижнего опорного кольца купола применяем реальный модуль упругости материала, так как узлы нижнего опорного кольца можно считать абсолютно жесткими.

Во втором способе для учета податливости узловых соединений на концы стержней купола устанавливаются и жестко соединяются упругие элементы с длиной равной радиусу цилиндра узлового соединения. Вид фрагмента расчетной схемы купола с установленными упругими элементами показан на рис. 1.

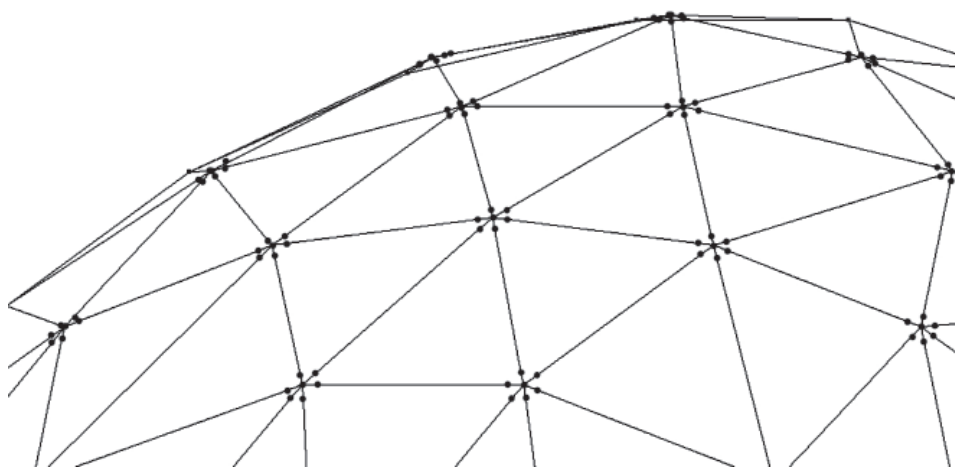


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы купола с установленными упругими элементами

Из численного исследования узлового соединения диаметром 300 мм, высотой 150 мм и толщиной 3 мм [5] было выявлено, что в пределах линейной работы узлового соединения прогиб стенки цилиндра узлового соединения также практически линейен. Так, например, при нагрузке 9,6 кН прогиб стенки цилиндра составил 0,223 мм. Следовательно, для обеспечения равной податливости при данной нагрузке продольные деформации устанавливаемых на концы стержней упругих элементов должны также быть равными 0,223 мм.

Зависимость деформаций от прилагаемой силы описывается формулой

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{EF}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости элемента; F – площадь поперечного сечения элемента; P – приложенная сила; l – длина элемента; Δl – продольные деформации элемента.

Так как для задания жесткости стержневого элемента в ПК Лира достаточно задать его EF , то вычислим это значение:

$$EF = \frac{P \cdot l}{\Delta l} = 6,447 \cdot 10^7 \text{ Н.}$$

В третьем способе узловые соединения были представлены в виде шестиугольников, вписанных

в круг радиусом 150 мм, как показано на рис. 2. Сечение стержней шестиугольников выполнено в виде швеллера высотой 150 мм, ширина полки 15 мм, толщина стенки и полок по 3 мм, т.е. в соответствии с реальными размерами узлового соединения.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты сравнительных расчетов купола с учетом податливости узловых соединений различными способами представлены в табл. 1 и 2. Все данные приведены при загрузке купола равномерной снеговой нагрузкой 240 кг/м^2 по всей поверхности купола.

Как можно заметить из табл. 1, учет податливости путем пересчета модуля упругости стержневых элементов купола практически не вызывает изменений усилий в стержнях купола, а другими методами показывает снижение максимальных усилий на 12–15%. В целом снижение усилий в стержнях купола достаточно равномерное и пропорционально снижению максимальных усилий, т.е. составляет 12–15%.

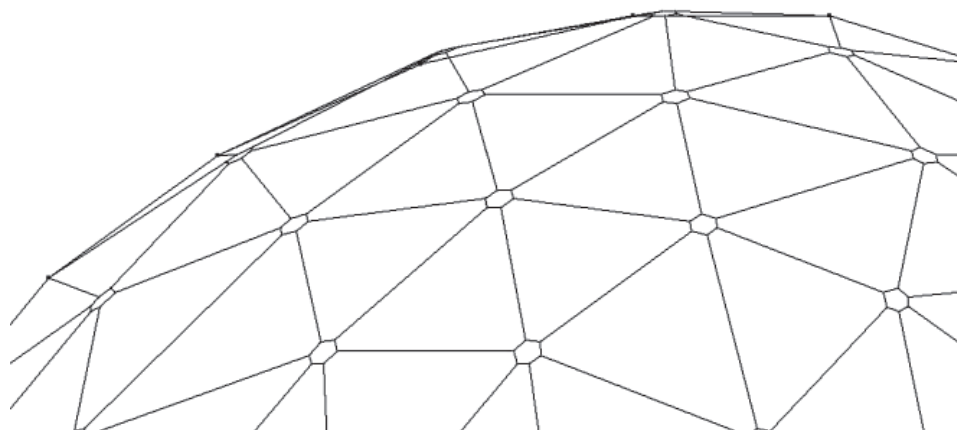


Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы купола с установленными узловыми соединениями в виде шестиугольников

