

РАСЧЁТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЦИКЛИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БЛОК-МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

CALCULATION OF SPATIAL CYCLIC AND SYMMETRIC SYSTEMS ON THE BASIS OF BLOCK MODULES TAKING INTO ACCOUNT THE ELASTIC PLIABILITY OF NODAL CONNECTIONS

д.т.н. Гурьев А.Ю., д.т.н., проф. Лабудин Б.В. (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова)
Dr. Guryev A.U., Dr. Professor Labudin B.V. (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov)

Аннотация

На примере сферического купола рассматривается методика расчета циклически-симметричных систем из клееной древесины с учетом действительных характеристик узловых соединений.

Ключевые слова: циклически-симметричная система, податливость узловых соединений.

Summary

On the example of a spherical dome the method of calculation of cyclic and symmetric systems from glued wood taking into account the valid characteristics of nodal connections is considered.

Keywords: cyclic and symmetric system, pliability of the nodal connections.

В класс циклически-симметричных конструкций можно отнести купола различных видов, шатровые конструкции, градирни и др. сооружения. Современные конструкции с их разнообразными инженерными решениями вызывают необходимость применения новых методов расчета, отражающих действительную работу сооружений. В соответствии с этим разработка методов статического и динамического расчета этих конструкций имеет большое теоретическое и прикладное значение [1, 2].

В настоящее время в теории расчета стержневых систем сложилось два главных направления. К первому направлению относятся работы, основанные на различных вариантах перехода к эквивалентной ей континуальной модели. Другим направлением

является представлением конструкции адекватными стержневыми схемами.

При сложных схемах загрузки и сложных граничных условиях, а также неодинаковых жесткостях элементов переход от сплошной среды к стержневой дискретной системе вызывает значительные трудности и исключает более точное рассмотрение напряженно-деформированного состояния этих конструкций.

При расчете стержневых систем более приемлемым представляется подход второго направления, основанный на использовании дискретной схемы и применением соответствующих классических методов строительной механики стержневых систем. Применение дискретных расчетных моделей, позволяет более точно изучить напряженно-деформированное состояние стержневых конструкций. В некоторых случаях рациональна различная конечноеlementная дискретизация стержневых систем, которая дает достаточно хорошие результаты.

Наиболее полно пространственный характер работы стержневых конструкций, обладающих регулярностью и циклической симметрией содержится в работах Д.В. Вайнберга, С.З. Динкевича, А.А. Журавлева, В.А. Игнатъева, Б.Н. Кутукова, В.А. Лебедева, М.Е. Липницкого, А.И. Сегалы, В.А. Трулля, В.Г. Чудновского и др. В этих работах стержневую конструкцию рассматривают как пространственную стержневую систему, подверженную воздействию сложной пространственной системы сил.

Однако общим недостатком работ, посвященных расчету пространственных конструкций, является то, что обычно оперируют идеализированными расчетными схемами, в которых конструктивные элементы соединяются абсолютно жестко или при помощи сферических шарниров. В действительности в конструкциях из дерева соединения элементов являются упругоподатливыми. В общем случае жесткость связей изменяется от 0 до ∞ . При расчете статически неопределимых пространственных стержневых систем учет действительной жесткости и податливости связей приобретает особо важное значение.

Таким образом, для надежного и рационального проектирования циклически-симметричных систем из клееной древесины предлагается метод, в котором учитывались бы

