



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-2-203-213

УДК 69.001.12

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙЧАТЫХ ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

М. Жиль-улбе, А.С. Маркович, Е.М. Тупикова, Ю.В. Журбин

Российский университет дружбы народов (РУДН)

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Рассматривается устойчивость оболочек в форме прямых геликоидов. Анализ устойчивости выполнялся на основе компьютерных моделей четырех оболочек одинаковой высоты с равными длинами образующих, но с различным числом свободных витков. Для расчета использовались треугольные оболочечные конечные элементы. Общее количество узловых неизвестных было одинаковым в каждой из рассматриваемых задач и составляло 16 206. Численное исследование устойчивости выполнялось методом конечных элементов в программном комплексе Lira-Sapг 2017. Расчет устойчивости оболочек производился на комбинацию нагрузок, включающую в себя собственный вес с коэффициентом надежности 1,1 и поперечную равномерную нагрузку в проекции на горизонтальную поверхность интенсивностью $0,2 \text{ т/м}^1$ с коэффициентом надежности 1,2. Граничные условия: упругое защемление оболочек вдоль нижней и верхней образующих. Для построения срединной поверхности каждой оболочки использовались параметрические уравнения в прямоугольных координатах. Определенный интерес представляет исследование собственных колебаний рассматриваемых оболочек. При нахождении частот и форм свободных колебаний учитывался только собственный вес геликоидальных оболочек.

Ключевые слова: устойчивость оболочек, комбинация нагрузок, линейчатые геликоидальные оболочки, поперечные сдвиги, НДС, прямой геликоид, оболочки сложной геометрии, коэффициент устойчивости

История вопроса расчета линейчатых геликоидальных оболочек

В работах [1–4] была рассмотрена геликоидальная оболочка из ортотропного композитного материала под действием нормальной распределенной нагрузки. Аналогичная задача рассматривается в статье [5], но не по теории тонких оболочек Кирхгофа, а с учетом поперечных сдвигов. Согласно результатам экспериментальных исследований, именно разрушения от поперечного сдвига часто ограничивают несущую способность армированных конструкций. Поперечные сдвиги учитываются согласно обобщенным кинематическим гипотезам Тимошенко, краевые условия на лицевых поверхностях оболочки удовлетворяются.

Установлено, что учет поперечного сдвига влияет на НДС конструкции значительно более, чем учет обжатия. Расчет показал, что учет поперечного сдвига

¹ Патент России № 2101560, МКИ6 F 03 D 5/00, 3/06. Шнековый ветроротор / *Смольский И.И., Мельников В.П., Кавун И.Н.*, опубл. 10.01.98, Бюл. № 1.

необходим при расчете НДС оболочек, изготовленных из материала, армированного высокомодульными волокнами [4].

Расчет оболочек из железобетона может проводиться без учета поперечного сдвига в рамках классической теории Кирхгофа—Лява.

В публикации [5] даются формулы, согласно которым можно определить все внутренние силовые факторы в любом сечении плитчатой лестницы при условии жесткого защемления на одной опоре и шарнирного опирания на второй.

Расчетом лопаток с начальной закруткой занимались исследователи И.И. Биргер и Б.Ф. Шорр [6; 7]. И.И. Биргер разработал приближенное решение задачи о пространственном НДС лопаток турбомашин. В работах [8; 9] изучалось влияние начальной закрутки на НДС лопаток большей по сравнению с толщиной криволинейного профиля ширины. Теория естественно закрученных стержней с учетом гипотезы ортогональных сечений была применена к расчету начально закрученных лопаток в работе [10]. Б.Ф. Шорр учитывал также нормальные напряжения при кручении стержня согласно модели С.П. Тимошенко. В работе [11] рассмотрены методы расчета винтовых оболочек в форме торсов-геликоидов. В работе [12] С.Н. Кривошапко применил асимптотический метод малого параметра для аналитического расчета тонких упругих торсов-геликоидов. Мэнсфилд Е. [13] исследовал конечные неоднородные деформации спиральной полосы.

Упругопластическая работа тонкой оболочки в форме геликоида общего вида из изотропного материала с учетом физической и геометрической нелинейности изучалась в работе Б.М. Меерсона [14].

Бесконечно длинные оболочки в форме геликоидов общего вида произвольного профиля изучались Дж. Г. Симмондсом [8; 9]. В поставленной задаче оболочка находится под действием осевой силы, крутящего момента и распределенного внутреннего давления. Выводятся уравнения физических, геометрических соотношений и уравнений равновесия и неразрывности деформаций с учетом геометрической нелинейности. Приведен числовой пример расчета прямого геликоида на растяжение и кручение трубы произвольного профиля на чистый изгиб.

