УДК 624.074.3:519.615

Д.А. Локтев, И.С. Инжутов, Н.И. Лях, В.И. Жаданов*,
В.Н. Ермолин**

ФГАОУ ВПО «СФУ», *ФГБОУ ВПО «ОГУ», **ФГБОУ ВПО «СибГТУ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕРЕВЯННЫХ СЕТЧАТЫХ СВОДОВ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ СЕТКОЙ

Разработаны математические модели в виде трансцендентных уравнений для поиска требуемых геометрических параметров деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой. Полученные трансцендентные уравнения, являющиеся основой математической модели, описывают геометрические параметры любой марки свода с ортогональной сеткой при требуемых исходных данных.

Ключевые слова: деревянные сетчатые своды, геометрический расчет, геометрические параметры, трансцендентные уравнения, математическая модель, ортогональная сетка, геометрическая схема.

Деревянные сетчатые своды — пространственные конструкции покрытия, которые, как правило, состоят из большого количества элементов [1—4]. Несмотря на простоту самих элементов, их правильная организация в составе всего покрытия является очень важной частью геометрического расчета. В таких конструкциях, в т.ч. и в деревянных сетчатых сводах с ортогональной сеткой, подбор сечений должен коррелировать с геометрическими требованиями всей системы [5—12].

Цель работы заключается в разработке математической модели подбора геометрических параметров сводов с ортогональной сеткой при различных исходных данных.

Ранее в [13] было дано подробное описание конструктивного решения таких сводов. Всего выделено три типа (марки ДСС.1У, ДСС.2У, ДСС.3У), основные отличия которых друг от друга заключаются во взаимном расположении продольных и поперечных элементов (рис. 1).

Рис. 1. Поперечный разрез деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой

Операции по подбору сечения элементов этих сводов сводятся к следующим этапам.

1. В ходе статического расчета подбираются оптимальные высота свода (до верхней точки оси), количество продольных элементов в поперечном разрезе покрытия, сечения продольных и поперечных элементов. Заметим, что с целью снижения трудоемкости изготовления элементов и рационального исполнения узловых решений (рис. 4 [13]) высота сечения продольных и поперечных элементов принимается одинаковой.

2. Геометрический расчет подобранных элементов.

3. В случае необходимости, повторный статический расчет уточненной геометрической схемы свода.

Рассмотрим основные особенности, возникающие на этапе 2.

К примеру, выполнен статический расчет свода марки ДСС.2У с 6 и 7 продольными элементами. По результатам статического расчета построен его поперечный разрез с требуемыми по прочности сечениями продольных и поперечных элементов (одного поперечного разреза достаточно для проверки правильности геометрических параметров сетки). Обнаруживается, что при семи продольных элементах в поэтажном узле тела продольного и поперечного элементов пересекаются (рис. 2, узел слева), а при шести, наоборот, не имеют общих плоскостей (рис. 2, узел справа).

Рис. 2. Пересечение тел продольного и поперечного элементов свода

Естественно, реализовать на практике такие узлы без местной подрезки элементов или без подкладки дополнительных элементов невозможно. С точки зрения достижения минимальной материалоемкости, любое изменение сечения, особенно его высоты, нежелательно. Поэтому для сохранения сечения требуется перестроить сетку свода путем варьирования других геометрических параметров, а именно:

- 1) высоты свода;
- 2) ширины поперечного сечения продольных элементов;
- 3) количества продольных элементов (для рассматриваемого примера это уже не актуально).

С другой стороны, на практике встречаются и обратные задачи [14—17]. Например, генеральные размеры покрытия строго ограничены по высоте и пролету. Решение такой задачи сводится сначала к выполнению геометрического расчета (подбор требуемых размеров сечения элементов при заданном количестве продольных элементов), а затем к статическому расчету (оптимизация НДС элементов свода в основном выполняется за счет варьирования шага арок).

Все это определяет потребность в разработке универсальных математических моделей, позволяющих вычислять геометрические параметры сводов в двух основных случаях:

А. Дано: пролет, количество продольных элементов, высота и ширина сечения продольного и поперечного элементов свода. Необходимо подобрать высоту свода так, чтобы тела элементов только соприкасались.