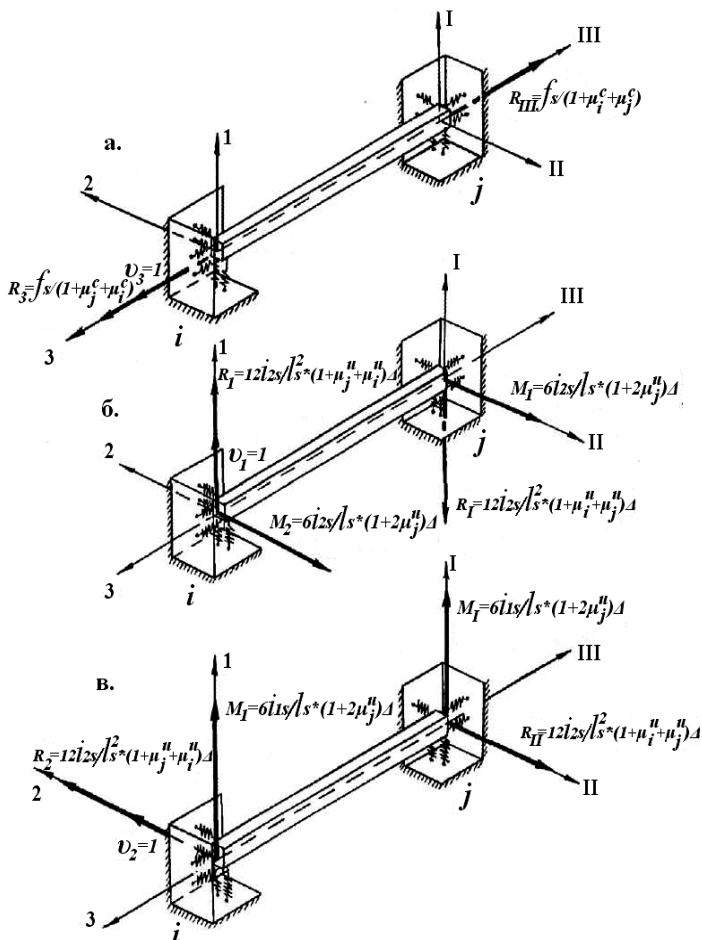


Рисунок 1. Реакции концов стержня, вызванные действием компонент бивектора единичных перемещений V_i узла i по направлению главных осей инерции поперечного сечения стержня с упруго-податливым закреплением узлов: а - деформации растяжения-сжатия по оси 3;

б, в - деформации смещения по осям 1,2.

действительные характеристики податливости (жесткости) узловых соединений, а сам расчетный аппарат имел бы ясный физический смысл, вписываясь в классические расчетные схемы.

Покажем это на примере сферического купола разбивкой по Фуллеру. Узлы конструкции как бы «укладываются» на поверхность

вращения в точках пересечения меридианов и параллелей. Внешние нагрузки, перемещения узлов и усилия удобно представить шестимерными векторами (бивекторами), компоненты которых в координатных системах натуральных осей параллелей τ , n , b могут быть разложены с достаточной точностью в тригонометрический ряд, подобный ряду Фурье. Бивекторы внешней нагрузки представляются в виде 6×1 столбцовых матриц.

Для расчета стержневой купольной конструкции применим метод перемещений. Основная система образуется путем введения в узлы конструкции жестких тел (призм) и раскрепление их упругими связями, устраняющих линейные и угловые перемещения узлов по направлению осей τ , n , b (рис. 1).

При расчете циклически симметричных систем методом перемещений на воздействие внешних нагрузок, изменяющихся вдоль параллели по гармоническому закону, достаточно составить каноническое уравнение для одного узла каждой параллели узлов. Эти уравнения будут одинаковыми для всех узлов данной параллели. Канонические уравнения для пространственной циклически-симметричной системы блок-модуля \mathbf{m}_0 (рис. 2) с геодезической разбивкой на поверхности сферы, можно представить:

$$\left. \begin{aligned} r_{0,0}z_0 + r_{0,i}z_i + r_{0,i+1}z_{i+1} + r_{0,i+2}z_{i+2} + r_{0,i+3}z_{i+3} + r_{0,i-1}z_{i-1} + R_{0,P} &= 0 \\ r_{i,i}z_i + r_{i,0}z_0 + r_{i,i+1}z_{i+1} + r_{i,i-1}z_{i-1} + r_{i,j}z_j + r_{i,j-1}z_{j-1} + r_{i,k}z_k + R_{i,P} &= 0 \\ r_{i+1,i+1}z_{i+1} + r_{i+1,0}z_0 + r_{i+1,i}z_i + r_{i+1,i+2}z_{i+2} + r_{i+1,j}z_j + r_{i+1,j+1}z_{j+1} + r_{i+1,k+1}z_{k+1} + R_{i+1,P} &= 0 \\ r_{j,j}z_j + r_{j,i+1}z_{i+1} + r_{j,i+1}z_{i+1} + r_{j,k}z_k + r_{j,k+1}z_{k+1} + R_{j,P} &= 0 \\ r_{k,k}z_k + r_{k,i}z_i + r_{k,j}z_j + r_{k,j-1}z_{j-1} + R_{k,P} &= 0 \\ r_{k+1,k+1}z_{k+1} + r_{k+1,i+1}z_{i+1} + r_{k+1,j}z_j + r_{k+1,j+1}z_{j+1} + R_{k+1,P} &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

