

И.А. МАМИЕВА¹, В.В. КАРНЕВИЧ¹

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

ГЕОМЕТРИЯ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК С ЛИНЕЙЧАТЫМИ СРЕДИННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ С ГЛАВНЫМ КАРКАСОМ ИЗ ТРЕХ СУПЕРЭЛЛИПСОВ

Аннотация. Доказано и проиллюстрировано, что имея одинаковый главный каркас поверхности можно построить три разные поверхности переноса велароидального типа. Взяв эти три разные линейчатые поверхности в качестве срединных поверхностей тонких строительных оболочек, можно расширить число архитектурных форм, приемлемых для строительной практики.

Показана возможность определения напряженно-деформированного состояния линейчатых оболочек с рассматриваемыми срединными поверхностями при помощи типового компьютерного комплекса СКАД. Из представленных изополей очевидно, что напряженно-деформированные состояния разных линейчатых оболочек на овальном плане, но с одним и тем же главным каркасом, отличаются незначительно у двух из трех оболочек. При этом было установлено, что данные две оболочки имеют отрицательную гауссову кривизну, а третья – нулевую. Следовательно, искать более оптимальную оболочку по критерию прочности среди двух оболочек с отрицательной гауссовой кривизной не имеет смысла, следует выбирать оболочку по другому критерию, например, по критерию трудоемкости изготовления.

Ключевые слова: тонкая оболочка, метод конечного элемента, линейчатая поверхность, алгебраическая поверхность, главный каркас поверхности, суперэллипс.

I.A. MAMIEVA¹, V.V. KARNEVICH¹

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

GEOMETRY AND STATIC ANALYSIS OF THIN SHELLS WITH RULED MIDDLE SURFACES OF THREE SUPERELLIPSES AS MAIN FRAME

Abstract. The possibility of generating three different translational surfaces of velarodial type by having the same main frame of the surface is proved and illustrated. Using these three different ruled surfaces as middle surfaces of thin shells allows to extend the number of architectural forms in construction practice.

Static analysis of the shells with the middle surfaces under consideration is performed using the SCAD standard finite element software. The results of the analysis of different ruled shells with oval-shaped base, but of the same main frame, imply that the stress, moment and displacement distributions are almost identical in two of the three shells. Moreover, it is established that the Gaussian curvature of these two shells is negative, and is zero in the third one. Therefore, there is no sense in determining the optimal shell in terms of strength out of the two shells with negative Gaussian curvature. Rather, these two shells may be evaluated based on another criterion, for example, complexity of manufacturing.

Keywords: thin shell, finite element method, ruled surface, algebraic surface, main frame of surface, superellipse.

© Мамиева И.А., Карневич В.В., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krivoshapko S.N. Tangential developable and hydrodynamic surfaces for early stage of ship shape design // Ships and Offshore Structures. 2022. Published online: 26 Apr. 2022. Pp. 1-9. doi:10.1080/17445302.2022.2062165.
2. Кривошапко С.Н. Алгебраические судовые поверхности с каркасом из трех плоских кривых в координатных плоскостях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 3. С. 207-212. doi:10.22363/2312-8143-2022-23-3-207-212.

