

GIL-OULBE MATHIEU¹¹Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

RESERVE OF ANALYTICAL SURFACES FOR ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Abstract. After a period of relative calm in the construction and design of thin-walled large-span shells and network multilayer shell structures, which, according to the world's leading architects, began in the 1980 s, the time has come for the expanded use of spatial structures in the architecture of public and industrial buildings. Less commonly, shells are used in small-sized housing construction: ecological villages, noospheric and bionic architecture. The entire 20th century did not stop research on the development of analytical and numerical methods for analyzing shells for strength and stability, for the creation of new building materials. Geometers have created and studied more than 600 analytical surfaces that can be mistaken for the mid-surfaces of civil and mechanical engineering shells. As a result, by the beginning of the 21st century, architects and engineers had all the necessary tools to continue the traditions of the "golden age of shells". The analysis of problems with the use of new forms in parametric architecture, carried out in the article, showed that more than ten classes of surfaces from their classification have not yet found application in architecture and mechanical engineering. It is assumed that the number of applied classes of surfaces will not expand, and new ideas for the shaping of shells will be based on the use of already well-known surfaces, namely, surfaces of revolution, transfer, umbrella, minimal, ruled and wavy surfaces. Mainly, shell structures will be designed taking into account environmental, energy-saving requirements and transforming structures.

Keywords: analytical surfaces, surface classification, thin shells, shell architecture, shells in mechanical engineering, parametric architecture.

ЖИЛЬ-УЛБЕ МАТЬЕ¹¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

РЕЗЕРВ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. После периода относительного затишья в строительстве и проектировании тонкостенных большепролетных оболочек и стержневых многослойных оболочечных структур, который по мнению ведущих архитекторов мира начался в 1980-е годы, наступило время расширенного применения пространственных структур в архитектуре общественных и промышленных зданий. Реже оболочки применяются в малогабаритном жилищном строительстве: экологические деревни, ноосферная и бионическая архитектура. Весь 20-й век не прекращались исследования по развитию аналитических и численных методов расчета оболочек на прочность и устойчивость, по созданию новых строительных материалов. Геометры создали и изучили более 600 аналитических поверхностей, которые могут быть приняты за срединные поверхности оболочек строительного и машиностроительного назначения. В итоге к началу 21-го века архитекторы и инженеры имели весь набор необходимых средств для продолжения традиций «золотого века оболочек». Анализ проблем с применением новых форм в параметрической архитектуре, проведенный в статье, показал, что более десяти классов поверхностей из их классификации не нашел еще применения в архитектуре и машиностроении. Сделано предположение, что число применяемых классов поверхностей не будет расширяться, а новые идеи формообразования оболочек будут базироваться на использовании уже хорошо известных поверхностей, а именно, поверхностей вращения, переноса, зонтичных, минимальных, линейчатых и волнообразных поверхностей. В основном будут проектироваться оболочечные структуры с учетом экологических, энергосберегающих требований и трансформирующиеся структуры.

Ключевые слова: аналитические поверхности, классификация поверхностей, тонкие оболочки, архитектура оболочек, оболочки в машиностроении, параметрическая архитектура, перспективы применения оболочек.