Единственным апробированным аналитическим методом расчета оболочек в форме разворачивающегося геликоида является асимптотический метод малого параметра. В работе [10] та же задача для пологого случая без учета коэффициента Пуассона была решена А.А. Сальманом. С.Н. Кривошапко [12] занимался вопросом модификации метода малого параметра для торсов-геликоидов, анализируя возможности решений в рядах. Дальнейшее развитие этот вопрос получил в работе М.И. Рынковой [15].

Мэнсфилд Е. изучал поведение упругой оболочки в форме цилиндрической винтовой полосы под действием сосредоточенной нагрузки и крутящего момента [13]. Выявлена практически важная зависимость между нагрузкой и деформациями.

Аналитические методы расчета дорожных сооружений используются в основном как ориентировочные и предварительные, так как содержат в себе значительные упрощения. Эти методы включают в себя метод внецентренного сжатия,

метод балочного ростверка и метод плитно-балочных конструкций. Анализ плитного пролетного строения может производиться с применением разных расчетных моделей в зависимости от вида плиты, например, методами теории упругости или при помощи метода коэффициента поперечной установки.

Устойчивость оболочек в форме прямого геликоида

Довольно интересной является проблема устойчивости оболочек сложной геометрии. В настоящей статье рассматривается устойчивость оболочек в форме прямых геликоидов. Анализ устойчивости выполнялся на основе компьютерных моделей четырех оболочек одинаковой высоты $h = 18$ м с равными длинами образующих $l = 10$ м, но с различным числом свободных витков (рис. 1).

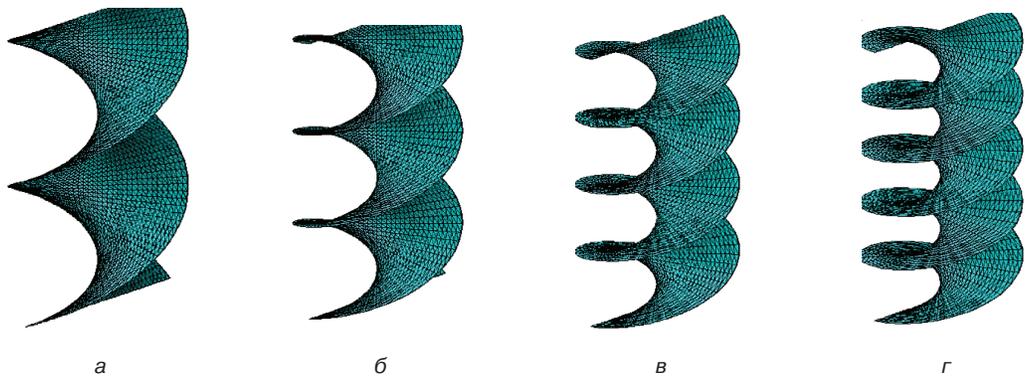


Рис. 1. Конечно-элементные модели оболочек: *а* — геликоид с одним свободным витком; *б* — то же с двумя витками; *в* — то же с тремя; *г* — то же с четырьмя
[**Fig. 1.** Finite element models of shells: *a* — a helicoid with one free turn; *b* — the same with two; *v* — at the same with three; *g* — the same with four]

Для построения срединной поверхности каждой оболочки использовались параметрические уравнения в прямоугольных координатах, которые представляются следующим образом:

для геликоида с четырьмя свободными витками —

$$x = (10t - 5)\cos(5\pi s); y = (10t - 5)\sin(5\pi s); z = 0,1(\pi s);$$

геликоида с тремя свободными витками —

$$x = (10t - 5)\cos(4\pi s); y = (10t - 5)\sin(4\pi s); z = 0,1(\pi s);$$

геликоида с двумя свободными витками —

$$x = (10t - 5)\cos(3\pi s); y = (10t - 5)\sin(3\pi s); z = 0,1(\pi s);$$

геликоида с одним свободными витком —

$$x = (10t - 5)\cos(2\pi s); y = (10t - 5)\sin(2\pi s); z = 0,1(\pi s),$$

где t и s — переменные, значения которых изменяются от 0 до 1.

