

S.V. STRASHNOV¹, S.M. MABHENA¹, L.A. ALBOROVA¹

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

FOLDED SURFACES IN ARCHITECTURE

Abstract. *There is now a growing interest in the design and construction of shells whose median surfaces cannot be defined by analytic formulas, i.e. it is difficult to apply geometric modeling, and shell structures of the folded type formed by the intersection of flat or curvilinear elements. These structures are executed in the style of digital architecture or experimental methods. Based on the research of descriptive and analytical geometry, architects in the 20th and early 21st century created many memorable folded structures of various purposes. This is illustrated in the article on the example of many flat-sided structures. The illustrations found on the Internet and the author's personal photos were used. Based on the carried-out research it is concluded that flat-sided folds were used very widely in various fields of architecture and construction. The availability of numerical methods of calculation makes it possible to design structures of various degrees of complexity. This is confirmed by references to numerous sources used. However, some architects disagree with this conclusion, believing that despite many attempts on folding, it remains one of the least studied forms in architecture.*

Keywords: *folded squamous structures, polyhedra, folding dome, folding vault, experimental approach in architecture, architectural trend "Organic architecture".*

С.В. СТРАШНОВ¹, С.М. МАБЕНА¹, Л.А. АЛБОРОВА¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

СКЛАДЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ

Аннотация. *В настоящее время поднялся интерес к проектированию и строительству оболочек, срединные поверхности которых нельзя задать аналитическими формулами, то есть трудно применить геометрическое моделирование, и оболочечных структур складчатого типа, сформированными пересечением плоских или криволинейных элементов. Эти сооружения выполняются в стиле цифровой архитектуры или применяются экспериментальные методы. Опираясь на исследования начертательной и аналитической геометрий, архитекторы в XX-ом и начале XXI-го веков создали много запоминающихся складчатых сооружений различного назначения. Это проиллюстрировано в статье на примере многих плоскогранных сооружений. Использовались иллюстрации, обнаруженные в сети интернета, и личные фотографии автора. На основании проведенных исследований сделан вывод, что плоскогранные складки применялись и применяются очень широко в различных областях архитектуры и строительства. Наличие численных методов расчета позволяет проектировать структуры различной степени сложности. Это подтверждено ссылками на многочисленные использованные источники. Но с этим выводом не согласны некоторые архитекторы, считающие, что, несмотря на множественные попытки осмысления складки, она по-прежнему остаётся одной из наименее изученных форм в архитектуре.*

Ключевые слова: *складчатые плоскогранные структуры, многогранники, складчатый купол, складчатый свод, экспериментальный подход в архитектуре, архитектурное течение «Organic architecture».*