3. Карневич В.В. Построение гидродинамических поверхностей каркасами из кривых Ламе на примере корпуса подводной лодки // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 1. С. 30-37. doi:10.22363/2312-8143-2022-23-1-30-37.
4. Кривошапко С.Н., Алёшина О.О., Иванов В.Н. Статический расчет оболочек, очерченных по поверхностям с главным каркасом из трех заданных суперэллипсов // Строительная механика и расчет сооружений. 2022. № 6. С. 18–27. doi:10.37538/0039-2383.2022.6.18.27.
5. Weisstein E.W. Superellipse. From MathWorld – A Wolfram Web Resource. [Электронный ресурс]. URL: <https://mathworld.wolfram.com/Superellipse.html> (дата обращения: 11.10.2022).
6. Мамиева И.А. Линейчатые алгебраические поверхности с главным каркасом из трех суперэллипсов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 4. С. 387–395. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-4-387-395.
7. Кривошапко С.Н. К вопросу об основных архитектурных стилях, направлениях и стилевых течениях для оболочек и оболочечных структур // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 3. С. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268.
8. Амиров М., Каченюк А.Н. Криволинейное проецирование на поверхности Каталана // Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев, 1971. Вып. 13. С. 118-120.
9. Tocariu L. Stages in the study of cylindroid surfaces // The SORGING Journal. 2007. Vol. 2. No. 1. Pp. 37-40.
10. Сысоева Е.В. Научные подходы к расчету и проектированию большепролетных конструкций // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 2 (101). С. 131–141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141.
11. Goldenveizer A.L. Theory of Elastic Thin Shells. New York: Published by Pergamon Press. 1961. 544 p.
12. Кривошапко С.Н. Два вида расчетных уравнений для оболочек в произвольных криволинейных координатах // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 1. С. 15-22.
13. Григоренко Я.М., Тимонин А.М. Об одном подходе к численному решению краевых задач теории оболочек сложной геометрии в неортогональных криволинейных системах координат // Доклады Академии наук Украинской ССР. 1991. № 4. Вып. 9. С. 41–44.
14. Тупилова Е.М. Анализ метода В.Г. Рекача для расчета напряженно-деформированного состояния длинного пологого косоугольного геликоида // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 1 (264). С. 14-20.
15. Schnobrich W.C. Different methods of numerical analysis of shells // Lect. Notes Eng., 1987. No.26. Pp. 1-17.
16. Noor A.K. Bibliography of books and monographs on finite element technology // AMR. June 1991. Vol. 44. No. 6. Pp. 307-317.
17. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2021. 656 с.
18. Flöry S., Nadai Y., Isvoranu F., Pottmann H., Wallner J. Ruled free form. In L. Hesselgren et al. (eds.), *Advances in Architectural Geometry 2012*, Springer 2012. Pp. 57–66.
19. Ключков Ю.В., Вахнина О.В., Киселева Т.А. Расчет тонких оболочек на основе треугольного конечного элемента с корректирующими множителями Лагранжа // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 5. Pp. 55-59.
20. Flöry S., Pottmann H. Ruled surfaces for rationalization and design in architecture // Proc. ACADIA (Proceedings of the 30th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture). 2010. Pp. 103-109. doi:10.52842/conf.acadia.2010.103.
21. Сальков Н.А. Общие принципы задания линейчатых поверхностей. Часть 2 // Геометрия и графика. 2019. Т. 7. № 1. С. 14–27. doi:10.12737/article_5c9201eb1c5f06.47425839.
22. Maleček Kamil, Szarková Dagmar. A method for creating ruled surfaces and its modifications // KoG. 2002. Vol. 6. No. 6. Pp. 59-66.
23. Ванин В.В., Шамбина С.Л., Вирченко Г.И. Вариантное компьютерное макетирование оболочек на основе полипараметризации их срединных поверхностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 6. С. 3–8.

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N. Tangential developable and hydrodynamic surfaces for early stage of ship shape design // *Ships and Offshore Structures*. Published online: 26 Apr. 2022. Pp. 1-9. doi:10.1080/17445302.2022.2062165.
2. Krivoshapko S.N. Algebraic ship hull surfaces with a main frame from three plane curves in coordinate planes // *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022. Vol. 23. No. 3. Pp. 207-212. doi:10.22363/2312-8143-2022-23-3-207-212. (rus)
3. Karnevich V.V. Generating hydrodynamic surfaces by families of Lamé curves for modelling submarine hulls // *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022. Vol. 23. No. 1. Pp. 30-37. doi:10.22363/2312-8143-2022-23-1-30-37. (rus)