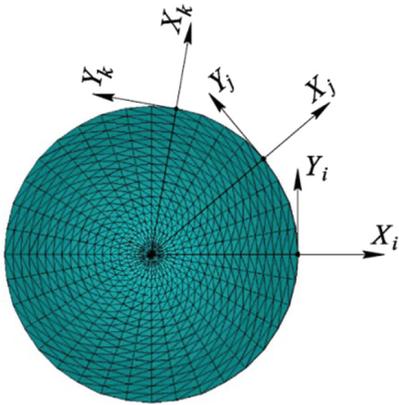


Рис. 2. Локальная система координат узлов
[**Fig. 2.** Local coordinate system of nodes]

Численное исследование устойчивости выполнялось методом конечных элементов в программном комплексе Lira-Sapг 2017. Для удобства анализа результатов расчета применялась локальная система координат (рис. 2), согласно которой ось X имела направление от вертикальной оси симметрии оболочки до характерного узла, а оси Y и Z образовывали с ней правую тройку.

Для расчета использовались треугольные оболочечные конечные элементы (№ 42). Общее количество узловых неизвестных было одинаковое в каждой из рассматриваемых задач и составляло 16 206.

Расчет устойчивости оболочек производился на комбинацию нагрузок, включающую в себя собственный вес с коэффициентом надежности 1,1 и поперечную равномерную нагрузку в проекции на горизонтальную поверхность интенсивностью $0,2 \text{ т/м}^2$ с коэффициентом надежности 1,2.

Принимались следующие характеристики материала: модуль упругости $E = 3\,600\,000 \text{ т/м}^2$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,18$; толщина оболочки $h = 10 \text{ см}$; плотность материала $\rho = 2,5 \text{ т/м}^3$.

Граничные условия: упругое защемление оболочек вдоль нижней и верхней образующих. Жесткости защемления: $R_X = R_Y = R_Z = 100\,000 \text{ т/м}$, $\theta_X = \theta_Y = \theta_Z = 100\,000 \text{ тм}$.

Результаты расчета графически представлены на рис. 3—6 и сведены в табл. 1.

Дополнительный учет нелинейных эффектов приводит к снижению коэффициентов устойчивости по сравнению с линейным расчетом.

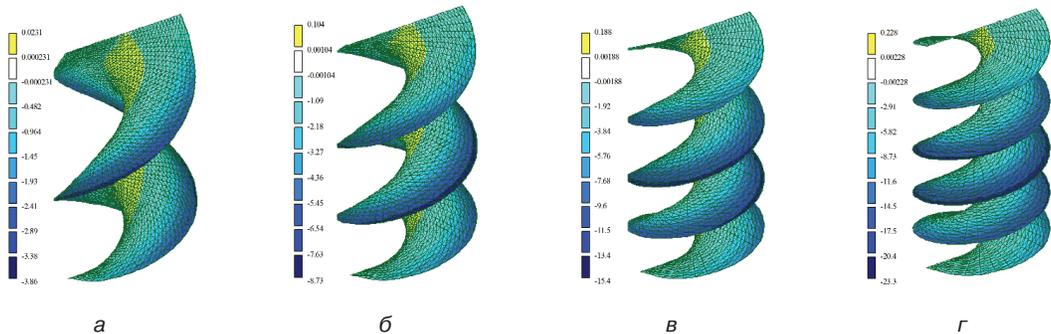


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений Z (мм) для геликоидов:
а — с одним свободным витком; б — то же с двумя витками;
в — то же с тремя; г — то же с четырьмя

[**Fig. 3.** Isofields of displacements along the Z -axis (mm) for helicoids:
а — with one free turn; б — the same with two;
в — the same with three; г — the same with four]

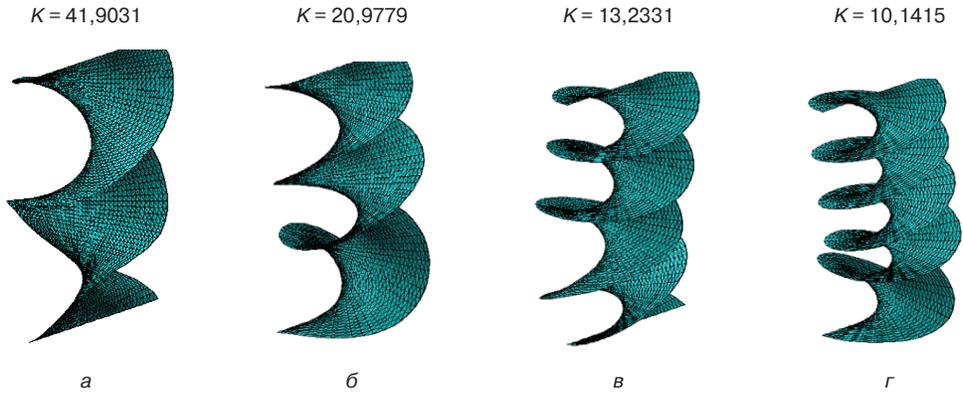


Рис. 4. Первая форма потери устойчивости для геликоидов: *a* — с одним свободным витком; *б* — то же с двумя витками; *в* — то же с тремя; *г* — то же с четырьмя
[Fig. 4. The first form of loss of stability for helicoids: *a* — with one free turn; *б* — the same with two; *в* — the same with three; *г* — the same with four]

