

Расчет тонких оболочек

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ НА ПРОЧНОСТЬ ТОНКИХ ЛИНЕЙЧАТЫХ ВИНТОВЫХ ОБОЛОЧЕК

М.И. РЫНКОВСКАЯ, канд. техн. наук, доцент
Российский университет дружбы народов,
115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

В статье представлен обзор существующих методов расчета на прочность линейчатых тонких винтовых оболочек пяти типов: прямой, косой, развертывающийся, конволютный и псевдо-развертывающийся геликоиды. Даются рекомендации по дальнейшим исследованиям в этой области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линейчатые винтовые оболочки, прямой геликоид, косой геликоид, эвольвентный геликоид, конволютный геликоид, псевдо-развертывающийся геликоид, напряженно-деформируемое состояние, линейная теория оболочек.

В соответствии с [1] известны пять типов обыкновенных линейчатых винтовых поверхностей: прямой, косой, развертывающийся, конволютный и псевдоразвертывающийся геликоиды. Однако, в большинстве источников при рассмотрении винтовых линейчатых поверхностей упоминаются только три поверхности: прямой, косой и развертывающийся (эвольвентный) геликоиды.

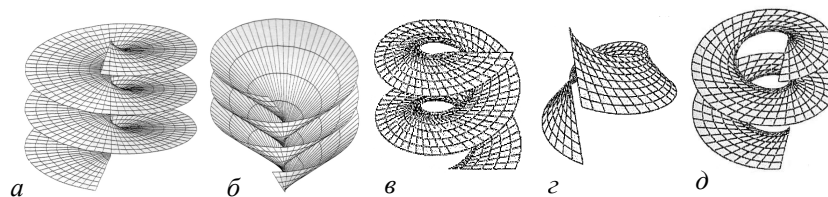


Рис. 1. Типы линейчатых винтовых поверхностей:
а – прямой геликоид; б – косой геликоид; в – развертывающийся геликоид;
г – конволютный геликоид; д – псевдо-развертывающийся геликоид

Прямым геликоидом называется винтовая линейчатая поверхность, описываемая прямой, которая пересекает ось геликоида под прямым углом, вращается с постоянной угловой скоростью вокруг этой оси и одновременно перемещается поступательно с постоянной скоростью вдоль этой же оси. Скорости этих движений пропорциональны. Если подъем сопутствует вращению вокруг оси против часовой стрелки, то прямой геликоид называется *правосторонним*, в противном случае – *левосторонним* (рис. 1, а).

Косым (наклонным) геликоидом называется винтовая линейчатая поверхность (рис. 1, б), описываемая прямой, которая пересекает ось геликоида под постоянным углом α , не равным 90° , вращается с постоянной угловой скоростью вокруг этой оси и одновременно перемещается поступательно с постоянной скоростью вдоль этой же оси. Скорости этих движений пропорциональны.

Развертывающимся геликоидом (торсом-геликоидом) называется торсовая поверхность, образованная касательными к винтовой линии постоянного шага на круговом цилиндре (рис. 1, в).

Конволютный геликоид образовывается прямой линией, которая движется в пространстве, пересекаясь с винтовой линией и касаясь боковой поверхности прямого кругового цилиндра. Ось винтовой линии и цилиндра совпадают, а образующая прямая и ось скрещиваются не под прямым углом (рис. 1, г).

Псевдо – развертывающийся геликоид (рис. 1, д) образовывается проекциями касательных винтовой линии постоянного шага на плоскость, перпенди-

кулярную к оси винтовой линии. Эта поверхность является частным случаем *конволютного геликоида*.

На сегодняшний день наиболее полные обзоры по геометрии, расчету и применению винтовых оболочек общего вида представил С.Н. Кривошапко [2, 3], а обзор для линейчатых винтовых оболочек приведен в работе [4], где, в частности, показано, что геометрия всех пяти типов геликоидов достаточно хорошо изучена. В то же время не все типы линейчатых винтовых оболочек применяются на практике, что связано в ряде случаев с недостаточной информированностью исследователей о состоянии дел в области определения напряженно-деформированного состояния этих оболочек.