В системе (1) коэффициенты r представляют 6×6 матрицы компонент бивекторов реактивных сил R , в связях узлов, которым соответствует первый индекс, вызванных единичными перемещениями узлов, которым соответствует второй индекс; Z_0, Z_i, \dots, Z_{j-1} - 6×1 матрицы компонент бивекторов перемещений узлов $0, i, \dots, j-1$ по направлению осей τ, n, b , связанных с этими узлами; $R_{0P}, R_{iP}, \dots, R_{jP}$ - 6×1 матрица компонент бивекторов реактивных сил в связях узлов $0, i, \dots, j$ от воздействия внешних нагрузок. Матрицы r определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned}
 r_{0,0} &= \varepsilon_0^{0,i} + \varepsilon_0^{0,i+1} + \varepsilon_0^{0,i+2} + \varepsilon_0^{0,i+3} + \varepsilon_0^{0,i-1}; \\
 r_{i,i} &= \varepsilon_i^{0,i} + \varepsilon_i^{i,i+1} + \varepsilon_i^{i,j} + \varepsilon_i^{i,k} + \varepsilon_i^{i,i-1} + \varepsilon_i^{i,j-1}; \\
 r_{i+1,i+1} &= \varepsilon_{i+1}^{0,i+1} + \varepsilon_{i+1}^{i,i+1} + \varepsilon_{i+1}^{i+1,i+2} + \varepsilon_{i+1}^{i+1,k+1} + \varepsilon_{i+1}^{i+1,j+1} + \varepsilon_{i+1}^{i+1,j}; \\
 r_{j,j} &= \varepsilon_j^{j,j} + \varepsilon_j^{j,j+1} + \varepsilon_j^{j,k} + \varepsilon_j^{j,k-1} + \varepsilon_j^{j,l} + \varepsilon_j^{j,m}; \\
 r_{k,k} &= \varepsilon_k^{k,i} + \varepsilon_k^{k,j} + \varepsilon_k^{k,j+1} + \varepsilon_k^{k,n} + \varepsilon_k^{k,l} + \varepsilon_k^{k,m-1}; \\
 r_{k+1,k+1} &= \varepsilon_{k+1}^{k+1,i+1} + \varepsilon_{k+1}^{k+1,m} + \varepsilon_{k+1}^{k+1,j} + \varepsilon_{k+1}^{k+1,n+1} + \varepsilon_{k+1}^{k+1,l+1} + \varepsilon_{k+1}^{k+1,j+1}; \\
 r_{0,i} &= \varepsilon_i^{0,i}.
 \end{aligned} \right\} (2)$$

В данной методике, также легко учитываются параметры податливости узловых соединений, как и для одного узла [1].

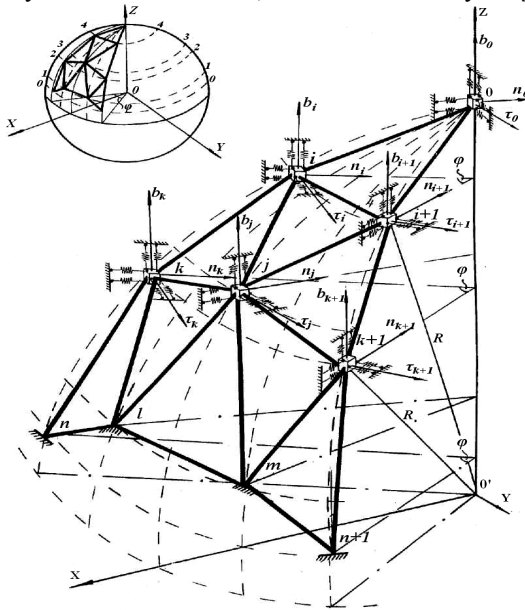


Рисунок 2. Основная система расчетного элемента (блок-модуля) m_0 сферического купола

Список литературы:

1. Лабудин Б.В., А.Ю. Гурьев Геодезические купола из клеёных деревянных элементов./ Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007, 171с.
2. А.Ю.Гурьев, Б.В.Лабудин. Расчет пространственных циклически-симметричных систем на основе блок-модулей // Материалы восьмой всероссийской научно-технической конференции 26 февраля 2010 г. "Вузовская наука - региону", I том, г.Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2010, с.170-172.