
ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

THE THEORY OF STRUCTURES

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 5–14.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 5–14.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.046.3

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-5-14

УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК СО ЗВЕЗДЧАТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Александр Александрович Журавлев, Дмитрий Александрович Журавлев
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Предлагается комплексный подход к исследованию устойчивости стержневых конструкций звездчатой структуры в форме многогранников. Рассматривается применение общей теории к расчету на устойчивость пространственных конструкций ферменного типа, лежащих в основе построения геодезических куполов. Обсуждаются результаты анализа численных значений параметра узловой критической нагрузки для стержневых многогранников с различной плотностью конструктивных сетей.

Ключевые слова: устойчивость, многогранник, звездчатый купол, конструктивная сеть, решетки додекаэдрального типа, потенциальная энергия, характеристический полином, конфигурация, параметр критической нагрузки

Для цитирования: Журавлев А.А., Журавлев Д.А. Устойчивость стержневых конструкций сферических оболочек со звездчатыми элементами // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 5–14. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-5-14.

Original article

ELASTIC STABILITY OF ROD STRUCTURES OF REGULAR STRUCTURE IN THE FORM OF CONVEX POLYTOPES

Alexander A. Zhuravlev, Dmitriy A. Zhuravlev
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. An integrated approach to the study of the stability of rod structures of a star-like structure in the form of convex polyhedrons is proposed. The paper considers the application of the general theory to the stability analysis of spatial truss-type structures that underlie the construction of geodesic domes with polygonal cells. The results of the analysis of the numerical values of the nodal critical load parameter for rod polyhedrons with different densities of structural networks are discussed.

Keywords: stability, polyhedron, star-shaped dome, structural network, dodecahedral type lattices, potential energy, characteristic polynomial, configuration, critical load parameter

© Журавлев А.А., Журавлев Д.А., 2022

For citation: Zhuravlev A.A., Zhuravlev D.A. Elastic stability of rod structures of regular structure in the form of convex polytopes. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (3): 5–14. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-5-14.

Узловые точки конструктивных сетей куполов звездчатой структуры размещаются, как правило, на сферической поверхности, описанной около многогранников, состоящих из большого числа плоских многоугольных граней [1, 2].

Вопросам конструктивно-технологического формообразования сферических оболочек на основе геодезических сетей и результатам поисковых