4. Krivoshapko S.N., Aleshina O.O., Ivanov V.N. Static analysis of shells with middle surfaces containing the main frame from three given superellipses // *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2022. No. 6. Pp. 18-27. doi:10.37538/0039-2383.2022.6.18.27. (rus)
5. Weisstein E.W. Superellipse. From MathWorld – A Wolfram Web Resource. [Online]. URL: <https://mathworld.wolfram.com/Superellipse.html> (date of application:11.10.2022).
6. Mamieva I.A. Ruled algebraic surfaces with a main frame from three superellipses // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Vol. 18. No. 4. Pp. 387-395. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-4-387-395. (rus).
7. Krivoshapko S.N. On the basic architectural styles, directions, and style flows for shells and shell structures // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Vol. 18. No. 3. Pp. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268. (rus).
8. Amirov M., Kachenyuk A.N. Curvilinear проектирование on Catalan's surface // *Prikladnaya Geometriya i Inzhenernaya Grafika*. Kiev, 1971. No. 13. Pp. 118-120.
9. Tocariu L. Stages in the study of cylindroid surfaces // *The SORGING Journal*. 2007. Vol. 2. No. 1. Pp. 37-40.
10. Sysoeva E.V. Scientific approaches to calculation and design of large-span structures // *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2017. Vol. 12. No. 2(101). Pp. 131-141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141. (rus).
11. Goldenveizer A.L. *Theory of Elastic Thin Shells*. New York: Published by Pergamon Press, 1961. 544 p.
12. Krivoshapko S.N. Two types of governing equations for shells with the middle surfaces given in arbitrary curvilinear coordinates // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017. No. 1. Pp. 15-22. (rus).
13. Grigorenko Ya.M., Timonin A.M. On one approach to the numerical solution of boundary problems on theory of complex geometry shells in the non-orthogonal curvilinear coordinate systems // *Doklady AN Ukrainskoy SSR [Reports of AS of Ukraine USSR]*, 1991. Vol. 4. No. 9. Pp. 41-44. (rus).
14. Tupikova E.M. Investigation of V.G. Rekach's method of stress-strain analysis of the shell of long shallow oblique helicoid form // *Struct. Mech. and Analysis of Constr.* 2016. No. 1. Pp. 14-19. (rus).
15. Schnobrich W.C. Different methods of numerical analysis of shells // *Lect. Notes Eng.*, 1987. No. 26. Pp. 1-17.
16. Noor A.K. Bibliography of books and monographs on finite element technology // *AMR*. June 1991. Vol. 44. No. 6. Pp. 307-317.
17. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Mikitarenko M.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. *Computing Complex SCAD*. Moscow: SCAD SOFT Publ., 2021. 656 p.
18. Flöry S, Nadai Y., Isvoranu F., Pottmann H., Wallner J. Ruled free form. In L. Hesselgren et al. (eds.), *Advances in Architectural Geometry 2012*, Springer 2012. Pp. 57-66.
19. Klochkov Y.V., Vakhinina O.V., Kiseleva T.A. Calculation of thin shells on the basis of the triangular final element with the correcting Lagrange's coefficients // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2015. No. 5. Pp. 55-59. (rus).
20. Flöry S., Pottmann H. Ruled surfaces for rationalization and design in architecture // *Proc. ACADIA (Proceedings of the 30th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture)*. 2010. Pp. 103-109. doi:10.52842/conf.acadia.2010.103.
21. Sal'kov N.A. Obshchie printsipy zadaniya lineychatykh poverkhnostey. Chast' 2 [General principles of definition of linear surfaces. Part 2]. *Geometriya i grafika [Geometry and Graphics]*, 2019. Vol. 7. No. 1. Pp. 14-27. doi:10.12737/article_5c9201eb1c5f06.47425839. (rus).
22. Maleček Kamil, Szarková Dagmar. A method for creating ruled surfaces and its modifications. *KoG*, 2002. Vol. 6. No. 6. Pp. 59-66.
23. Vanin V.V., Shambina S.L., Virchenko G.I. Variant computer shell prototyping based on polyparameterization of middle surfaces // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2015. No. 6. Pp. 3-8. (rus).

Информация об авторах:

Мамиева Ираида Ахсарбеговна

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия,
ассистент департамента строительства инженерной академии.
E-mail: i_mamieva@mail.ru

Карневич Валерий Вячеславович

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия,
аспирант департамента строительства инженерной академии.
E-mail: valera.karnevich@gmail.com

Information about authors:

Mamieva Iraida A.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
assistant of the department of Civil Engineering, Academy of Engineering.

E-mail: i_mamieva@mail.ru

Karnevich Valery V.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
PhD student of the department of Civil Engineering, Academy of Engineering.

E-mail: valera.karnevich@gmail.com