REFERENCES

1. Krsić Sonja. *Geometrijske površi u arhitekturi*. Građevinsko- arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš, 2012. 238 p.
2. Yakupov N.M., Galimov Sh.K., Hismatullin N.I. *Ot Kamennyh Glyb to Tonkostennym Konstruktsiyam* [From Boulders to Thin-Walled Structures]. Kazan: Izd-vo SOS, 2001. 96 p. (in Russian).
3. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., Tripeny P. Special structures. Past, present, and future. *Journal of Structural Engineering*. June 2002. Pp. 691-701 [DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
4. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the XXIst century. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. No. 6. Pp. 472-480.
5. Bratukhin A.G., Sirotkin O.S., Sabodash P.F., Egorov V.N. *Materials of Future and their unique Properties*. Moscow: "Mashinostroenie", 1995. 126 p. [ISBN 5-217-02739-8].
6. 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].
7. Mamieva I.A. On training of personnel for architecture, geometry, and analysis of large-span space structures and shells. *Building and Reconstruction*. 2016. No.5 (67). Pp. 114-118 (in Russian).
8. Alyoshina O.O. Researches on geometry and analysis of tangential developable shells of equal slope. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2019. No.3. Pp. 63-70.
9. Ivanov V.N., Romanova V.A. *Constructive Forms of Spatial Structures (Visualization of Surfaces in MathCad, AutoCad)*. Moscow: ASV Publ., 2016. 412 p. ISBN 987-5-4323-0179-6 (rus)
10. Rynkovskaya M.I. Application of Runge-Kutt method and running tri-diagonal matrix for open helicoidal shell calculation. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2014. No. 3. Pp. 77-80.
11. Tupikova E.M. Choice of optimal shell covering on square plan in the form of a translational surface. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019. 15(No. 5). Pp. 367-373.
12. Parametrische Flächen und Körper. <http://www.3d-meier.de/tut3/>
13. Eric W. Weisstein. Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com>
14. Druzhinskiy I.A. *Complex Surfaces: Mathematical and Technological Description*: Reference Book. Leningrad: "Mashinostroenie", 1985, 263 p.
15. Krivoshapko S.N. New analytical forms of surfaces as applied to metal art products. *Technologiya Mashinostroeniya*. 2006. No. 7. Pp. 49-51 (in Russ.).
16. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures. *Building and Reconstruction*. 2019. No.5(85). Pp. 23-34.
17. Mamieva I.A., Razin A.D. Parametrical architecture in Moscow. *Architecture and construction of Russia*. 2014. 6. Pp. 25–29 [https://elibrary.ru/download/elibrary_21614483_57957742.pdf] (rus)
18. Grinko E.A. Classification of analytical surfaces as applied to parametrical architecture and machine building. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2018. 19(4). Pp. 438-456 <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2018-19-4-438-456> (rus)
19. Mamieva I.A., Razin A.D. Landmark spatial structures in the form of conic surfaces. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2017. No. 10. Pp. 5-11 (in Russ.).
20. Krivoshapko S.N. Shells of revolution of non-trivial forms. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitelstvo*. 2018. No. 7(715). Pp. 66-79 (rus).
21. Krivoshapko S.N. A simplified criterion of optimality for shells of revolution. *The Privolzhsky Scientific Journal*. 2019. No. 4. Pp.108-116.
22. Krivoshapko Sergey N. The opportunities of umbrella-type shells. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020. Vol. 16. No. 4. Pp. 271-278 [DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-4-271-278].
23. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. *Geometry, Analysis, and Design of the Structures in the Form of Cyclic Surfaces: Review information*. Ser. "Building Materials and Structures", Iss. 2. Moscow: OAO «VNIINTPI», 2010. 61 p.
24. Burlov V.V., Nesterenko L.A., Remontova L.V., Orlov N.S. [3D-simulation of the second order surfaces](#). *Geometry and Graphics*. 2016. No.4 (4). Pp. 48-59.
25. Rynkovskaya M.I. Analysis and application of helicoidal shells. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2009. No 3. Pp. 113-116.
26. Mamieva I.A. Analytical surfaces for children playgrounds. *Biosfernaya Sovmestimost': Chelovek, Region, Tekhnologii [Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies]*. 2021. No.1. Pp. 92-100 [DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100].
27. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells. *Applied Mechanics Reviews (USA)*. Vol. 52. No. 5. May 1999. Pp. 161-175 [DOI: 10.1115/1.3098932 EID: 2-s2.0-0032639253].
28. Alborova L.A. Minimal surfaces in building and architecture. *Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: human, region, technologies]*. 2021. No.1. Pp.3-11. (In Russian). DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11.