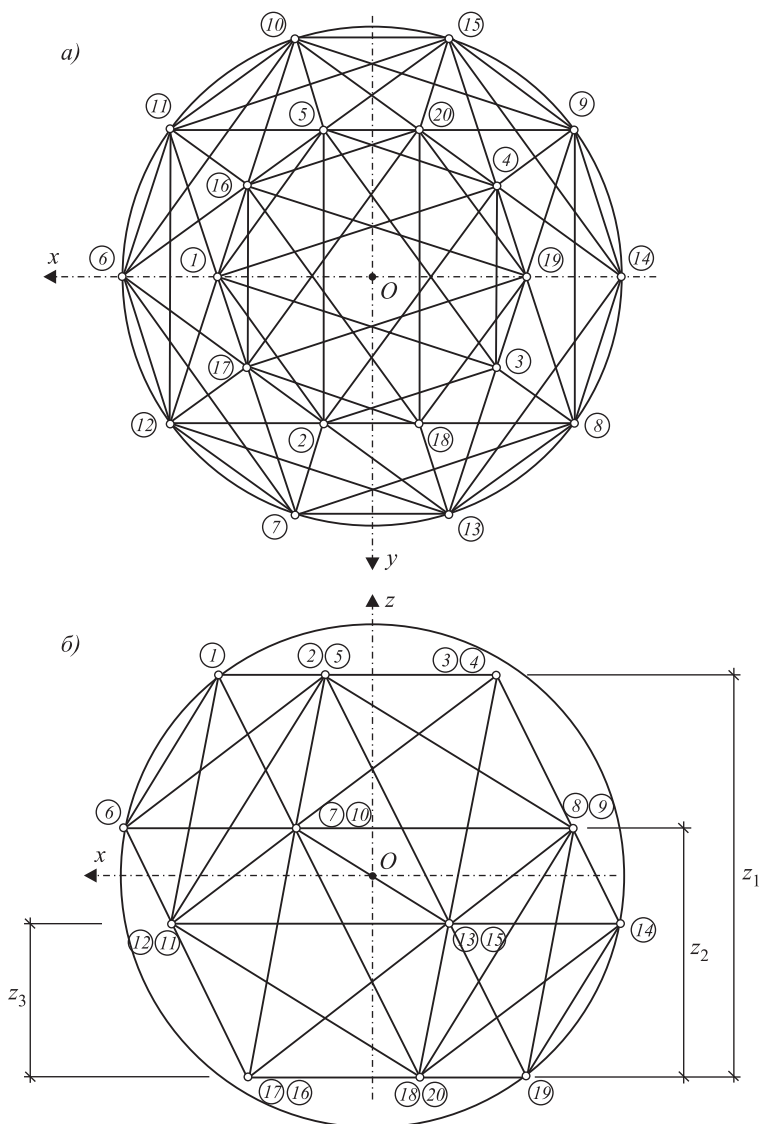


Рис. 1. Стержневая конструкция в форме додекаэдра
 а – схематическое изображение конструкции в ее проекции на плоскость xy ;
 б – проекция шарнирно-стержневой системы на вертикальную плоскость xz

Fig. 1. Rod structure in the form of a dodecahedron
 а – schematic representation of the structure in its projection on the xy plane;
 б – projection of the hinge-rod system on the vertical plane xz

исследований оптимальных вариантов их построения посвящены оригинальные работы [3, 4], в которых раскрываются актуальные проблемы теории сооружений применительно к большепролетным покрытиям. К этому же направлению исследований относится материал, помещенный в [5].

В большепролетных конструкциях покрытий зданий и сооружений различного назначения находят применение звездчатые купола с мелкими ячейками в конструктивной сети. Так, в частном случае, при построении 5072-гранника линейные размеры стержневых элементов внешнего контура шестиугольных ячеек, на долю которых приходится 5060 граней, составляют $1/26$ длины ребер правильного многогранника в форме додекаэдра.

Проблема общей устойчивости куполов с додекаэдральной схемой разрезки поверхности сферы представляет интерес и ждет дальнейшей разработки в силу того, что решение этой задачи до сих пор остается не вполне выясненным [6, 7].

В качестве исходной конфигурации рассмотрим стержневую систему (рис. 1), которая имеет 20 узлов и при заполнении 12 граней додекаэдра в форме правильных пятиугольников звездчатыми элементами состоит из 90 стержней, из них 30 приходится на долю ребер додекаэдра [8]. Легко видеть, что такая стержневая конструкция представляет собой сложную, многократно статически неопределимую систему. На шарнирную систему действует узловая нагрузка, приложенная в 20 узлах, в виде равной величины сил P , имеющих радиальное направление к центру описанной около многогранника сферы радиуса r_k .

Выделим в этой конструкции одну из 12 граней додекаэдра и определим величину критической нагрузки для плоскостной системы, имеющей форму правильного пятиугольника, на которую действуют пять радиальных сил Q (рис. 2).

Система имеет пять узлов и 10 стержней, три стержня лишние. Примем за лишние неизвестные усилия в двух наклонных стержнях 1-2 и 1-5, сходящихся в узле 1 на горизонтальной оси x , и в вертикальном стержне 3-4. Пусть сжимающие усилия в этих стержнях будут X . В двух других стержнях внешнего контура будут такие же усилия.

В пяти стержнях внутреннего контура усилия S получаются равными:

$$S = \sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{10}} \left[Q - \frac{X}{2} \sqrt{2(5-\sqrt{5})} \right]. \quad (1)$$

Обозначая через l и F длину и площадь поперечного сечения внутриконтурных стержней, а через l_1 и F_1 — соответственно значения для стержней внешнего пятиугольного контура, запишем выражение для потенциальной энергии всей системы следующим образом [9]:

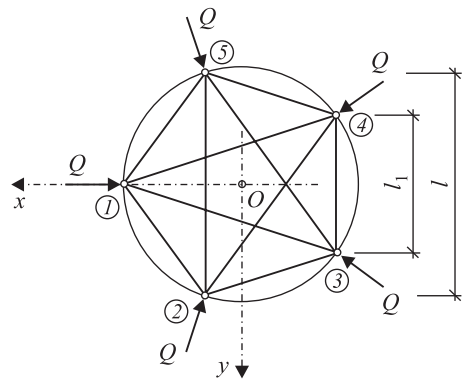


Рис. 2. Плоскостная стержневая система под действием радиальных сил Q
 Fig. 2. A planar rod system under the action of radial forces Q