Таблица 1

Влияние податливости на усилия в стержнях купола

	Максимальное усилие в тонкостенных стержнях каркаса купола, кН	Разница со стандартной расчетной схемой без учета податливости, %	Максимальное усилие в стержнях нижнего опорного кольца купола, кН	Разница со стандартной расчетной схемой без учета податливости, %
Без учета податливости	14,1	–	3,28	–
Учет податливости путем изменения модуля упругости узловых соединений	13,9	1,42	3,28	0
Учет податливости путем установки упругих элементов на окончания стержней купола	12,1	14,2	2,82	14,0
Учет податливости путем моделирования узловых соединений в виде шестиугольников	12,3	12,8	2,99	8,84

Таблица 2

Влияние податливости на деформацию купола

	Прогиб центрального узла купола, мм	Разница со стандартной расчетной схемой без учета податливости, %
Без учета податливости	2,75	–
Учет податливости путем изменения модуля упругости узловых соединений	3,83	39,3
Учет податливости путем установки упругих элементов на окончания стержней купола	4,39	59,6
Учет податливости путем моделирования узловых соединений в виде шестиугольников	3,48	26,5

Анализируя табл. 2, можно сделать вывод, что учет податливости узловых соединений любым из методов показывает увеличение деформативности конструкции в целом.

Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие выводы о влиянии податливости узловых соединений купола на его напряженно-деформированное состояние:

1. Учет податливости приводит к уменьшению усилий в стержнях купола на величину до 15%.

2. Деформативность купола значительно увеличивается.

3. Для практических расчетов возможно использовать расчетные схемы куполов без учета податливости узловых соединений, так как несколько завышенные усилия в стержнях купола пойдут в запас прочности. Тем не менее при расчете по схеме без учета податливости следует учитывать повышенную деформативность конструкции при выборе конструктивного решения кровли купола.

Список литературы

1. Дериглазов О.Ю. Разработка, конструирование и исследование деревянного ребристо-кольцевого купола с блоками жесткости и сборно-разборными узлами: дис. ... канд. техн. наук / Томский гос. арх.-строит. ун-т. – Томск, 2007 – 183 с.
2. Патент РФ № 2467133 МПК E04B1/58. Узловое соединение тонкостенных стержней пространственной конструкции / А.В. Тур, В.И. Тур, И.С. Холопов – RU 2467133C2; заявл. 25.02.2011, опубл. 20.11.2012. Бюл. № 32.
3. Патент РФ № 2468157 МПК E04B1/58. Узловое соединение стержней пространственной конструкции / С.А. Селин, А.В. Тур, В.И. Тур – RU 2468157C1; заявл. 10.06.2011, опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33.
4. Тур А.В. Автоматизированная программа подготовки исходных данных для расчета сетчатых куполов разрезки Кайвитта // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 3. – С. 116–119.
5. Холопов И.С. Исследование напряженно-деформированного состояния узлового соединения сетчатого купола / И.С. Холопов, В.И. Тур, А.В. Тур // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 4. – С. 104–111.
6. Холопов И.С. Сетчатый купол с новыми узловыми соединениями / И.С. Холопов, В.И. Тур, А.В. Тур // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 10. – С. 60–62.

References

1. Deriglazov O.YU. Development, design and research of wooden-ribbed dome ring with blocks stiffness and collapsible nodes. Diss. Candidate techn. Science. Tomsk, 2007. 183 p.
2. Tur A.V., Tur V.I., Kholopov I.S. Patent RF no. 2467133 IPC E04V1/58. Joints for thin-walled spatial structure.
3. Selin S.A., Tur A.V., Tur V.I. Paten R.F. no. 2468157 IPC E04V1/58. Nodal connection rods spatial structure.
4. Tur A.V. Automated program for preparation of input data for design of mesh dome the system of Keiwit. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of the Tomsk State Architectural University) 2011, no. 3, pp. 116–119.
5. Kholopov I.S., Tur V.I., Tur A.V. Investigation of the stress-strain state of a node connection mesh dome. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo (News of higher educational institutions. Building.) 2012, no. 4, pp. 104–111.
6. Kholopov I.S., Tur V.I., Tur A.V. Mesh dome with new nodal connections. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo (Industrial and civil construction) 2012, no. 10, pp. 60–62.

Рецензенты:

Шарапов В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск;

Манжосов В.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск.

Работа поступила в редакцию 30.04.2014.