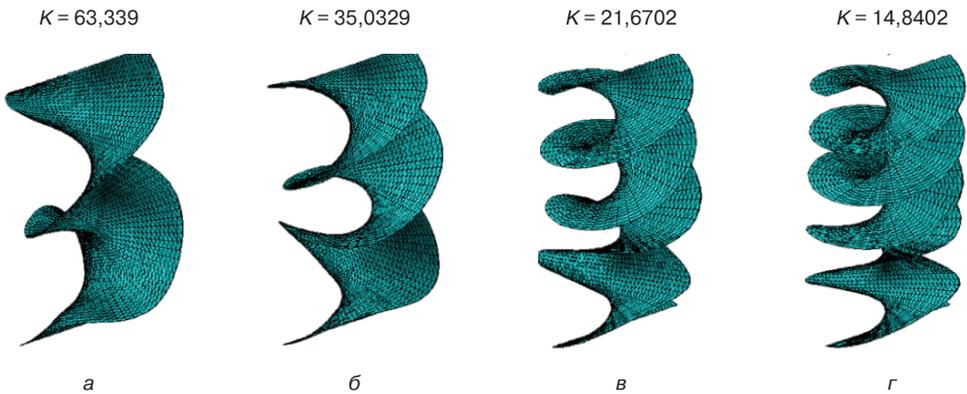


Рис. 5. Вторая форма потери устойчивости для геликоидов: *a* — с одним свободным витком; *б* — то же с двумя витками; *в* — то же с тремя; *г* — то же с четырьмя
[Fig. 5. The second form of loss of stability for helicoids: *a* — with one free turn; *б* — the same with two; *в* — the same with three; *г* — the same with four]

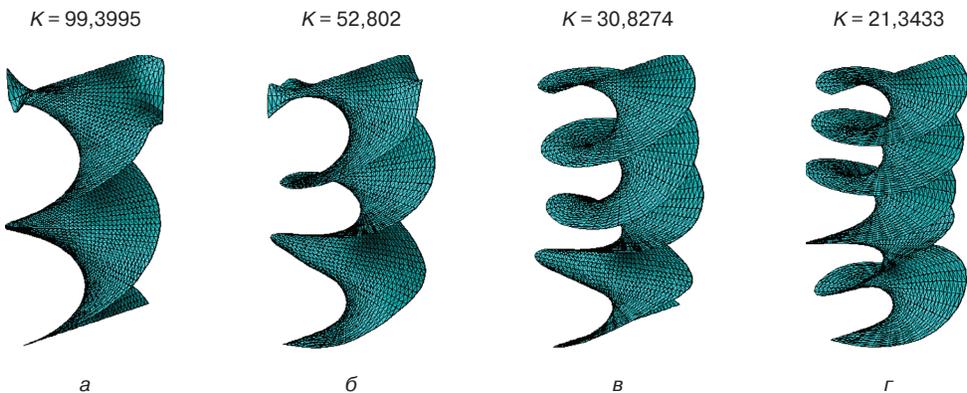


Рис. 6. Третья форма потери устойчивости для геликоидов: *a* — с одним свободным витком; *б* — то же с двумя витками; *в* — то же с тремя; *г* — то же с четырьмя
[Fig. 6. The third form of loss of stability for helicoids: *a* — with one free turn; *б* — the same with two; *в* — the same with three; *г* — the same with four]

Таблица 1

Формы потери устойчивости [Table 1. Forms of loss of stability]

Число свободных витков геликоида [Number of free turns of a helicoid]	Макс. прогиб [Max. deflection], мм	Формы потери устойчивости [Forms of loss of stability]								
		1			2			3		
		Коэффициенты устойчивости [Coefficients of stability] K								
		Максимальные перемещения для каждой формы [Maximum displacements for each form], мм								
Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	-3,86	40,9031			63,339			99,3995		
		721	>1000	-751	928	979	-924	137	470	-769
2	-8,73	20,9779			35,0329			52,802		
		697	>1000	-981	976	973	-994	696	702	-929
3	-15,4	13,2331			21,6702			30,8274		
		670	791	-997	850	>1000	-961	493	656	-993
4	-23,3	10,1415			14,8402			21,3433		
		659	483	-998	941	920	-994	479	628	-995