Б. Дано: пролет, количество продольных элементов, высота свода, ширина продольного сечения продольных элементов. Необходимо подобрать высоту поперечного сечения элементов свода так, чтобы тела элементов только соприкасались.

Рассмотрим случай А. Дан произвольный сетчатый свод марки ДСС.2У. Пусть у этого свода пролет равен L , количество продольных элементов в составе всего свода равно y (рис. 3), высота продольного и поперечного элементов равна h_1 , толщина продольного элемента равна t_2 (рис. 4). Требуется определить высоту свода H .

Рис. 3. Геометрическая схема свода марки ДСС.2У

Свод образует некоторую дугу с неизвестной длиной, при этом вершины этой дуги связаны отрезком L . Угол дуги равен α , а радиус равен R . Воспользуемся известными тригонометрическими формулами и определим R :

$$R = \frac{L}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (1)$$

Радиус также можно определить через l — отрезок, соединяющий центры тяжести двух ближайших продольных элементов.

$$R = \frac{l}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)}. \quad (2)$$

Таким образом,

$$\frac{L}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{l}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)}. \quad (3)$$

Сократим на $\frac{1}{2}$ и получим

$$\frac{L}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{l}{\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)}. \quad (4)$$

Далее, определим l . Для этого рассмотрим треугольник, образованный вершинами ABC (рис. 4).

Рис. 4. Геометрическая схема свода марки ДСС.2У между двумя ближайшими продольными элементами

В этом треугольнике известен угол ACB , который равен $\frac{\alpha}{2(y+1)}$, катет AB , равный $h_1 + h_x$, и гипотенуза AC , равная l . Следовательно,

$$l = \frac{h_1 + h_x}{\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)}. \quad (5)$$

Затем, из треугольника DEC определим h_x :

$$h_x = \frac{t_2}{2} \sin\left(\frac{\alpha}{y+1}\right). \quad (6)$$

Следовательно,

$$l = \frac{h_1 + \frac{t_2}{2} \sin\left(\frac{\alpha}{y+1}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)}. \quad (7)$$

Подставим (7) в (4) и получим

$$\frac{L}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{h_1 + \frac{t_2}{2} \sin\left(\frac{\alpha}{y+1}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)^2}. \quad (8)$$

Полученное трансцендентное уравнение (8) решим с применением метода Ньютона в системе MathCAD [18—20], алгоритм решения которого приведен на рис. 5.

$$\begin{aligned}
 f(x) &:= \frac{L1}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)} - \frac{h1 + \frac{t2}{2} \sin\left[\frac{x}{2(y+1)}\right]}{\sin\left[\frac{x}{2(y+1)}\right]^2} & f1(x) &:= \frac{d}{dx} f(x) & f2(x) &:= \frac{d^2}{dx^2} f(x) \\
 f1(x) &\rightarrow \frac{\cos\left(\frac{x}{16}\right) \cdot (0.0625 \cdot \sin\left(\frac{x}{8}\right) + 0.25)}{8 \cdot \sin\left(\frac{x}{16}\right)^3} - \frac{10 \cdot \cos\left(\frac{x}{2}\right)}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)^2} - \frac{0.0078125 \cdot \cos\left(\frac{x}{8}\right)}{\sin\left(\frac{x}{16}\right)^2} \\
 f2(x) &\rightarrow \frac{10 \cdot \cos\left(\frac{x}{2}\right)^2}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)^3} - \frac{0.0625 \cdot \sin\left(\frac{x}{8}\right) + 0.25}{128 \cdot \sin\left(\frac{x}{16}\right)^2} + \frac{5}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)} - \frac{3 \cdot \cos\left(\frac{x}{16}\right)^2 \cdot (0.0625 \cdot \sin\left(\frac{x}{8}\right) + 0.25)}{128 \cdot \sin\left(\frac{x}{16}\right)^4} + \frac{0.0009765625 \cdot \sin\left(\frac{x}{8}\right)}{\sin\left(\frac{x}{16}\right)^2} + \frac{0.001953125 \cdot \cos\left(\frac{x}{8}\right) \cdot \cos\left(\frac{x}{16}\right)}{\sin\left(\frac{x}{16}\right)^3} \\
 a &:= 0.05 & b &:= 5 & e1 &:= 0.00000001 & casat(f, a, b, e1) &:= \begin{cases} \text{if } f(a) \cdot f2(a) > 0 \\ \quad \begin{cases} x1 \leftarrow a \\ c \leftarrow a \end{cases} \\ \text{otherwise} \\ \quad \begin{cases} x1 \leftarrow b \\ c \leftarrow b \end{cases} \end{cases} \\
 & & & & & & \text{while } |f(x1)| > e1 \\
 & & & & & & \quad \begin{cases} x2 \leftarrow x1 - \frac{f(x1)}{f1(x1)} \\ x1 \leftarrow x2 \end{cases} \\
 & & & & & & x1 \\
 \text{casat}(f, a, b, e1) &= 1.523
 \end{aligned}$$