В машиностроении прямой, косой, развертывающийся и конволютный геликоиды применяются часто, однако, их прочность определяется в большинстве случаев на основании экспериментов, в частности, благодаря относительно небольших размеров применяемых винтов, шнеков и резьб. Книга Д. Тейлора [5] и статья Д.Ю. Панова [6] были первыми двумя работами, посвященными расчету на прочность прямых геликоидальных оболочек применительно к машиностроению. Прямые геликоиды применяемые в машиностроении обычно называют стержнями (полосами) с начальной закруткой.

В строительстве применяется в основном прямой геликоид, расчетами на прочность которого занимались Л.И. Соломон, Рекач В.Г., J.W. Cohen, С.Я. Колтунов [7], A.W. Leissa, Hirashima Masaharu [8] и многие другие.

Что касается расчета косых геликоидов, то здесь известны только работы В.Г. Рекача [9], А.Р. Ярошенко [10] и Е.М. Тупиковой [11], причем В.Г. Рекач не довел свои теоретические выкладки до числового результата.

Немного лучше обстоят дела с методиками расчета торсов-геликоидов (рис. 1, в). Аналитические методы расчета были доведены до числа в работах Кумудини Джаваярдены и С.Н. Кривошапко [12], численные методы были реализованы Баджорией Г.Ч. и С.Б. Косицыным.

Проблемы прочности псевдоразвертывающегося геликоида поднимал в своих работах только С.М. Халаби [13].

Пятая обыкновенная винтовая линейчатая поверхность – конволютный геликоид – изучалась только геометрами [14] и В.С. Люкшин [15] использовал ее при проектировании режущих инструментов.

Заключение.

Было бы заманчиво получить систему расчетных уравнений, применимых одновременно ко всем пяти типам линейчатых геликоидов, и найти методику получения их решений. Возможно, такой подход вполне реализуем, так как все типы геликоидов получают простым винтовым движением прямой линии вокруг оси геликоида.

Л и т е р а т у р а

1. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 560с.
2. *Krivoshapko S.N.* Geometry and strength of general helicoidal shells// Applied. Mechanics Reviews. – 1999. – Vol. 52, No 5. – P. 161-175.
3. *Кривошапко С.Н.* Расчет и проектирование винтообразных конструкций, применяемых в строительстве и строительных машинах. – Обзорная информация. – М.: РОССТРОЙ России, ВНИИНТПИ, 2006. – Вып. 1-2. – Сер. «Строительные конструкции и материалы». – 68 с.
4. *Рынкoвская М.И.* Применение и расчет геликоидальных оболочек в архитектуре и строительстве// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2012. – № 4. – С. 84-90.
5. *Taylor D.W.* The Speed and Power of Ships. – Ransdell Incorporated, Washington D.C.. 1933. – 130 p.
6. *Панов Д.Ю.* Расчет воздушного винта на прочность. – Тр. ЦАГИ. – 1937. – Вып. 288.

7. Колтунов С.Я. К расчету напряженного состояния в конечных геликоидальных оболочках// Известия АН СССР, МТТ. – 1980. - № 6. – С. 149-152.
8. Hirashima Masaharu, Iura Masashi. A geometrically nonlinear theory of right helicoidal shells// “Theor. and Appl. Mech., Vol.27. Proc. 27th Jap. Nat. Congr. Appl. Mech., Tokyo,1977”, Tokyo, 1979. – P. 155-167.
9. Рекач В.Г. Расчет пологих винтовых (геликоидальных) оболочек// Труды МИСИ, 1957. – № 27. – С. 113-132.
10. Ярошенко А.Р. Осесимметричная деформация винтовой оболочки с прямоугольным профилем// Динамика и прочность машин. – Харьков, 1971. – Вып. 12. – С. 3-9.
11. Тупикова Е.М. Расчет тонких упругих оболочек в форме длинного косо го геликоида// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. - № 3. – С. 23-27.
12. Кривошапко С.Н., М.К. Кумудини Дж. Исследование напряженно- деформированного состояния тонких оболочек в форме длинных торсов - геликоидов с разными углами наклонов их прямолинейных образующих// Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 1. – С. 19-22.
13. Халаби С.М. Моментная теория тонких винтовых псевдо-торсовых оболочек// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – Вып. 10. – С. 61-67.
14. Pylypaka S.F. Control of bending of ruled surfaces on an example of a screw conoid// Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2002. – Вып. 70. – С. 180-186.
15. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1968. – 372 с.