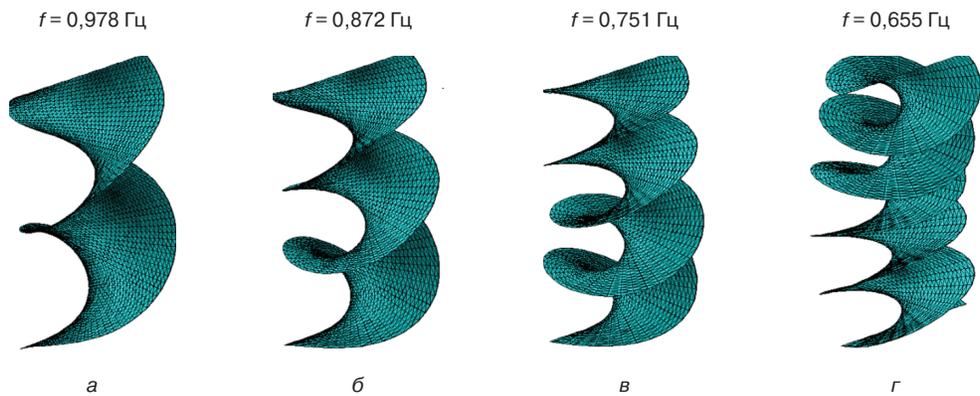


Рис. 7. Первые формы собственных колебаний для геликоидов: а — с одним свободным витком; б — то же с двумя витками; в — то же с тремя; г — то же с четырьмя
[Fig. 7. The first forms of natural oscillations for helicoids: а — with one free turn; б — the same with two; в — the same with three; г — the same with four]

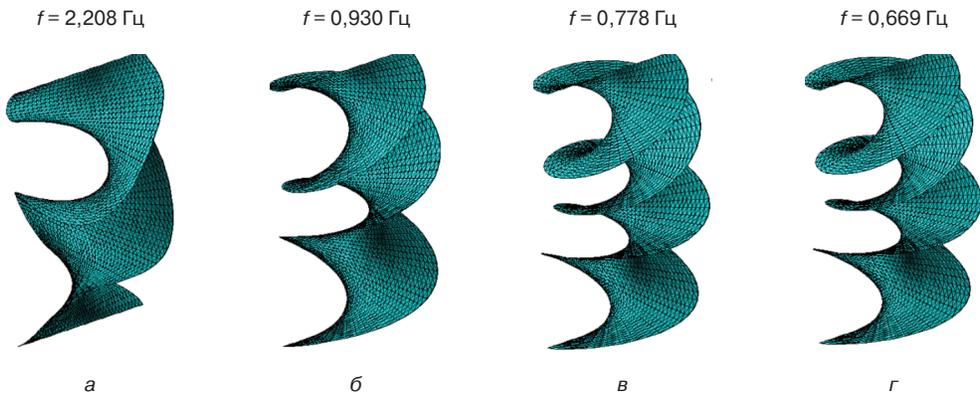


Рис. 8. Вторые формы собственных колебаний для геликоидов: а — с одним свободным витком; б — то же с двумя витками; в — то же с тремя; г — то же с четырьмя
[Fig. 8. The second forms of natural oscillations for helicoids: а — with one free turn; б — the same with two; в — the same with three; г — the same with four]

Определенный интерес представляет исследование собственных колебаний рассматриваемых оболочек. При нахождении частот и форм свободных колебаний учитывался только собственный вес геликоидальных оболочек.

Полученные результаты модального анализа показаны на рис. 7–9 и приведены в табл. 2.

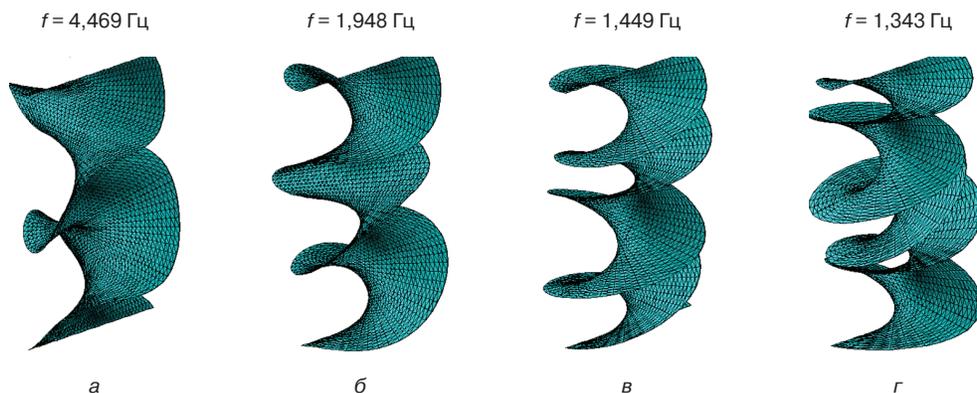


Рис. 9. Третьи формы собственных колебаний для геликоидов: *a* — с одним свободным витком; *б* — то же с двумя витками; *в* — то же с тремя; *г* — то же с четырьмя
[Fig. 9. Third forms of natural oscillations for helicoids: *a* — with one free turn; *b* — the same with two; *v* — the same with three; *r* — the same with four]