$$V = \frac{5}{2} \frac{l}{EF} \left[X^2 \frac{l_1 F}{l F_1} + \frac{5 - \sqrt{5}}{10} \left(Q - X \sqrt{\frac{5 - \sqrt{5}}{2}} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Так как $l_1/l = (\sqrt{5}-1)/2$, то здесь целесообразно принять $F/F_1 = (\sqrt{5}+1)/2$, поскольку только в этом случае параметр неустойчивости $\lambda = l/a$ будет равнозначным для всех без исключения стержней рассматриваемой плоскостной системы. Под l понимается длина стержня между узлами i и k , в свою очередь, символ a означает длину того же элемента после деформации стержневой конструкции. Тогда величину X определим из уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial X} = \frac{5l}{2EF} \left[2X \left(1 + \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right) - 2Q \frac{5 - \sqrt{5}}{10} \sqrt{\frac{5 - \sqrt{5}}{2}} \right] = 0,$$

откуда следует, что

$$X = \frac{Q}{10} \sqrt{2(5 - \sqrt{5})}. \quad (3)$$

При этом для усилий в стержнях внутреннего контура имеем

$$S = \frac{Q}{10} \sqrt{2(5 + \sqrt{5})}. \quad (4)$$

Используя описанный в [10] прием составления уравнений равновесия плоскостной фермы в смещенном состоянии, получаем следующую систему восьми уравнений для смещений в узлах $k = 2, 3, 4, 5$:

$$\begin{aligned} & \left[4 - \left(\frac{3}{2} + m_1 \right) \lambda \right] \delta x_2 + \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta y_2 - \left[1 + \left(\frac{1}{4} - m_2 \right) \lambda \right] \delta x_3 - \\ & - \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta y_3 - \left[1 + \left(\frac{1}{4} - m_1 \right) \lambda \right] \delta x_4 - \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta y_4 - (1 - \lambda) \delta x_5 = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta x_2 + \left[4 - \left(\frac{5}{4} + m_2 \right) \lambda \right] \delta y_2 - \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta x_3 - (1 - m_1 \lambda) \delta y_3 - \\ & - \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta x_4 - (1 - m_2 \lambda) \delta y_4 - \delta y_5 = 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & - \left[1 + \left(\frac{1}{4} - m_2 \right) \lambda \right] \delta x_2 - \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta y_2 + \left[4 - \left(\frac{3}{2} + m_2 \right) \lambda \right] \delta x_3 - \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta y_3 - \\ & - (1 - \lambda) \delta x_4 - \left[1 + \left(\frac{1}{4} - m_1 \right) \lambda \right] \delta x_5 + \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta y_5 = 0; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & - \frac{1}{2} \sqrt{m_2} \lambda \delta x_2 - (1 - m_1 \lambda) \delta y_2 - \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta x_3 + \left[4 - \left(\frac{5}{4} + m_1 \right) \lambda \right] \delta y_3 - \\ & - \delta y_4 + \frac{1}{2} \sqrt{m_1} \lambda \delta x_5 - (1 - m_2 \lambda) \delta y_5 = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 & -\left[1+\left(\frac{1}{4}-m_1\right)\lambda\right]\delta x_2-\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta y_2-(1-\lambda)\delta x_3+\left[4-\left(\frac{3}{2}+m_2\right)\lambda\right]\delta x_4+ \\
 & +\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta y_4-\left[1+\left(\frac{1}{4}-m_2\right)\lambda\right]\delta x_5+\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta y_5=0;
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta x_2-(1-m_2\lambda)\delta y_2-\delta y_3+\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta x_4+\left[4-\left(\frac{5}{4}+m_1\right)\lambda\right]\delta y_4+ \\
 & +\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta x_5-(1-m_1\lambda)\delta y_5=0;
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 & -(1-\lambda)\delta x_2-\left[1+\left(\frac{1}{4}-m_1\right)\lambda\right]\delta x_3+\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta y_3-\left[1+\left(\frac{1}{4}-m_2\right)\lambda\right]\delta x_4+ \\
 & +\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta y_4+\left[4-\left(\frac{3}{2}+m_1\right)\lambda\right]\delta x_5-\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta y_5=0;
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 & -\delta y_2+\frac{1}{2}\sqrt{m_1}\lambda\delta x_3-(1-m_2\lambda)\delta y_3+\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta x_4-(1-m_1\lambda)\delta y_4- \\
 & -\frac{1}{2}\sqrt{m_2}\lambda\delta x_5+\left[4-\left(\frac{5}{4}+m_2\right)\lambda\right]\delta y_5.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Здесь

$$m_1=(5+\sqrt{5})/8; m_2=(5-\sqrt{5})/8.$$

Что касается узла 1, то он считается закрепленным двумя стержнями и поэтому $\delta x_1 = \delta y_1 = 0$.