Рис. 5. Алгоритм решения трансцендентного уравнения методом Ньютона в системе MathCAD

Зная α , определим высоту свода:

$$H = \frac{L}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{L}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (9)$$

Рассмотрим случай Б. При известных H , t_2 , L и y требуется определить h_1 . Для начала, определим α :

$$\alpha = 2\pi - 4 \operatorname{atan}\left(\frac{L}{2H}\right). \quad (10)$$

Подставив α в уравнение (8), определим h_1 по аналогичному алгоритму, приведенному на рис. 5.

Уравнение (8) также применимо для свода марки ДСС.1У. Так, случаи А и Б для такого свода будут заключаться в поиске:

А) H (при требуемых параметрах L , t_2 , y) и h_2 (h_1 в уравнении (8) заменяем на h_2), где h_2 — величина смещения верхней кромки продольного элемента над верхней кромкой поперечного элемента в поэтажном узле свода (рис. 6);

Б) h_2 (при требуемых параметрах L , t_2 , y) и H .

Рис. 6. Геометрическая схема свода марки ДСС.1У между двумя ближайшими продольными элементами

Заметим, что величину h_1 для свода марки ДСС.1У можно принимать любой, так как она не влияет на требуемые для поиска параметры.

На основе уравнения (8) можно определить требуемые H и h_1 для свода марки ДСС.3У.

Это уравнение принимает несколько измененный вид в силу особенности геометрических параметров сопряжения элементов свода (рис. 7):

$$\frac{L}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{\frac{t_1}{2} \cos\left(\frac{\alpha}{y+1}\right) + \frac{h_1}{2} \cos\left(\frac{\alpha}{y+1}\right) + 1,5h_1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2(y+1)}\right)^2}. \quad (11)$$

Рис. 7. Геометрическая схема свода марки ДСС.3У между двумя ближайшими продольными элементами

Вывод. Полученные трансцендентные уравнения являются основой математической модели, описывающей геометрические параметры любой марки свода с ортогональной сеткой при требуемых исходных данных. Трудоемкость решения таких уравнений с использованием предложенного алгоритма в системе MathCAD сокращена до минимума.