Таблица 2

Формы собственных колебаний [Table 2. Forms of natural oscillations]

Число свободных витков геликоида [Number of free turns of a helicoid]	Формы собственных колебаний [Forms of natural oscillations]								
	1			2			3		
	Частота собственных колебаний [Natural frequency] f , Гц						Период собственных колебаний [The period of natural oscillations] T , с		
	Максимальные перемещения для каждой формы [Maximum displacements for each form], мм								
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,978	1,023		2,208	0,453		4,469	0,224	
	645	>1000	-643	958	>1000	-765	656	730	<-1000
2	0,872	1,147		0,930	1,076		1,948	0,513	
	>1000	936	-802	975	>1000	-911	479	646	<-1000
3	0,751	1,332		0,778	1,286		1,449	0,690	
	837	>1000	-656	933	873	<-1000	366	389	<-1000
4	0,655	1,526		0,669	1,495		1,343	0,745	
	977	>1000	799	>1000	885	-923	630	432	<-1000

При увеличении числа витков геликоидальной оболочки возрастает ее масса, что приводит к уменьшению частот свободных колебаний. Стоит заметить, что для оболочек с относительно небольшим количеством витков данный факт существенного значения не имеет.

ВЫВОДЫ

Наибольшей устойчивостью обладает геликоид с одним свободным витком ($K = 41,9031$). Устойчивость геликоида с двумя свободными витками оказалась

вдвое меньше ($K = 20,9779$). Однако, как показал расчет, устойчивость оболочек с тремя и четырьмя свободными витками различается лишь на 30% (коэффициенты устойчивости равны 13,2331 и 10,1415 соответственно). Отчасти это можно объяснить тем, что наблюдается некоторое сглаживание геометрии срединной поверхности этих оболочек.

Исследовав устойчивость геликоидов с большим количеством витков, можно установить, что коэффициент устойчивости имеет тенденцию к резкому снижению до определенного предела, в случае геликоидальных оболочек с большим числом витков (более 10) дальнейшее увеличение количества витков не приводит к существенному уменьшению коэффициента устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 560 с.
- [2] *Александров П.В., Немировский Ю.В.* Исследование напряженного состояния армированных геликоидальных оболочек // Известия вузов. Строительство. 1994. № 11. С. 48—55.
- [3] *Александров П.В., Немировский Ю.В.* Напряженное состояние армированных геликоидальных оболочек // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1991. № 9. С. 18—24.
- [4] *Czaplinski K., Marcinkowski Z., Swiecicki W.* An analysis of stress in the combined structure of a spiral stairway // eighth Cong. Mater. Fest. Budapest. 28 Sept.-1 Oct. 198. Lectures. Vol. 3. Budapest. 1982. 1003—1007.
- [5] *Неделчев В.* Вита плочеста стълба, ставно подпряна в единия край // Строительство. 1989. Т. 36. № 5. С. 3—4. (Болгарск.).
- [6] *Биргер И.А.* Пространственное напряженное состояние в лопатках с начальной закруткой // Труды ЦИАМ. 1982. № 996. С. 7—23.
- [7] *Шорр Б.Ф.* Колебания закрученных стержней // Изв. АН СССР. Механика и машиностроение. 1961. № 3. С. 35—39.
- [8] *Simmonds James G.* General helicoidal shells undergoing large, one-dimensional strains or large inextensional deformations // Int. J. Solids and Struct. 1984. Vol. 20. No. 1. P. 13—30.
- [9] *Simmonds James G.* Surfaces with metric and curvature tensors that depend on one coordinate only are general helicoids // Q. Appl. Math. Vol. 37. P. 82—85.
- [10] *Сальман Абдалла А. Аль-Духейсат.* Аналитический и численный подходы к проблеме статического расчета тонкой винтовой оболочки с развертывающейся срединной поверхностью / Реконструкция зданий и сооружений. Усиление оснований и фундаментов: Межд. научно-практ. конф. Пенза: ПГАСА, ПДЗ, 1999. С. 67—70.
- [11] *Кривошапко С.Н., Абдельсалам М.А.* Методы расчета винтовых оболочек в форме торсов-геликоидов / Современное строительство: Межд. научно-практ. конференция. Пенза: ПГАСА, ПДЗ, 1998. С. 105—107.
- [12] *Кривошапко С.Н.* Применение асимптотического метода малого параметра для аналитического расчета тонких упругих торсов-геликоидов // Пространственные конструкции зданий и сооружений. М.: ДевяткаПринт, 2004. Вып. 9. С. 36—44.
- [13] *Mansfield E.* On finite inextensional deformation of a helical strip // Int. J. Non-linear Mech. 1980. Vol. 15. No. 6. P. 459—467.
- [14] *Меерсон Б.М.* Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния винтообразной оболочки. Уфа, 1988. 22 с. (Рукопись деп. в ВИНТИ 12.07.88., № 5593-В88 г.).
- [15] *Рынковская М.И.* Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2013. 217 с.