Уравнения (5)–(12) являются однородными и содержат неизвестные δx_k и δy_k ($k = 2, 3, 4, 5$); подобная система уравнений имеет нетривиальное решение, если определитель, составленный из ее коэффициентов, равен нулю [11]. Тогда получаем так называемое уравнение неустойчивости в виде характеристического полинома восьмого порядка

$$p_8(\lambda) = \lambda(\lambda - 2)^5 p_2(\lambda) = 0. \tag{13}$$

Равенство нулю первого сомножителя $\lambda_1 = 0$ означает, что система закрепляется от смещения дополнительно одним опорным стержнем. Вторым сомножителем характеристического полинома содержит пять кратных корней $\lambda_i = 2$ ($i = 2, 3, 4, 5, 6$), а третий сомножитель представляет следующий детерминант:

$$\begin{vmatrix} 5-6m_2\lambda & -30+\left(\frac{5}{2}+17m_2\right)\lambda \\ -\frac{\sqrt{5}}{8}\lambda & 5-\frac{15}{4}\lambda \end{vmatrix} = 0, \tag{14}$$

откуда имеем

$$p_2(\lambda) = (11+15m_2)\lambda^2 - 48(m_1 + m_2)\lambda + 40 = 0. \tag{15}$$

Запишем уравнение (15) в более удобном виде:

$$p_2(\lambda) = \lambda^2 - 3\gamma\lambda + 2\gamma = 0, \quad (16)$$

где под γ понимается равенство

$$\gamma = \frac{20}{11 + 15m_2}. \quad (17)$$

Находим решение квадратного уравнения

$$\lambda_{7,8} = \frac{3}{2}\gamma \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{8}{9\gamma}} \right). \quad (18)$$

При $\gamma = 1,2359$ вычисляем $\lambda_7 = 2,8362$; $\lambda_8 = 0,87152$.

В силу того что во всех стержневых элементах рассматриваемой системы имеют место усилия сжатия, при определении величины критической нагрузки вызывает интерес только одно значение $\lambda_{кр} = 2$. При этом получаем

$$Q_{кр} = \frac{5}{2} \sqrt{\frac{5 - \sqrt{5}}{10}} EF. \quad (19)$$

Составляя далее уравнения равновесия для одного из 20 узлов стержневой конструкции в форме додекаэдра, имеем

$$P_{12, кр} = Q_{кр} \frac{3\sqrt{3}}{2} \sqrt{\frac{10}{5 - \sqrt{5}}} = \frac{15\sqrt{3}}{4} EF \cong 6,50EF. \quad (20)$$

Как видим, полученное значение критической нагрузки многократно превышает ее уровень для стержневой конструкции в форме додекаэдра, образованной путем вложения в полную сферу пяти сопряженных гексаэдров [8].

В случае 32-гранника число пятиугольных граней, как и у додекаэдра, равно 12, но эти грани разделяются между собой 20 треугольными просветами в виде равносторонних треугольников. Критическая нагрузка для стержневой конструкции в форме 32-гранника оказывается равной

$$P_{32, кр} = 5,00EF. \quad (21)$$

Переходя последовательно к конфигурации в виде выпуклого 122-гранника, получаем на поверхности описанной около него сферы конструктивную сеть, состоящую из 12 пяти- и 110 шестиугольных граней (рис. 3).

В такой ситуации в результате действия на выделенную конструкцию шести узловых радиальных сил Q^* усилия сжатия в стержнях внешнего контура шестиугольной грани и во внутриконтурных стержнях будут соответственно равны:

$$\bar{X} = Q^*/4; \quad \bar{S} = \sqrt{3}Q^*/4. \quad (22)$$

Зависимости (22) получены из условия, при котором параметр λ относится также ко всем 12 стержневым элементам.