References

1. Krivoshapko, S.N., Ivanov V.N. (2010). *Encyclopedia of Analytical Surfaces*, Moscow: Knizhn. Dom “LIBROKOM”, 560 p.
2. Krivoshapko, S.N. (1999). Geometry and strength of general helicoidal shells, *Applied. Mechanics Reviews*, Vol. 52, No 5, p. 161-175.
3. Krivoshapko, S.N. (2006). Raschet i proektirovanie vintoobraznykh konstrukziy, primenyaemykh v stroitel'stve i stroitel'nykh mashinah: Review, Moscow: ROSSTROY Rossii, VNIINTPI, Vyp. 1-2, Ser. “Stroitel'nye Konstrukzii i Materialy”, 68 p.
4. Rynkovskaya, M.I. (2012). The application and analysis of helicoidal shells in architecture and building, *Vestnik RUDN, Seriya “Injenernyye Issledovaniya”*, № 4, p. 84-90.
5. Taylor, D.W. (1933). *The Speed and Power of Ships*, Ransdell Inc., Washington D.C., 130 p.
6. Panov, D.Yu. (1937). Raschet vozdušnogo vinta, Tr. TzAGI, Vyp. 288.
7. Koltunov, S.Ya. (1980). To analysis of stress state in limited helicoidal shells, *Izvestiya AN SSSR, MTT*, № 6, p. 149-152.
8. Hirashima Masaharu, Iura Masashi. A geometrically nonlinear theory of right helicoidal shells, “Theor. and Appl. Mech., Vol.27. Proc. 27th Jap. Nat. Congr. Appl. Mech., Tokyo,1977”, Tokyo, 1979, p. 155-167.
9. Rekach, V.G. (1957). Analysis of shallow helicoidal shells, *Tr. MISI*, № 27, p. 113-132.
10. Yaroshenko, A.R. (1971). Axe-symmetrical deformation of helicoidal shell with rectangular profile, *Dinamika i Prochnost' Mashin*, Kharkov, Vyp. 12, p. 3-9.
11. Tupikova E.M. (2015). Analysis of the thin elastic shells in the form of long oblique helicoid, *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, № 3, p. 23-27.
12. Krivoshapko, S.N., Kumudini D.K. (1992). Research of stress-strain state of thin shells in the form of developable helicoids with equal angles of inclination of their rectilinear generatrices, *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*, № 1, p. 19-22.
13. Halabi, S.M. (2001). Moment theory of thin helicoidal pseudo-developable shells, *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, Moscow: Izd-vo ASV, Vyp. 10, p. 61-67.
14. Pylypaka, S.F. (2002). Control of bending of ruled surfaces on an example of a screw conoid, *Prikladna Geometriya ta Inzhenerna Grafika*, Kiev: KNUBA, Vyp. 70, p. 180-186.
15. Lyukshin, V.S. (1968). *Teoriya Vintivyh Poverhnostey v Proektirovanii Rezhuschih Instrumentov*, Moscow: Izd-vo “Mashinostroenie”, 372 p.

ON PROBLEM OF STRENGTH ANALYSIS OF THIN LINEAR HELICOIDAL SHELLS

Rynkovskaya M.I., RUDN, Moscow, Russia

The review of the known methods of strength analysis of five types of linear thin helicoidal shells is presented. The recommendations for future investigations are given.

KEY WORDS: linear helicoidal thin shells, right helicoid, oblique helicoids, developable helicoid, pseudo-developable helicoid, convolute helicoid, stress-strain state, strength.