

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Состояния поля напряжений в геликоидальной оболочке

Л. П. Шевелев¹, Н.В. Корихин², А.И. Головин³

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия,
Санкт-Петербурга, Политехническая, 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 539.371.: 642.042.1

История

Подана в редакцию 12 сентября 2013
Оформлена 25 февраля 2014
Согласована 28 февраля 2014

Ключевые слова

оболочка
метод расчёта напряжённо
деформированного состояния
аналитическое решение поля
напряжений
геликоидальная оболочка
аналитическое решение

АННОТАЦИЯ

В работе выполнен обзор работ, посвященных анализу напряженно-деформированного состояния геликоидальных оболочек при различных видах нагружения. Излагается аналитическое решение задачи о напряжённом состоянии оболочки как конструктивного элемента. Приведены результаты расчётов оболочек, находящихся под действием нормального давления для двух случаев закрепления.

Содержание

Введение	26
Задача о напряженном состоянии оболочки как конструктивного элемента	26
Выводы	33

1

Контактный автор:

+7 (911) 918 6106, sopromat.shevelev@yandex.ru (Шевелев Леонид Петрович, д.т.н., профессор)

2

+7 (911) 918 6106, Kor440@mail333.com (Корихин Николай Васильевич, к.т.н., доцент)

3

+7 (911) 918 6106, sopromat.golovin@yandex.ru (Головин Александр Иванович, к.т.н., доцент)

Введение

На сегодня задача о напряженно-деформированном состоянии и расчете геликоидальных оболочек решена достаточно полно как с точки зрения общей теории оболочек, так и с использованием энергетических подходов к решению этой задачи и численных методов при различных видах нагружения [1-10]. Ряд задач связанных с расчетом геликоидальных оболочек решены применительно к различным отраслям знаний, таким как судостроение [11-18], гидроаэродинамика [19-22], энергетическое машиностроение [23-24]. Значительное количество задач рассмотрены применительно к архитектуре и строительству [25-39]. С точки зрения практического применения решений приведенных в перечисленных выше работах возникают некоторые трудности, т.к. авторы в основном описывают общий подход к их решению. Так же в общем виде составляются уравнения теории упругости и даются рекомендации по методам их решения. Так, например, в монографии [30] одна из глав посвящена рассмотрению геликоидальной оболочки. В ней на базе координатной системы, удобной для описания геликоида, составлены бигармонические уравнения теории упругости в общем виде и высказаны соображения по методу их решения, но, к сожалению окончательных формул, для расчёта напряжений и примеров расчёта отдельных задач не приведено.

В работах [23-24] даны примеры решений конкретных задач, расчёта элементов гидротурбин конкретно их лопастей, в которых применен метод сечений, согласно которому оболочка рассматривалась как плоская пластина переменной толщины разделенная радиальными сечениями на ряд связанных кольцевых секторов с постоянной по окружной координате толщиной. Так же схематизировали геликоидальную оболочку как пластину. И в том и другом случаях решения осуществлялись с помощью энергетического метода. В предлагаемой работе разрешающие уравнения геликоидальной оболочки, строились на базе отработанных методов теории тонких оболочек и позволяют вычислить перемещение и напряжения при различных вариантах граничных условий и при переменной толщине оболочки. Приведен расчет напряжений в геликоидальной оболочке, находящейся под действием нормального давления. Задача сформулирована в ортогональной системе координат, не совпадающей с главными кривизнами, и для решения ее использован метод Ритца. Показано, что в оболочке, кроме изгибных, возникают значительные цепные напряжения. Приведены результаты расчета двух оболочек.

Задача о напряженном состоянии оболочки как конструктивного элемента

Ниже дано решение задачи о напряженном состоянии оболочки как конструктивного элемента зданий, сооружений, узлов машин и механизмов. В частности, применительно к строительству и архитектуре, это, конструкции в виде винтовых лестниц, винтовых пандусов многоярусных гаражей и автостоянок, элементы сопряжения многоуровневых автомобильных развязок. Геометрической моделью элемента служит оболочка, срединная поверхность которой является частью прямого геликоида, т.е. поверхности, образованной вращением прямолинейной образующей относительно неподвижной оси и одновременным движением ее по направляющей в виде винтовой линии (рисунок 1). Оболочка закреплена на части внутренней дуги, имеет переменную толщину и находится под действием произвольной распределенной нагрузки.