Библиографический список

1. Zhang Z., Ding J., Wang S. Structural system selection and structural design for a giant ellipsoid large-span steel roof // Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints : IASS-SLTE 2014 Symposium, Brasilia, Brazil. Short abstracts. Reylando M.L.R.F., Brasil and Ruy M.O. Pauletti(eds.). Pp. 6—7. Режим доступа: <http://www.iass2014.org/wp-content/uploads/2014/09/short-abstracts.pdf>. Дата обращения: 25.11.2014.
2. Yan Y., Zhang Q. Shape optimization of free-form single-layer reticulated shells based on Ansys // Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints : IASS-SLTE 2014 Symposium, Brasilia, Brazil. Short abstracts. Reylando M.L.R.F., Brasil and Ruy M.O. Pauletti (eds.). Pp. 12. Режим доступа: <http://www.iass2014.org/wp-content/uploads/2014/09/short-abstracts.pdf>. Дата обращения: 25.11.2014.
3. Журавлев А.А., Муру Г.Э. Новое конструктивное решение покрытия системы Цолингера // Инженерный вестник Дона. 2011. Т. 18. № 4. С. 523—527.
4. Wester T. Structures of nature in modern buildings // Сэйсан Кэнкю = Mon. J. Inst. Univ. Tokyo. 1989. Vol. 41. No. 9. Pp. 694—700.
5. Миряев Б.В. Оптимизация геометрической схемы сетчатых куполов, образованных на основе икосаэдра // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 3 (14). С. 122—125.
6. Жаданов В.И. Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния крупноразмерных клефанерных плит с учетом их конструктивных особенностей // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. Одесса : ОГАСА, 2011. С. 64—67.

7. Жаданов В.И., Лисов С.В., Украинченко Д.А. Об эффективности концептуального подхода в проектировании деревянных зданий и сооружений // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. Одесса : ОГАСА, 2010. № 14. Ч. 1. С. 93—97.

8. Жаданов В.И., Тисевич Е.В., Кечин А.А. Алгоритмы поиска оптимального конструктивного решения ребристых клефанерных панелей // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов : мат. Междунар. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола, 4—6 июня 2013 г. Йошкар-Ола : ПГТУ, 2013. С. 120—123.

9. Лелик Я.Р., Берлач О.П. Расчет геометрических параметров при проектировании опалубки для пространственных криволинейных поверхностей // Современное промышленное и гражданское строительство. 2010. Т. 6. № 4. С. 223—228.

10. Артемов В.В., Садэтов Т.С., Круглая Н.В. Определение координат узлов криволинейных ребер сомкнутого сетчатого свода на прямоугольном плане // Легкие строительные конструкции : сб. науч. тр. Ростов н/Д. : РГСУ, 2003. С. 129—137.

11. Садэтов Т.С., Артемов В.В., Круглая Н.В. Определение габаритных размеров нестандартных косяков в сомкнутых сводах // Легкие строительные конструкции. Ростов н/Д. : РГСУ, 2004. С. 112—117.

12. Лебедь Е.В., Аткин А.В., Ромашкин В.Н. Реализация компьютерного геометрического моделирования пространственных стержневых систем // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2010. № 2. С. 141—150.

13. Локтев Д.А., Инжутов И.С., Рожков А.Ф. Формообразование и конструирование деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой для покрытий зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11—12 (659—660). С. 73—81.

14. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Требования к надежности и безопасной эксплуатации большепролетных клееных деревянных конструкций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 3. С. 143—147.

15. Стецкий С.В., Чэнь Гуанлун. Оптимальные конструктивные, планировочные и геометрические решения световых колодцев для многоэтажных производственных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 84—86.

16. Черныш Н.Д., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. О сохранении традиций в храмо-строительстве // Технические науки — от теории к практике : мат. XXIII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. 10 июля 2013 г. Новосибирск : СибАК, 2013. С. 86—91.

17. Коротич А.В. Структурно-композиционное формообразование оболочек в современной архитектуре // Градостроительство. 2012. № 4 (20). С. 47—51.

18. Черных О.А. Трансцендентные уравнения с параметрами и методы их решения // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. 2012. № 03 (18). С. 49—65.

19. Калентьев Е.А., Тарасов В.В., Новиков В.Н. Уточнение решения трансцендентного уравнения при расчете геометрии канатов линейного касания // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 4. С. 12—14.

20. Ruckert J., Schleicher D. On Newton's method for entire functions // Journal of the London mathematical society. Oxford University press, London, 2007. Vol. 76. No. 3. Pp. 659—676.

Поступила в редакцию в ноябре 2014 г.