- [16] Мэнсфилд Э. О конечной неодномерной деформации спиральной полосы // Int. J. Нелинейный мех. 1980. Vol. 15. № 6. P. 459–467.

© Жиль-улбе М., Маркович А.С., Тупилова Е.М., Журбин Ю.В.. 2018

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 08 февраля 2018

Дата принятия к печати: 17 апреля 2018

Для цитирования:

Жиль-улбе М., Маркович А.С., Тупилова Е.М., Журбин Ю.В. Численное моделирование устойчивости линейчатых геликоидальных оболочек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 2. С. 203–213. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-2-203-213

Сведения об авторах:

Жиль-улбе Матье — кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* теория тонких упругих оболочек, нелинейная устойчивость оболочек сложной геометрии, компьютерное моделирование. *Контактная информация:* e-mail: giloulbem@hotmail.com

Маркович Алексей Семенович — кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* строительная механика, численные методы расчета сооружений, компьютерное моделирование. *Контактная информация:* e-mail: markovich.rudn@gmail.com

Тупикова Евгения Михайловна — кандидат технических наук, ассистент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* теория тонких упругих оболочек, нелинейная устойчивость оболочек сложной геометрии, компьютерное моделирование. *Контактная информация:* e-mail: tupikova_em@rudn.university

Журбин Юлиан Викторович — магистрант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* компьютерное моделирование, расчеты строительных конструкций, зданий, сооружений и комплексов. *Контактная информация:* e-mail: julianzhurbin2015@gmail.com

NUMERICAL MODELING OF THE BUCKLING RESISTANCE OF RULED HELICOIDAL SHELLS

Gil-oulbe Mathieu, A.S. Markovich, E.M. Tupikova, Yu.V. Zhurbin

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. The paper concerns the buckling analysis of thin shells of right helicoid form. The buckling analysis was performed by the means of finite element software. Shells with variable pitch number and

same contour radiuses and height were compared, their straight edges fixed and the curvilinear contours free. Was used for the analysis triangular shell finite elements (No. 42). The total number of nodal unknowns was the same in each of the considered tasks and was 16 206. Numerical investigation of the stability was performed by the finite element method in the software package Lira-SapR 2017. The number of nodes in each task was the same. The loading includes combination of gravity (dead load) and vertical equally distributed load. The buckling mode and stability factor for every case is calculated. Boundary conditions — elastic built in shells along the bottom and top generatrices. To plot the mid-surface of each shell were used parametric equations in rectangular coordinates. Of particular interest is the study of natural oscillations of the shells considered. To define the frequencies and forms of free vibrations is taken into account only the own weight of the helicoidal shells.

Key words: Buckling analysis of shells, load combination, helical shells, transverse shear, stress-strain state, right helicoid, shells of complex geometry, stability factor