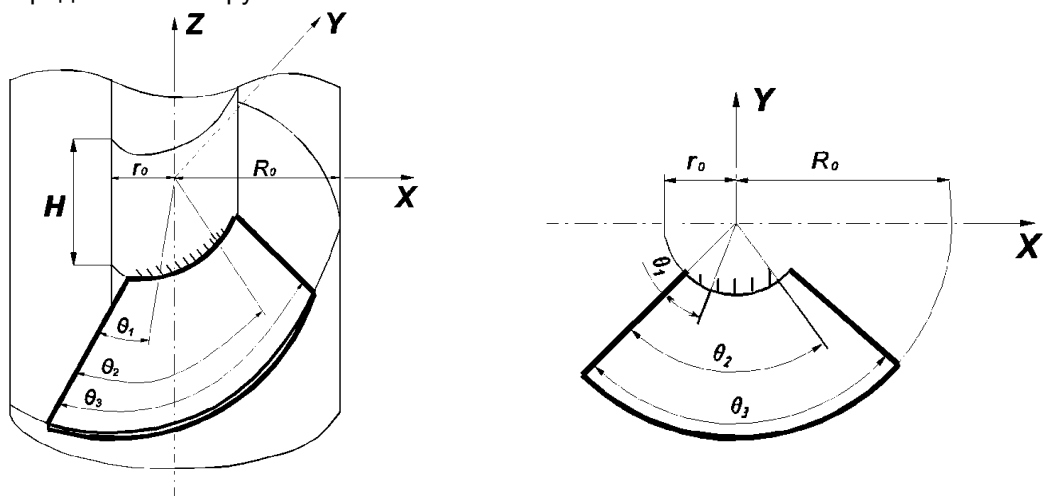


Рисунок.1. Схема оболочки

Срединная поверхность такой оболочки описывается следующими уравнениями:

$$x = r \cos \theta; y = r \sin \theta; z = \frac{H}{2\pi} \theta, \quad (1)$$

где x, y, z – прямоугольные координаты;
 r, θ, z – цилиндрические координаты;
 H – шаг винтовой линии.

Контур оболочки (элемента) предполагается ограниченным координатными линиями: $r = r_0, r = R_0, \theta = 0$ и $\theta = \theta_3$. Условия закрепления таковы: участок верхней дуги $r = r_0$ на длине $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ зацмлен, остальной контур свободен от закрепления.

1. Выполним линейное преобразование координат x, y, z , путем сжатия осей в $\frac{H}{2\pi}$ раз и

одновременно сделаем подстановку $\frac{2\pi r}{H} = sh \alpha$. Тогда поверхность геликоида (1) будет иметь вид:

$$x^* = sh \alpha \cos \theta; y^* = sh \alpha \sin \theta; z^* = \theta, \quad (2)$$

где $x^* = \frac{2\pi x}{H}; y^* = \frac{2\pi y}{H}; z^* = \frac{2\pi z}{H}$

Здесь α - линии представляют собой прямолинейные образующие, а ортогональные им θ -линии винтовые направляющие. Такая координатная система, будучи изотермической, обладает рядом удобств: равны друг другу параметры Ляме $A_1 = A_2 = \frac{H}{2\pi} ch \alpha$, главные радиусы кривизны $R_1 = R_2 = \frac{H}{2\pi} ch^2 \alpha$, и

принимают простые выражения коэффициенты второй квадратичной формы: $L = 0, M = -\frac{1}{ch \alpha}, N = 0$. К

особенностям координатной системы следует отнести несовпадение координатных линий с линиями главных кривизн оболочки, что учтено ниже при составлении уравнений.

Соотношение между деформациями и перемещениями в принятой системе имеют вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_1} + \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} v; \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial v}{\partial \alpha_2} + \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} u; \\ w &= \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha_2} \left(\frac{u}{A_1} \right) + \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \left(\frac{v}{A_2} \right) + \frac{w}{R}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\chi_1 = -\frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \left(\frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} - \frac{u}{R_1} \right) - \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} \left(\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} - \frac{v}{R_2} \right);$$

$$\chi_2 = -\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha_2} \left(\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_2} - \frac{v}{R_2} \right) - \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \left(\frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} - \frac{u}{R_1} \right);$$

$$\tau = \frac{1}{A_1 A_2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha_1 \partial \alpha_2} - \frac{1}{A_1} \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_2} \right) +$$

$$+ \frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} u \right) + \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial v}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} v \right).$$

Здесь сохранены обозначения, принятые в [1]. В дальнейших преобразованиях вводится допущение о малости составляющих касательного перемещения u и v по сравнению с нормальным перемещением w . Основанием для такого предположения служат следующие соображения. Жесткость элемента в направлении нормали к срединной поверхности во много раз меньше жесткости в направлениях, касательных к срединной поверхности. Поэтому можно ожидать, что перемещение w будет существенно превышать u и v . Условия закрепления оболочки таковы, что в ней не возникает распора, который мог бы вызвать значительную деформацию срединной поверхности.