Об авторах: **Локтев Дмитрий Александрович** — инженер кафедры строительных конструкций и управляемых систем Инженерно-строительного института, **Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВПО «СФУ»)**, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, loktevda@gmail.com;

Инжутов Иван Семенович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций и управляемых систем, директор Инженерно-строительного института, **Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВПО «СФУ»)**, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, 8 (391) 252-78-11, ivaninzhutov@gmail.com;

Лях Николай Иванович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем Инженерно-строительного института, **Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВПО «СФУ»)**, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, laux@mail.ru;

Жаданов Виктор Иванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, **Оренбургский государственный университет (ФГБОУ ВПО «ОГУ»)**, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, д. 13, organ-2003@bk.ru;

Ермолин Владимир Николаевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии композиционных материалов и древесиноведения, **Сибирский государственный технологический университет (ФГБОУ ВПО «СибГТУ»)**, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, д. 82, ermolin@front.ru.

Для цитирования: *Локтев Д.А., Инжутов И.С., Лях Н.И., Жаданов В.И., Ермолин В.Н.* Математическая модель расчета геометрических параметров деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 60—69.

D.A. Loktev, I.S. Inzhutov, N.I. Lyakh, V.I. Zhadanov, V.N. Ermolin

MATHEMATICAL CALCULATION MODEL FOR GEOMETRICAL PARAMETERS OF TIMBER MESH DESIGN WITH ORTHOGONAL GRID

Mesh cover design, a multi-element design, which ensures the correct geometrical arrangement of the elements, is a very important task. The purpose of the given article is the development of a mathematical model for selecting the geometric parameters of wooden arches with mesh orthogonal grid with different input data. In this article three variants of design were observed. The main differences between them are in the relative position of longitudinal and transverse components.

When performing static calculations of such designs in order to achieve their subsequent correct assembly, the following location conditions were observed: all the items must strictly match with each other without a gap and without overlap. However, these conditions must be met for any ratio of height to the arch span, the number of longitudinal members and the thickness of longitudinal members. Inverse problems also take place. In this case, the geometric calculation is not possible to vary the cross-section elements, and the stress-strain state of the cover is provided by varying the pitch of the transverse arches of the elements, on which the geometric calculation has no influence.

All this determines the need for universal mathematical models describing any geometrical parameter of the designs needed for their geometrical calculation.

The basic approach for the development of such models is the use of the known trigonometric formulas, giving a complete description of the desired geometry of the arch.

Finally three transcendental equations were obtained, the solution algorithm of which using Newton's method is presented in the MathCAD. The complexity of solving such equations using the proposed algorithm in the MathCAD is reduced to a minimum.

Key words: timber mesh cover design, geometrical calculation, geometrical parameters, transcendental equation, mathematical model, orthogonal grid, geometric layout.

References

1. Zhang Z., Ding J., Wang S. Structural System Selection and Structural Design for a Giant Ellipsoid Large-span Steel Roof. Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints : IASS-SLTE 2014 Symposium, Brasilia, Brazil. Short abstracts. Reyalando M.L.R.F., Brasil

and Ruy M.O. Pauletti (eds.). Pp. 6—7. Available at: <http://www.iass2014.org/wp-content/uploads/2014/09/short-abstracts.pdf>. Date of access: 25.11.2014.

2. Yan Y., Zhang Q. Shape Optimization of Free-form Single-layer Reticulated Shells Based on Ansys. Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints : IASS-SLTE 2014 Symposium, Brasilia, Brazil. Short abstracts. Reylando M.L.R.F., Brasil and Ruy M.O. Pauletti (eds.). Pp. 12. Available at: <http://www.iass2014.org/wp-content/uploads/2014/09/short-abstracts.pdf>. Date of access: 25.11.2014.

3. Zhuravlev A.A., Muro G.E. Novoe konstruktivnoe reshenie pokrytiya sistemy Tsolingera [New Design Solution for Roof of Zolinger System]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. 2011, vol. 18, no. 4, pp. 523—527. (In Russian)

4. Wester T. Structures of Nature in Modern Buildings. Seysan Kenkyu = Mon. J. Inst. Univ. Tokyo. 1989, vol. 41, no. 9, pp. 694—700.