© Страшинов С.В., Мабена С.М., Алборова Л.А., 2022

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 3. Pp. 125-134 [DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-125-134].
2. Rudnov V.S., Vladimirova E.V., Domanskaya I.K., Gerasimova E.S. Building Materials and Structures. Edited by I.K. Domanskaya. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta, 2018. 203 p. [ISBN 978-5-7996-2352-4]
3. Mamieva I.A., Razin A.D. Prominent space structures in the form of conical surfaces. *Promishlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*. 2017. № 10. Pp. 5-11.
4. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics// *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p. [DOI: 10.1007/978-3-319-11773-7].
6. Krivoshapko S.N. Shells and rod structures in the form of analytically nongiven surfaces in modern architecture. *Building and Reconstruction*. 2020. № 3. Pp. 20-30 [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30].
7. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No 1. Pp. 150-165 (in Russian).
8. Yarmosh T.S., Hrabatina N.V., Miroshnichenko V.V. The folded structure prospects for the development of new forms. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2016, № 12. Pp. 71-75 [DOI: 10.12737/22829].
9. Krivoshapko S.N. Polyhedra and quasi- polyhedra in architecture of civil and industrial erection // *Building and Reconstruction*. 2020. № 4 (90). Pp. 48-64 [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64] (in Russian).
10. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Folded structures in modern architecture// *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2012. Vol. 10. No 1. Pp. 1-16 [DOI: 10.2298/FUACE1201001S].
11. Krivoshapko S.N., Shtikov A.G., Shabanov V.P. Changing torse shells by plane elements // *Voенно-Stroitelnyy Byulleten*. 1982. № 2. Pp. 16-18.
12. Krivoshapko S.N. Construction of developments of torses and folds // *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo i Architekturye*. 1987. № 11. Pp. 114-116.
13. Wenninger M. Polyhedron Models. Cambridge: Cambridge University Press, 1971. 238 p.
14. Kirichkov I.V. Precondition of origin of folded forming in architecture // *Architecture and Design*. 2018. № 1. Pp 7-18 [DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27423].
15. Ermolenko E.V. Forms and constructions on the architecture of the soviet avant-garde and their interpretation in modern foreign practice // *Academia. Architecture and Construction*. 2020. № 1. Pp. 39-48 [DOI 10.22337/2077-2020-1-39-48].
16. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Formation of folded constructions by using contemporary wooden trusses // *Journal of Applied Engineering Science*. 9(2011)2. 195. Pp. 297-304.
17. Andreas Falk, Peter von Buelow, Poul Henning Kirkegaard. Folded plate structures as building envelopes // World Conference on Timber Engineering (WCTE). Auckland. New Zealand. 15 - 19 July 2012. Session 50, Future trends 4. Pp. 155-164.
18. Albertus Sidharta Muljadinata and A. M. Subakti Darmawan. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. April 2016., Vol. 11. No. 7. Pp. 4782-4792. [ISSN 1819-6608].
19. Vlasov V.Z. Izbrannie Trudy. Vols. I-III. Moscow: Nauka, 1964. .
20. Goldberg J.E., and Leve H.L. Theory of Prismatic Folded Plate Structures. IABSE, 1957. V. 17.
21. Song Myung-Kwan, Kim Kyeong-Ho, Kim Sun-Hoon. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures// *Structural Engineering and Mechanics*. September 2006. V. 24. N. 2. Pp. 269-273 [https://doi.org/10.12989/sem.2006.24.2.269].
22. Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a combined boundary element-transfer matrix method// *Computers & Structures*. January 1991. V. 41. N. 4. Pp. 739-744. [https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90183-m].
23. Ivanov S.P. Analysis of a non-linear plate system by a variational energy method of V.Z. Vlasov. *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo*. 2002. № 6. Pp. 23-29.
24. Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures// *J. Vib. Acoust.* Oct 1996, 118(4): 591-598 [https://doi.org/10.1115/1.2888339]
25. Korotich A.V. Prospects of development of architecture of folded covers. *Akademicheskyy Vestnik URALNIIPROEKT RAASN*. 2010/ 2. Pp. 47-49.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко С.Н., Алборова Л.А., Мамиева И.А. Оболочечные структуры: генезис, материалы и подвиды. Часть 1: Подвиды и направления// *Academia. Архитектура и строительство*. 2021. № 3. С. 125-134 [DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-125-134].
2. Руднов В.С., Владимиров Е.В., Доманская И.К., Герасимова Е.С. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие. Под общ. ред. доц., канд. техн. наук И.К. Доманской. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 203 с. [ISBN 978-5-7996-2352-4]
3. Мамиева И.А., Разин А.Д. Знаковые пространственные сооружения в форме конических поверхностей// *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 10. С. 5-11.
4. Nyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics// *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2.Iss. 3. Pp. 799-806.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. *Encyclopedia of Analytical Surfaces*. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p. [DOI: 10.1007/978-3-319-11773-7].
6. Кривошапко С.Н. Оболочки и стержневые структуры в форме аналитически задаваемых поверхностей в современной архитектуре // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 3. С. 20-30. [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30].
7. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 150-165.
8. Ярмош Т.С., Храбатина Н.В., Мирошниченко В.В. Складчатые конструкции. Перспективы развития новых форм // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. №12. С. 71-75. [DOI: 10.12737/22829].
9. Кривошапко С.Н. Многогранники и квазимногогранники в архитектуре гражданских и промышленных сооружений // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 4 (90). С. 48-64. [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64].
10. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Folded structures in modern architecture// *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2012. Vol. 10. No 1. Pp. 1-16 [DOI: 10.2298/FUACE1201001S].
11. Кривошапко С.Н., Штыков А.Г., Шабанов В.П. Замена торсовых оболочек плоскими элементами // *Военно-строительный бюллетень*. 1982. №2. С. 16-18.
12. Кривошапко С.Н. Построение разверток торсов и складок // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1987. № 11. С. 114-116.
13. Веннинджер М. Модели многогранников. Пер. с англ. М.: «Мир», 1974. 238 с.
14. Киричков И.В. Предпосылки возникновения складчатого формообразования в архитектуре// *Архитектура и дизайн*. 2018. № 1. С. 7-18. [DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27423].
15. Ермоленко Е.В. Формы и построения в архитектуре советского авангарда и их интерпретация в современной зарубежной практике // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 39-48. [DOI: 10.22337/2077-2020-1-39-48].
16. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Formation of folded constructions by using contemporary wooden trusses // *Journal of Applied Engineering Science*. 9(2011)2. 195. Pp. 297-304.
17. Andreas Falk, Peter von Buelow, Poul Henning Kirkegaard. Folded plate structures as building envelopes// *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*. Auckland. New Zealand. 15 - 19 July 2012. Session 50, Future trends 4. Pp. 155-164.
18. Albertus Sidharta Muljadinata and A. M. Subakti Darmawan. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure// *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. APRIL 2016. Vol. 11. N. 7. Pp. 4782-4792. [ISSN 1819-6608].
19. Власов В.З. Избранные труды. Т. I-III. М.: Наука, 1964.
20. Goldberg J.E., and Leve H.L. *Theory of Prismatic Folded Plate Structures*. IABSE, 1957. V. 17.
21. Song Myung-Kwan, Kim Kyeong-Ho, Kim Sun-Hoon. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures// *Structural Engineering and Mechanics*. September 2006. V. 24, N. 2. Pp. 269-273. [https://doi.org/10.12989/sem.2006.24.2.269].
22. Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a combined boundary element-transfer matrix method// *Computers & Structures*. January 1991. V. 41, N. 4. Pp. 739-744. [https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90183-m].
23. Иванов С.П. Расчет нелинейных пластинчатых систем вариационным методом В.З. Власова // *Известия вузов. Строительство*. 2002. № 6. С. 23-29.
24. Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures // *J. Vib. Acoust.* Oct 1996, 118(4): 591-598 [https://doi.org/10.1115/1.2888339]
25. Коротич А.В. Перспективы развития архитектуры складчатых оболочек // *Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН*. 2010. 2. С. 47-49.

Информация об авторах:

Страшнов Станислав Викторович

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой общеобразовательных дисциплин.
E-mail: shtrafnoy@gmail.com

Мабена Сиканьисиве Мерси

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
магистрант департамента строительства.
E-mail: mabhenasikha@gmail.com

Алборова Лана Анатольевна

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
магистрант департамента архитектуры.
E-mail: dikko@yandex.ru

Information about authors:

Strashnov Stanislav V.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
candidate of Technical Sciences, Head of the General Education Courses Department.
E-mail: shtrafnoy@gmail.com

Mabhena Sikhanyisiwe Mercy

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
master's degree student of the Department of Civil Engineering.
E-mail: mabhenasikha@gmail.com

Alborova Lana An.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
master's degree student of the Department of Architecture.
E-mail: dikko@yandex.ru