REFERENCES

- [1] Krivoschapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of analytic surfaces. Moscow: LIBROKOM, 2010. 560 p. (In Russ.)
- [2] Aleksandrov P.V., Nemirovsky Yu.V. Investigation of the stressed state of reinforced helicoidal shells. *Izvestiya Vuzov. Building.* 1994. No. 11. P. 48—55. (In Russ.)
- [3] Aleksandrov P.V., Nemirovsky Yu.V. Stress state of reinforced helicoidal shells. *Izvestiya Vuzov. Construction and architecture.* 1991. No. 9. P. 18—24. (In Russ.)
- [4] Czaplinski K., Marcinkowski Z., Swiecicki W. An analysis of stress in the combined structure of a spiral stairway // Eighth Cong. Mater. Fest. Budapest. 28 Sept.-1 Oct. 198. Lectures. Vol. 3. Budapest. 1982. 1003—1007.
- [5] Nedelchev V.V. Vita of the Plateau of the Stlba, Statically Podpryana in the Edge of Edge. *Building.* 1989. T. 36. № 5. P. 3—4. (Bulgarian).
- [6] Birger I.A. Spatial stress state in blades with initial twist // Tr. CIAM. 1982. No. 996. Pp. 7—23. (In Russ.)
- [7] Shorr B.F. Oscillations of swirling rods. *Izv. AS USSR. Mechanics and machine building.* 1961. No. 3. P. 35—39. (In Russ.)
- [8] Simmonds James G. General helicoidal shells undergoing large, one-dimensional strains or large inextentional deformations. *Int. J. Solids and Struct.* 1984. Vol. 20. No. 1. P. 13—30.
- [9] Simmonds James G. Surfaces with metric and curvature tensors that depend on one coordinate only are general helicoids. *Q. Appl. Math.* 1979. Vol. 37. P. 82—85.
- [10] Salman Abdallah A. Al-Duhheisat. Analytical and numerical approaches to the problem of static calculation of a thin helical shell with unfolding middle surface / Reconstruction of buildings and structures. Strengthening the foundations and foundations: Int. scientific and practical work. Conf. Penza: PGAASA. PVZ. 1999. P. 67—70. (In Russ.)
- [11] Krivoschapko S.N., Abdelsalam M.A. Methods analysis of helical shells in the form of torso-helicoids / Modern construction: Int. scientific — practical conference. Penza: PGAASA, PDZ, 1998. P. 105—107. (In Russ.)
- [12] Krivoschapko S.N. Application of the asymptotic method of small parameter for the analytical calculation of thin elastic torso-helicoids // Spatial structures of buildings and structures. Moscow: OOO "Nine Print" Publ., 2004. Issue. 9. P. 36—44. (In Russ.)
- [13] Mansfield E. On finite inextentional deformation of a helical strip. *Int. J. Non-linear Mech.* 1980. Vol. 15. No. 6. P. 459—467.
- [14] Meerson B. Theoretical study of the stress-strain state of the helical shell. Ufim. aviats. in-t, Ufa, 1988. 22 s., ill. Bibl. 6 names. (Manuscript of the Depot in VINITI on 12.07.88., No. 5593-B88). (In Russ.)
- [15] Salman Abdallah A. al-Duhheisat. Analytical and numerical approaches to the problem of static calculation of a thin helical shell with an unfolding middle surface // Reconstruction of buildings and structures. Strengthening the foundations and foundations: Int. scientific and practical work. Conf. Penza: PGAASA, PDZ, 1999. P. 67—70. (In Russ.)

- [16] Rynkovskaya M.I. Bending and the problem of calculating thin elastic shells in the form of a straight and unfolding helicoid on the distributed load and the draft of one of the curvilinear supports: diss. thesis. Moscow, 2013. 217 p. (In Russ.)
- [17] Mansfield E. On the finite non-uniform deformation of a spiral band. *Int. J. Nonlinear fur*. 1980. Vol. 15. No. 6. P. 459–467. (In Russ.)

Article history:

Date received: February 08, 2018

Date accepted: April 17, 2018

For citation:

Gil-oulbe Mathieu, Markovich A.S., Tupikova E. M., Zhurbin Yu.V. (2018). Numerical modeling of the buckling resistance of ruled helicoidal shells. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(2), 203–213. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-2-203-213

Bio Note:

Gil-oulbe Mathieu — PhD civil engineering, Associate Professor, Department of architecture and civil engineering, Engineering Academy, RUDN University. *Research interests*: theory of thin elastic shells, nonlinear stability of shells of complex geometry, computer modeling. *Contact information*: e-mail:gil-oulbem@hotmail.com

Aleksei S. Markovich — PhD civil engineering, Associate Professor, Department of architecture and civil engineering, Engineering Academy, RUDN University. *Research interests*: construction mechanics, numerical methods for calculating structures, computer modeling. *Contact information*: e-mail: markovich.rudn@gmail.com

Evgeniya M. Tupikova — PhD civil engineering, Assistant Professor, Department of architecture and civil engineering, Engineering Academy, RUDN University. *Research interests*: theory of thin elastic shells, nonlinear stability of shells of complex geometry, computer modeling. *Contact information*: e-mail: tupikova_em@rudn.university

Yulian V. Zhurbin — Graduated from the Peoples' Friendship University of Russia in 2016 with a degree in "Construction Engineering and Technology". Currently studying in full-time magistracy in the specialty "Theory and design of buildings and structures". *Research interests*: computer modeling and analysis of building structures. *Contact information*: e-mail: julianzhurbin2015@gmail.com