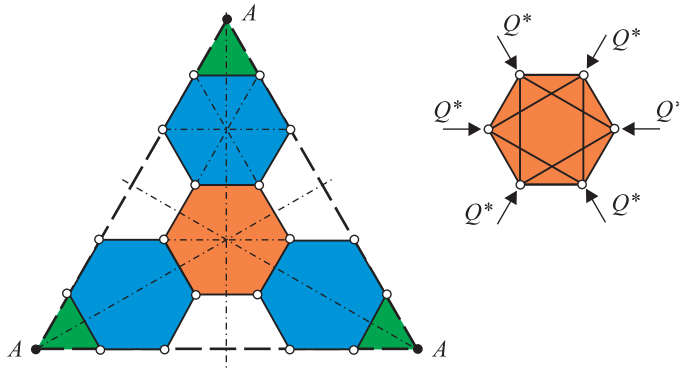


Рис. 3. Схема образования 122-гранника с выделенной стержневой системой

Fig. 3. Scheme of formation of a 122-sided with a dedicated rod system

Математическое условие неустойчивости выделенной системы приводится в этом случае к виду

$$p_9(\lambda) = \lambda(\lambda - 4)(\lambda - 2)^4 \left(\lambda - \frac{4}{3} \right)^3 = 0. \quad (23)$$

Из восьми отличных от нуля численных значений параметра λ наименьшим будет $\lambda_{кр} = 4/3$ и поэтому величина критической нагрузки определяется выражением

$$Q_{кр}^* = \frac{\sqrt{3}}{3} EF. \quad (24)$$

Из условия равновесия одного из узлов многогранника, в котором соединяются между собой стержневые элементы двух шестиугольных граней, находим

$$P_{122, кр} = \frac{\sqrt{3}}{6} (\sqrt{5} - 1) EF \approx 0,36 EF. \quad (25)$$

Характерно, что чем более мелкими становятся структурообразующие элементы стержневой конструкции, тем заметнее обнаруживается тенденция к снижению уровня критической нагрузки.

Результаты анализа изменения безразмерного параметра критической нагрузки для стержневых конструкций в форме многогранников с различной плотностью конструктивных сетей представлены в таблице.

Как видно из приведенных данных, при увеличении числа граней в стержневых конструкциях многогранников, вложенных в полную сферу,

Численные значения безразмерного параметра критической нагрузки для стержневых конструкций многогранной конфигурации
Numerical values of the dimensionless critical load parameter for polyhedral rod structures

Число граней, n_f	12	122	272	482	1082	2432	5072
Число узлов, n_k	20	120	540	960	2160	4840	10140
$P_{кр} / EF$	6,5	0,36	0,25	0,19	0,13	0,085	0,058

параметр критической нагрузки быстро убывает и для 5072-гранника оказывается в 111 раз меньшим по сравнению с додекаэдром. Однако во всех рассмотренных случаях численные значения критических деформаций велики настолько, что не соответствуют диапазону линейного деформирования большинства конструкционных материалов.

Чтобы установить ориентировочно границы применения полученных результатов, определим параметр гибкости λ^* внутриконтурных стержневых элементов шестиугольной грани многогранника с наибольшей плотностью ячеек в конструктивной сети. В случае 5072-гранника при нагрузке $P_{кр}$ усилие в одном из внутриконтурных стержней будет равно

$$S_{кр} = \frac{\sqrt{3}P_{кр}}{12 \sin \theta}.$$

Приравнивая это выражение эйлеровой силе для отдельного стержня и принимая $\sin \theta = 0,0338$, получим $\lambda^* = 2\pi$. Если действительная гибкость внутриконтурных стержней $\bar{\lambda} < \lambda^*$, должна произойти общая потеря устойчивости системы стержней, в противном случае устойчивость потеряет ее отдельный стержень.

Так как граничное значение λ^* оказывается очень малой величиной, исключается возможность развития событий по первому из двух вариантов.

Полученные результаты исследования объединяет общий прием представления решений уравнений вариационного метода в виде полиномов относительно параметра λ , характеризующего неустойчивость деформированного состояния рассматриваемой системы стержней, образующих в совокупности поверхность выпуклого многогранника [12].

К новым результатам выполненного исследования можно отнести решение серии задач устойчивости стержневых конструкций регулярной структуры, находящихся под равномерным давлением при действии узловых радиальных сил равной величины.

Выводы. 1. На примере додекаэдра доказано, что несущая способность стержневой конструкции многогранной конфигурации повышается более чем в 30 раз благодаря включению в работу звездчатых элементов в его пятиугольных панелях.

2. Выявлено конструктивное преимущество размещения звездчатых элементов с треугольным взаимным расположением стержней в пределах контуров шестиугольных панелей многогранников, полностью исключая возможность потери общей устойчивости стержневых систем регулярной структуры.