Применительно к заданной геометрии оболочки ($\alpha_1 = \alpha$, $\alpha_2 = \theta$, $A_1 = A_2 = b \operatorname{ch} \alpha$, $R_1 = -R_2 = h \operatorname{ch}^2 \alpha$, где $b = \frac{H}{2\pi}$) с учетом принятого допущения вместо (3) будем иметь:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{b \operatorname{ch} \alpha} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha};$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{b \operatorname{ch} \alpha} \left(u \operatorname{th} \alpha + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right);$$

$$\omega_{\alpha\theta} = -\frac{w}{b \operatorname{ch}^2 \alpha}; \quad (4)$$

$$\chi_\alpha = -\frac{1}{b^2 \operatorname{ch}^2 \alpha} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} - \operatorname{th} \alpha \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right);$$

$$\chi_\theta = -\frac{1}{b^2 \operatorname{ch}^2 \alpha} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} - \operatorname{th} \alpha \frac{\partial w}{\partial \theta} \right);$$

$$\chi_{\alpha\theta} = -\frac{1}{b^2 \operatorname{ch}^2 \alpha} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \theta} - \operatorname{th} \alpha \frac{\partial w}{\partial \theta} \right).$$

Напряженное состояние элемента, если он изготовлен из материала, подчиняющегося закону Гука, будет определяться следующими формулами:

изгибающие и крутящие моменты

$$M_\alpha = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} (\chi_\alpha + \mu\chi_\theta);$$

$$M_\theta = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} (\chi_\theta + \mu\chi_\alpha); \quad (5)$$

$$M_{\alpha\theta} = \frac{Et^3}{12(1+\mu)} \chi_{\alpha\theta};$$

сдвигающая сила

$$S_{\alpha\theta} = \frac{Et}{2(1+\mu)}; \quad (6)$$

изгибные напряжения

$$\sigma_{\alpha} = \pm \frac{6M_{\alpha}}{t^2}; \quad \sigma_{\theta} = \frac{6M_{\theta}}{t^2}; \quad \tau_{\alpha\theta}^1 = \pm \frac{6M_{\alpha\theta}}{t^2}; \quad (7)$$

напряжение сдвига в срединной поверхности

$$\tau_{\alpha\theta}^{11} = \frac{S_{\alpha\theta}}{t}.$$

Цепные напряжения в оболочке определяются одними лишь напряжениями сдвига вследствие того, что координатная система составляет угол 45° по отношению к линиям главных кривизн. Это видно из формул (3), где прогиб w входит только в третье уравнение. При повороте координатной системы на 45° до совпадения с главными кривизнами прогиб w будет входить в два первых уравнения (3) и исчезнет в третьем. Тогда напряжения в срединной поверхности будут выражаться через σ_{α} и σ_{θ} :

суммарные напряжения сдвига

$$\tau_{\alpha\theta} = \tau_{\alpha\theta}^1 + \tau_{\alpha\theta}^{11}, \quad (8)$$

главные напряжения

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_{\alpha} + \sigma_{\theta}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{\alpha} - \sigma_{\theta})^2 + 4\tau_{\alpha\theta}^2}. \quad (9)$$

1. Решение задачи разыскивается в форме ряда:

$$w = \sum_{\substack{m=0,1,2... \\ n=2,3,4...}} \alpha_{mn} \beta^m \psi_1^n + \sum_{\substack{m=2,3,4... \\ n=0,1,2...}} b_{mn} \beta^m \psi_2^n + \sum_{\substack{m=0,1,2... \\ n=2,3,4...}} c_{mn} \beta^m \psi_3^n, \quad (10)$$