5. Miryaev B.V. Optimizatsiya geometricheskoy skhemy setchatykh kupolov, obrazovannykh na osnove ikosaedra [Optimization of Geometrical Scheme of Mesh Domes Formed on the Basis of Icosahedron]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2012, no. 3, pp. 122—125. (In Russian)

6. Zhadanov V.I. Issledovanie osobennostey napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya krupnorazmernykh kleefanernykh plit s uchetom ikh konstruktivnykh osobennostey [Investigation of the Stress-strain State Features of Large-scale Cement-Veneer Plates in Accordance with their Design Features]. *Sovremennye stroitel'nye konstruksii iz metalla i drevesyiny : sbornik nauchnykh trudov* [Modern Constructions of Metal and Wood: Collection of Scientific Articles]. Odessa, OGASA Publ., 2011, pp. 64—67. (In Russian)

7. Zhadanov V.I., Lisov S.V., Ukrainchenko D.A. Ob effektivnosti kontseptual'nogo podkhoda v proektirovanii derevyannykh zdaniy i sooruzheniy [Effectiveness of a Conceptual Approach in the Design of Wooden Buildings and Structures]. *Sovremennye stroitel'nye konstruksii iz metalla i drevesyiny : sbornik nauchnykh trudov* [Modern Constructions of Metal and Wood: Collection of Scientific Articles]. Odessa, OGASA Publ., 2010, no. 14, part. 1, pp. 93—97. (In Russian)

8. Zhadanov V.I., Tisevich E.V., Kechin A.A. Algoritmy poiska optimal'nogo konstruktivnogo resheniya rebristykh kleefanernykh paneley [Algorithms for Finding the Optimal Design Solution of Ribbed Cement-Veneer Panels]. *Aktual'nye problemy stroitel'nogo i dorozhnogo kompleksov : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Yoshkar-Ola, 4—6 iyunya 2013 goda)* [Current Problems of Building and Road Systems: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference (Yoshkar-Ola, June, 4—6, 2013)]. Yoshkar-Ola, PGTU Publ., 2013, pp. 120—123. (In Russian)

9. Lelik Ya.R., Berlach O.P. Raschet geometricheskikh parametrov pri proektirovanii opalubki dlya prostranstvennykh krivolineynykh poverkhnostey [Calculation of Geometric Parameters in the Design of Formwork for Spatial Curved Surfaces]. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Modern Industrial and Civil Construction]. 2010, vol. 6, no. 4, pp. 223—228. (In Russian)

10. Artemov V.V., Sadetov T.S., Kruglaya N.V. Opredelenie koordinat uzlov krivolineynykh reber somknutogo setchatogo svoda na pryamougol'nom plane [Determination of the Nodes Coordinates of Curved Edges of a Closed Net Vault on a Rectangular Plan]. *Legkie stroitel'nye konstruksii : sbornik nauchnykh trudov* [Lightweight Building Structures : Collection of Scientific Articles]. Rostov on Don, RGSU Publ., 2003, pp. 129—137. (In Russian)

11. Sadetov T.S., Artemov V.V., Kruglaya N.V. Opredelenie gabaritnykh razmerov nestandardnykh kosyakov v somknutykh svodakh [Determination of the Dimensions of Non-standard Stocks in Closed Vaults]. *Legkie stroitel'nye konstruksii* [Lightweight Building Structures]. Rostov on Don, RGSU Publ., 2004, pp. 112—117. (In Russian)

12. Lebed' E.V., Atkin A.V., Romashkin V.N. Realizatsiya komp'yuternogo geometricheskogo modelirovaniya prostranstvennykh sterzhnevnykh sistem [Implementation of Computer Geometric Modeling of Spatial Rod Systems]. *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research]. 2010, no. 2, pp. 141—150. (In Russian)

13. Loktev D.A., Inzhutov I.S., Rozhkov A.F. Formoobrazovanie i konstruirovaniye derevyannykh setchatykh svodov s ortogonal'noy setkoy dlya pokrytiy zdaniy i sooruzheniy [Shaping and Designing of Wooden Mesh Arches with Orthogonal Grid for Roofing Buildings and