29. Berestova S.A, Misyura N.E., Mityushov E.A. Geometry of self-bearing covering on rectangular plan. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017. (4). Pp15 - 18 [DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-15-18]
30. Mihailescu M., Horvath I. Velaroidal shells for covering universal industrial halls. *Acta techn. Acad. sci. hung.* 1977, No.85 (1-2). Pp. 135-145.
31. Gbaguidi Aïssè G.L. Influence of the geometrical researches of surfaces of revolution and translation surfaces on design of unique structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019. No.15(4). Pp. 308-314 [DOI 10.22363/1815-5235-2019-15-4-308-314].
32. Karnevich V.V. Hydrodynamic surfaces with midsection in the form of Lamé curve. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021. № 4. Pp. 238-243.
33. Djashiashvili T.G., Karagashev D.A. A method of analysis of frequencies of natural vibrations of metal spiral camera. *Investigation of Rational and economic structures hydro-and-heat-and-power engineering erections for mountain conditions* (GruzNIEGS). Moscow: 1992. Pp. 135-145.
34. Gafurova Yu.F., Filipova E.R., Krivoschapko S.N. Monge's surface and solution of volumetrically-planning composition of a gallery. *Nauchnomu Progressu – Tvorchestvo Molodyh* [Creative Works of Youth for Scientific Progress]. Materials of the IX Int. Youth Scientific Conf. on Natural and Techn. Branches of Science. in 3 parts. Povolzhskiy Gosudarstvenniy Tehnologicheskiy Universitet. 2014. Pp. 163-165.
35. Grinko E.A. Surfaces of plane-parallel transfer of congruent curves. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2021. No.3. Pp. 71–77. (In Russian) DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.71.77
36. Neporada V.I. Velaroidal shells in non-linear architecture. *Mathematical Methods in Architecture and Design*: Conference papers (May 15, 2012). Editor V.G. Mosin. Samara: SGASU, 2013. Pp. 23-31.
37. Magdalena Toda. Weierstrass-type representation of weakly regular pseudospherical surfaces in Euclidean space. *Balkan Journal of Geometry and Its Applications*. 2002. Vol.7. No.2. Pp. 87-136.
38. Boris Rubinstein, Leonid Fel. Stability of unduloidal and nodoidal menisci between two solid spheres. *J. Geom. Symmetry Phys.* 2015. No.39. Pp. 77 - 98 [https://doi.org/10.7546/jgsp-39-2015-77-98].
39. Buhtyak M.S. Составная поверхность, близкая к псевдоминимальной. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i Mekhanika*. 2017. No.46. Pp. 5-24 (In Russian).
40. Nassar H. Abdel-All, R.A. Hussien and Taha Youssef. Hasimoto surfaces. *Life Science Journal*. 2012. 9(3). Pp. 556-560.
41. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametric architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 150-165.
42. Korotich A.V. Innovative solutions of architectural shells: the alternative for traditional building. *Akademicheskii Vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2015. No. 4. Pp. 70-75 (in Russian).
43. 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. No. 1. Pp. 39-48 [DOI 10.22337/2077-2020-1-39-48].
44. Azant Sadat Mozhdemani, Reza Afhani. Using ecotech architecture as an effective tool for sustainability in construction industry. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2017. Vol. 7. No. 5. Pp. 1914-1917 [https://doi.org/10.48084/etasr.1230].
45. Bondarenko I.A. On the appropriateness and moderation of architectural innovation. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2020. No. 1. Pp. 13-18 (in Russian).
46. Ivanov V.N., Grinko E.A. Magistrate “Civil Engineering” on specialization “Architecture, Geometry, and Strength Analysis of Large-Span Space Structures and Shells”. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2013. No. 2. Pp. 77-80.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krsić Sonja. Geometrijske površi u arhitekturi. – Građevinsko- arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš, 2012. 238 c.
2. Якупов Н.М., Галимов Ш.К., Хисматуллин Н.И. От каменных глыб к тонкостенным конструкциям. Казань: Изд-во SOS, 2001. 96 с.
3. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future// *Journal of Structural Engineering*. June 2002. P. 691-701 [DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
4. Krivoschapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the XXIst century // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2021. № 6. С. 472-480.
5. Братухин А.Г., Сироткин О.С., Сабодаш П.Ф., Егоров В.Н. Материалы будущего и их удивительные свойства. М.: «Машиностроение», 1995. 126 с. [ISBN 5-217-02739-8].
6. Krivoschapko S.N., Ivanov V.N. *Encyclopedia of Analytical Surfaces*. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p. [DOI: 10.1007/978-3-319-11773-7].
7. Мамиева И.А. О подготовке специалистов по архитектуре, геометрии и расчету большепролетных пространственных структур и оболочек // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 5 (67). С. 114-118.