где

$$\beta = \frac{\alpha - a}{c - a}; \quad \psi_1 = 1 - \frac{\theta}{\theta_1}; \quad \psi_2 = \frac{\theta}{\theta_3}; \quad \psi_3 = \frac{\theta - \theta_2}{\theta_3 - \theta_2};$$

$$\alpha = Ar \operatorname{sh} \frac{2\pi r}{H}; \quad a = Ar \operatorname{sh} \frac{2\pi r_0}{H}; \quad c = Ar \operatorname{sh} \frac{2\pi R_0}{H}.$$

Представленная в виде ряда (10) функция w состоит из трех групп [24]: вторая группа есть прогиб пластины, защемленной по всей дуге внутреннего контура $r = r_0$, а первая и третья группы – прогибы пластин, защемленных на радиусах $\theta = \theta_1$ и $\theta = \theta_2$ соответственно. Таким образом, функция w в целом удовлетворяет всем кинематическим граничным условиям закрепления оболочки.

Минимизация функционала энергии по Ритцу приводит к системе линейных алгебраических уравнений:

$$\frac{\partial(U - A)}{\partial k_{mn}} = 0, \quad (11)$$

из которой определяются коэффициенты разложения (10).

В уравнении (11):

потенциал внутренних сил

$$U = \frac{E}{2(1-\mu^2)} \iint_S \left[\varepsilon_1^2 + 2\mu\varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2^2 + 2(1-\mu)\omega^2 \right] +$$

$$+ \frac{t^3}{12} \left[(\chi_1 + \chi_2)^2 + 2(1-\mu)(\chi^2 - \chi_1\chi_2) \right] \} dS \quad (12)$$

потенциал внешних сил

$$A = \iint_S p w dS,$$

а k_{mn} последовательно принимают значения a_{mn} , b_{mn} и c_{mn} .

При вычислении потенциальной энергии также учтено предположение о малости компонентов касательного перемещения по сравнению с нормальным. Поэтому с учетом (3) в первой квадратной скобке (12) отброшены все слагаемые, кроме последнего, содержащего w .

Подстановка (4) в (12) дает:

$$U = \frac{Et_o}{1+\mu} \iint_S \frac{hw^2}{ch^2\alpha} d\alpha d\theta + \frac{Et_o^3}{24b^2(1-\mu^2)} \iint_S \frac{h}{ch^2\alpha} \left\{ \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right]^2 + \right. \\ \left. + 2(1-\mu) \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \theta} \right)^2 \right\} - \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} - th\alpha \left[2 \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \theta} \cdot \frac{\partial w}{\partial \chi} \right] + \frac{\partial w}{\partial \alpha} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) + \right. \\ \left. + th^2 \alpha \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\theta, \quad (13)$$

где $h = t/t_0$, t_0 – характерная (максимальная) толщина оболочки.

Потенциал внешних сил в принятой координатной системе имеет вид:

$$A = \iint_S p_o p(\alpha, \theta) w b^2 ch^2 \alpha \cdot d\alpha d\theta \quad (14)$$

где p_o – характерная ордината интенсивности поля давлений.

После отыскания функции w по приведенным выше формулам могут быть найдены усилия и напряжения.

2. Был выполнен расчет двух конструктивных элементов, характеристики которых даны в таблице

Таблица 1. Характеристики конструктивных элементов

	R_o , см	r_o , см	t_o , см	$H/2\pi$, см	θ_1	θ_2	θ_3
элемент 1	60	21	4	-	-	-	-
элемент 2	69	39,3	6,1	17,5	0,326	0,886	1,358

Первый элемент имел заземление по всей длине внутренней дуги, второй – только на части. Характер изменения толщин второго элемента для трех цилиндрических сечений на рисунке 2. Нагрузка принималась постоянной и равной $p = 10$ н/см².