Structures]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of the Institutions of Higher Education. Construction]. 2013, no. 11—12 (659—660), pp. 73—81. (In Russian)

14. Karel'skiy A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Trebovaniya k nadezhnosti i bezopasnoy ekspluatatsii bol'sheproletnykh kleenykh derevyannykh konstruksiy [Requirements for Reliability and Safe Operation of Span Glued Wooden Structures]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of the Institutions of Higher Education. Forest Journal]. 2012, no. 3, pp. 143—147. (In Russian)

15. Stetskiy S.V., Chen Guanlong. Optimal'nye konstruktivnye, planirovochnye i geometricheskie resheniya svetovykh kolodtsev dlya mnogoetazhnykh proizvodstvennykh zdaniy [Optimal Design, Planning and Geometric Solutions for Light Wells For Multi-Storey Industrial Buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2013, no. 12, pp. 84—86. (In Russian)

16. Chernysh N.D., Koren'kova G.V., Mityakina N.A. O sokhraneni traditsiy v khramoostroitel'stve [On Preservation of Traditions in the Construction of Temples]. *Tekhnicheskies nauki — ot teorii k praktike : materialy XXIII Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 10 iyulya 2013 goda* [Technical Sciences — from Theory to Practice : Materials of the 23rd International Distance Science and Practice Conference, July 10, 2013]. Novosibirsk, Izdatel'stvo «SibAK» Publ., 2013, pp. 86—91. (In Russian)

17. Korotich A.V. Strukturno-kompozitsionnoe formoobrazovanie obolochek v sovremennoy arkhitekture [Structural and Compositional Shaping of Shells in Modern Architecture]. *Gradoostroitel'stvo* [Urban Development]. 2012, no. 4 (20), pp. 47—51. (In Russian)

18. Chernykh O.A. Transsendentnye uravneniya s parametrami i metody ikh resheniya [Transcendental Equations with Parameters and Methods of their Solution]. *Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v pedagogicheskom obrazovanii* [Information and Communication Technologies in Teacher Education]. 2012, no. 03 (18), pp. 49—65. (In Russian)

19. Kalent'ev E.A., Tarasov V.V., Novikov V.N. Utochnenie resheniya transsendentnogo uravneniya pri raschete geometrii kanatov lineynogo kasaniya [Clarification of the Solution of Transcendental Equation when Calculating the Ropes Geometry of Linear Touch]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2010, no. 4, pp. 12—14. (In Russian)

20. Ruckert J., Schleicher D. On Newton's Method for Entire Functions. *Journal of the London Mathematical Society*. Oxford University press, London, 2007, vol. 76, no. 3, pp. 659—676. DOI: <http://dx.doi.org/10.1112/jlms/jdm102>.

About the authors: **Loktev Dmitry Aleksandrovich** — engineer, Department of Building Structures and Control Systems, Civil Engineering Institute, **Siberian Federal University (SibFU)**, 79 pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; loktevda@gmail.com;

Inzhutov Ivan Semenovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Building Structures and Control Systems, Director, Civil Engineering Institute, **Siberian Federal University (SibFU)**, 79 pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; ivaninzhutov@gmail.com;

Lyakh Nikolay Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Structures and Control Systems, Civil Engineering Institute, **Siberian Federal University (SibFU)**, 79 pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; layx@mail.ru;

Zhadanov Viktor Ivanovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Building Structures, **Orenburg State University (OSU)**, 13 prospekt Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation; organ-2003@bk.ru;

Ermolin Vladimir Nikolaevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Composite Materials Technology and Wood Science, **Siberian State Technological University (SibGTU)**, 82 prospect Mira, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; ermolin@front.ru.

For citation: Loktev D.A., Inzhutov I.S., Lyakh N.I., Zhadanov V.I., Ermolin V.N. Matematicheskaya model' rascheta geometricheskikh parametrov derevyannykh setchatykh svodov s ortogonal'noy setkoy [Mathematical Calculation Model for Geometrical Parameters of Timber Mesh Design with Orthogonal Grid]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 12, pp. 60—69. (In Russian)