3. Сформулирована гипотеза о том, что явление общей потери устойчивости стержневых конструкций многогранной конфигурации со звездчатыми элементами может иметь место только в случаях, когда внутриконтурные стержни шестиугольных панелей обладают очень малой жесткостью.

Список источников

1. *Туполев М.С.* Купол в современной архитектуре // Архитектура СССР. 1973. № 12. С. 52–55.

2. Павлов Г.Н. Композиционное формообразование кристаллических куполов и оболочек // Архитектура СССР. 1977. № 2. С. 30–41.
3. Миряев Б.В. Методы расчета и конструктивные решения сетчатых куполов из дерева и пластмасс. Пенза, 2005. 150 с.
4. Травуш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеева И.В., Гудожников С.С. Исследование конструктивно-технологических возможностей сборных сферических оболочек // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 2. С. 89–101.
5. Миряев Б.В., Толушов С.А. Экспериментально-теоретические исследования сжато-изгибаемых деревянных элементов купола в предельном состоянии // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 1. С. 108–116.
6. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971. 807 с.
7. Журавлев А.А., Муро Г.Э., Кимсуор Лонг, Журавлев Ан.А. Стержневые конструкции многогранных куполов. Ростов н/Д: РИЦ РГСУ, 2007. 316 с.
8. Журавлев А.А., Журавлев Д.А. Устойчивость пространственной стержневой конструкции в форме додекаэдра // Изв. вузов. Строительство. 2021. № 7. С. 5–14.
9. Тимошенко С.П. Сборник задач по сопротивлению материалов. М.; Л.: Госиздат, 1931. 274 с.
10. Журавлев А.А. Устойчивость упругих систем в форме выпуклых многогранников // Строит. механика и расчет сооружений. 1985. № 6. С. 41–43.
11. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. М.: ГИТЛ, 1955. 475 с.
12. Mises R., Ratzendorfer J. Knicksicherheit von Fachwerken // Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. 1925. Bd 3. H. 5. S. 218–235.

References

1. Tupolev M.S. Dome in modern architecture. *Arkhitektura SSSR = USSR architecture*. 1973; (12): 52–55. (In Russ.).
2. Pavlov G.N. Composite shaping of crystal domes and shells. *Arkhitektura SSSR = USSR architecture*. 1977; (2): 30–41. (In Russ.).
3. Miryaev B.V. Calculation methods and constructive solutions for mesh domes made of wood and plastics. Penza, 2005. 150 p. (In Russ.).
4. Travush V.I., Antoshkin V.D., Erofeeva I.V., Gudozhnikov S.S. Research of constructive and technological possibilities of prefabricated spherical shells. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo = Regional architecture and construction*. 2014; (2): 89–101. (In Russ.).
5. Miryaev B.V., Tolushov S.A. Experimental and theoretical studies of compressed-bent wooden elements of the dome in the limit state. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2014; (1): 108–116. (In Russ.).
6. Timoshenko S.P. Stability of rods, plates and shells. Moscow, 1971. 807 p. (In Russ.).
7. Zhuravlev A.A., Muro G.E., Kimsuor Long, Zhuravlev An.A. Rod structures of polyhedral domes. Rostov-on-Don, 2007. 316 p. (In Russ.).
8. Zhuravlev A.A., Zhuravlev D.A. Stability of a spatial rod structure in the form of a dodecahedron. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (7): 5–14. (In Russ.).
9. Timoshenko S.P. Collection of problems on the strength of materials. Moscow; Saint Petersburg, 1931. 274 p. (In Russ.).
10. Zhuravlev A.A. Stability of elastic systems in the form of convex polyhedra. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy = Building mechanics and calculation of structures*. 1985; (6): 41–43. (In Russ.).
11. Rzhantsyn A.R. Stability of equilibrium of elastic systems. Moscow, 1955. 475 p. (In Russ.).

12. Mises R., Ratzendorfer J. Knicksicherheit von Fachwerken. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 1925; 3(5): 218–235.

Информация об авторах

А.А. Журавлев – доктор технических наук, профессор

Д.А. Журавлев – кандидат технических наук, доцент

Information about the authors

A.A. Zhuravlev – DSc, Professor

D.A. Zhuravlev – PhD, Ass. Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.01.2022
Одобрена после рецензирования 14.02.2022
Принята к публикации 21.02.2022

The article was submitted 14.01.2022
Approved after reviewing 14.02.2022
Accepted for publication 21.02.2022