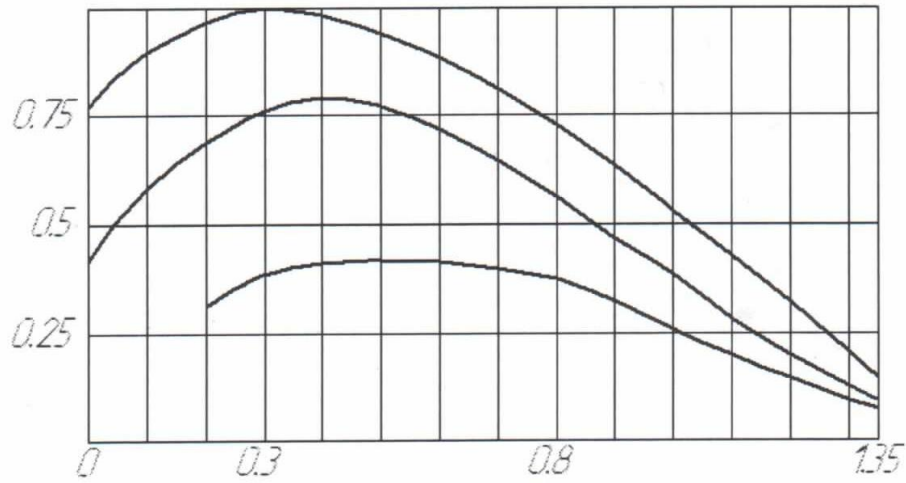


Рисунок 2. Характер изменения толщины элемента

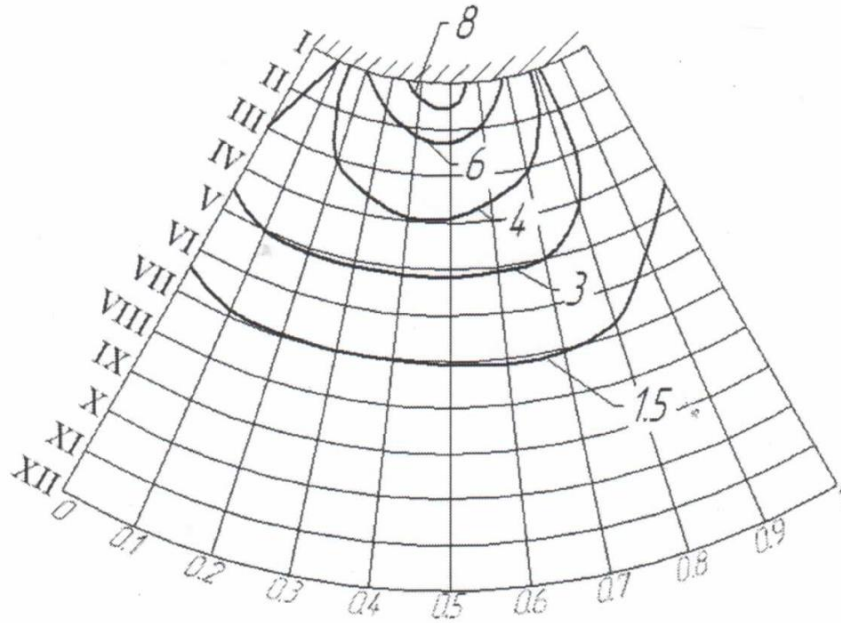


Рисунок 3. Поле изгибных напряжений σ_α в кн/см^2 в элементе 1

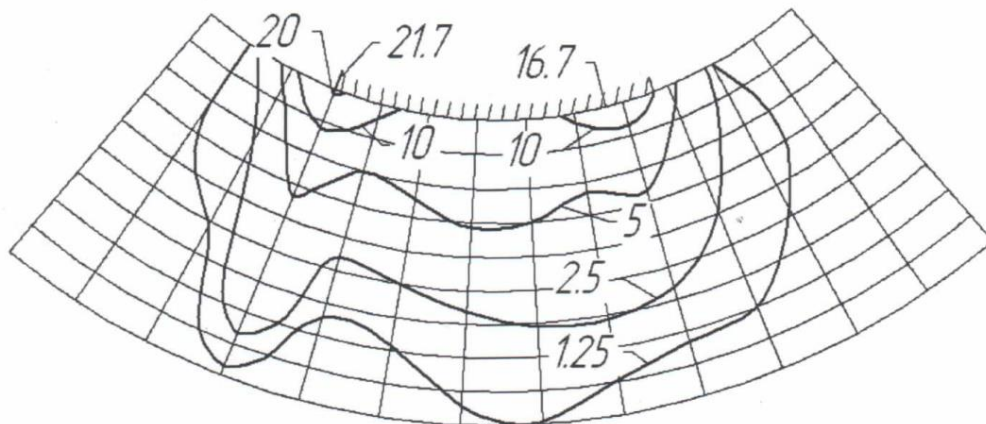