8. Алёшина О.О. Исследования по геометрии и расчету торсовых оболочек одинакового ската // Строительная механика и расчет сооружений. 2019. №3. С. 63-70.
9. Иванов В.Н., Романова В.А. Конструкционные формы пространственных конструкций. Визуализация поверхностей в системах MathCad, AutoCad: Монография. М.: Изд-во АСВ, 2016. 412 с. [ISBN 987-5-4323-0179-6].
10. Рынковская М.И. Применение метода Рунге-Кутты и метода прогонки к расчету длинного пологого торса-геликоида // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 3. С. 77-80.
11. Тупикова Е.М. Выбор оптимальной оболочки покрытия на квадратном плане в виде поверхности переноса// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 5. С. 367-373.
12. Parametrische Flächen und Körper. <http://www.3d-meier.de/tut3/>
13. Eric W. Weisstein. Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com>
14. Дружинский И.А. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое описание. Л.: Машиностроение, 1985. 263 с.
15. Кривошапко С.Н. Новые аналитические формы поверхностей применительно к металлическим художественным изделиям // Технология машиностроения. 2006. № 7. С. 49-51.
16. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures // Строительство и реконструкция. 2019. № 5(85). С. 23-34.
17. Мамиева И.А., Разин А.Д. Параметрическая архитектура в Москве// Архитектура и строительство России. 2014. № 6. С. 24-29.
18. Гринько Е.А. Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Том 19. № 4. С. 438-456.
19. Мамиева И.А., Разин А.Д. Знаковые пространственные сооружения в форме конических поверхностей// Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 5-11.
20. Кривошапко С.Н. Оболочки вращения неканонических форм// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 7(715). С. 66-79.
21. Кривошапко С.Н. Упрощенный критерий оптимальности для оболочек вращения// Приволжский научный журнал. 2019. № 4. С.108-116.
22. Krivoshapko Sergey N. The opportunities of umbrella-type shells [Возможности оболочек зонтичного типа] // [Строительная механика инженерных конструкций и сооружений](#). 2020. Т. 16. № 4. С. 271-278 [DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-4-271-278].
23. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Геометрия, расчет и проектирование конструкций в форме циклических поверхностей: Обзорная информация. Сер. «Строительные материалы и конструкции», вып. 2. М.:ОАО «ВНИИТПИ», 2010. 61 с.
24. Бурлов В.В., Нестеренко Л.А., Ремонтова Л.В., Орлов Н.С. [3D-моделирование поверхностей 2-го порядка](#)// Геометрия и графика. 2016. Том 4. № 4. С. 48-59.
25. Рынковская М.И. Расчет и применение геликоидальных оболочек// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2009. № 3. С. 113-116.
26. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для детских площадок// Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. №1. С. 92-100 [DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100].
27. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells// Applied Mechanics Reviews. Vol.52. No 5. May 1999. P. 161-175 [DOI: 10.1115/1.3098932 EID: 2-s2.0-0032639253].
28. Алборова Л.А. Минимальные поверхности в строительстве и архитектуре// Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. №1. С. 3-11 [DOI: 10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11].
29. Берестова С.А., Мисюра Н.Е., Митюшов Е.А. Геометрия самонесущих покрытий на прямоугольном плане// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 4. С. 15 - 18 [DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-15-18].
30. Mihailescu M., Horvath I. Velaroidal shells for covering universal industrial halls// Acta techn. Acad. sci. hung. 1977, 85 (1-2). P. 135-145.
31. Gbaguidi Aïssè G.L. Influence of the geometrical researches of surfaces of revolution and translation surfaces on design of unique structures// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. 15(4). Рр. 308-314 [DOI 10.22363/1815-5235-2019-15-4-308-314].
32. Карневич В.В. Гидродинамические поверхности с мидельшпагоутом в форме кривых Ламе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». 2021. № 4. С. 238-243.
33. Джашиашвили Т.Г., Карагашев Д.А. Методика расчета частот собственных колебаний металлической спиральной камеры// Исследование рациональных и экон. конструкций гидро- и теплоэнерг. сооружений для горных условий (ГрузНИИЭГС). М.: 1992. С. 135-145.
34. Гафурова Ю.Ф., Филипова Е.Р., Кривошапко С.Н. Поверхность Монжа как решение объемно-планировочной композиции галереи// Научному прогрессу – творчество молодых. Материалы IX

Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 3 частях. Поволжский государственный технологический университет. 2014. С. 163-165.

35. Гринько Е.А. Поверхности плоскопараллельного переноса конгруэнтных кривых // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 3. С. 71–77 [DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.71.77].

36. Непорада В.И. Велароидальные оболочки в контексте нелинейной архитектуры// Математические методы в архитектуре и дизайне: Материалы межвузовской научной конференции (15 мая 2012 года) / отв. Ред. В.Г. Мосин. Самара: СГАСУ, 2013. С. 23-31.

37. Magdalena Toda. Weierstrass-type representation of weakly regular pseudospherical surfaces in Euclidean space // Balkan Journal of Geometry and Its Applications. 2002. Vol.7. No.2. Pp. 87-136.

38. Boris Rubinstein, Leonid Fel. Stability of unduloidal and nodoidal menisci between two solid spheres // J. Geom. Symmetry Phys. 2015. № 39. С. 77 - 98 [https://doi.org/10.7546/jgsp-39-2015-77-98].

39. Бухтяк М.С. Составная поверхность, близкая к псевдоминимальной// Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2017. № 46. С. 5-24.

40. Nassar H. Abdel-All, R.A. Hussien and Taha Youssef. Hasimoto surfaces// Life Science Journal. 2012. 9(3). P. 556-560.

41. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях// Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 150-165.

42. Коротич А.В. Инновационные решения архитектурных оболочек: альтернатива традиционному строительству// Академический Вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 4. С. 70-75.

43. 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].

44. Azant Sadat Mozhdemani, Reza Afhani. Using ecotech architecture as an effective tool for sustainability in construction industry// Engineering, Technology & Applied Science Research. 2017. Vol. 7. No. 5. Pp. 1914-1917 [https://doi.org/10.48084/etasr.1230].

45. Бондаренко И.А. Об уместности и умеренности архитектурных новаций // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 13-18.

46. Иванов В.Н., Гринько Е.А. Магистратура по направлению «Строительство». Специализация «Архитектура, геометрия и расчет большепролетных пространственных структур и оболочек» // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. № 2. С. 77-80.

Information about author:

GIL-OULBE Mathieu

Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia,
PhD, associate professor of the department of civil engineering.

E-mail: giloulbem@mail.ru

Информация об авторе:

Жиль-улбе Матье

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент департамента «Строительство».

E-mail: giloulbem@mail.ru