Рисунок 4. Поле изгибающих моментов M_α в кн/см^2 в элементе 2

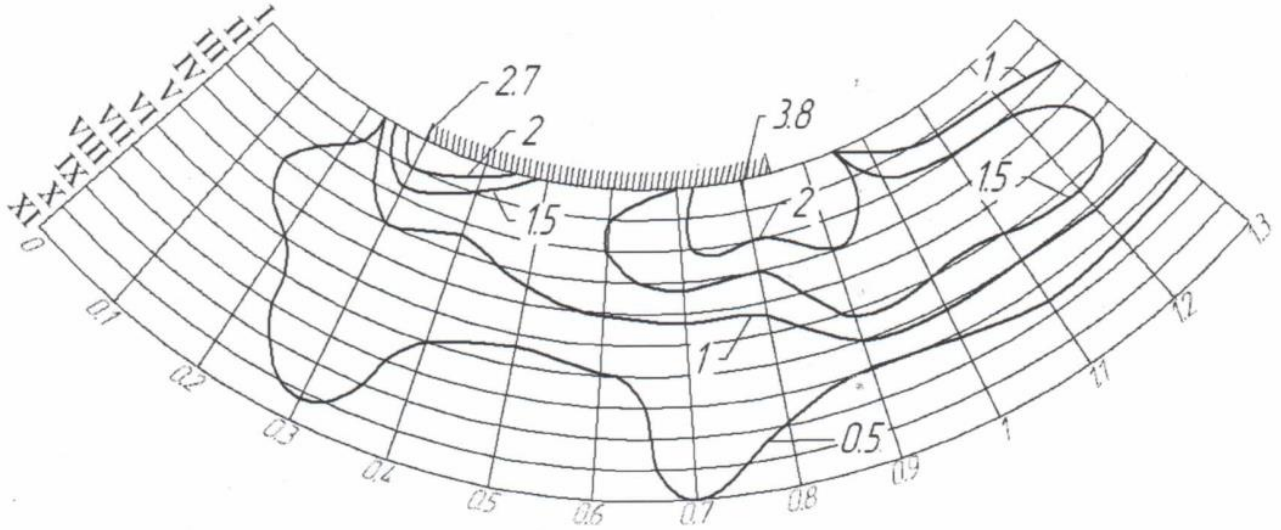


Рисунок 5. Поле изгибных напряжений σ_α в кн/см^2 в элементе 2

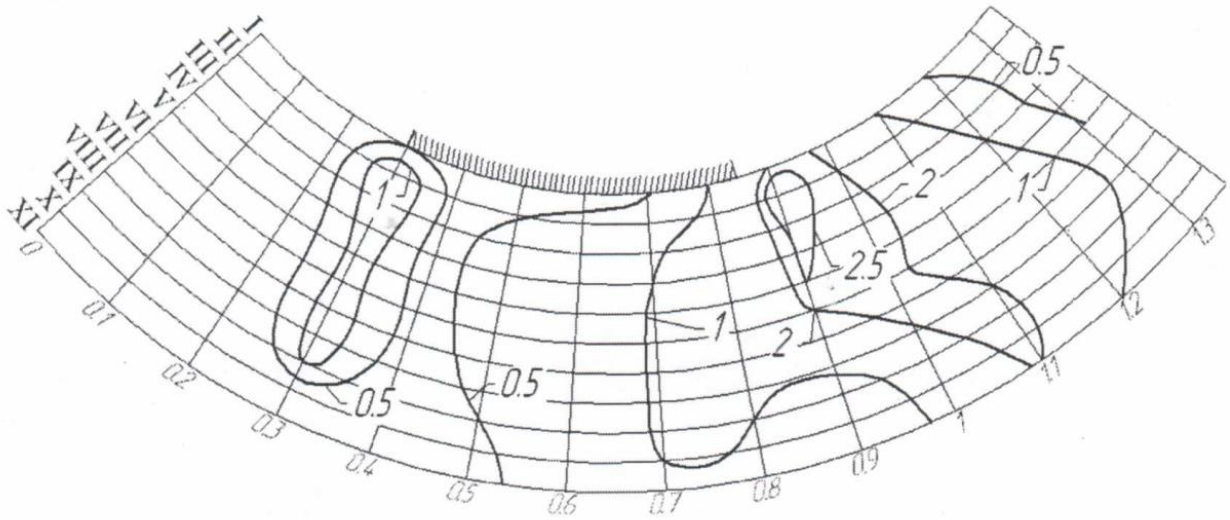


Рисунок 6. Поле изгибных напряжений σ_θ в кн/см^2 в элементе 2

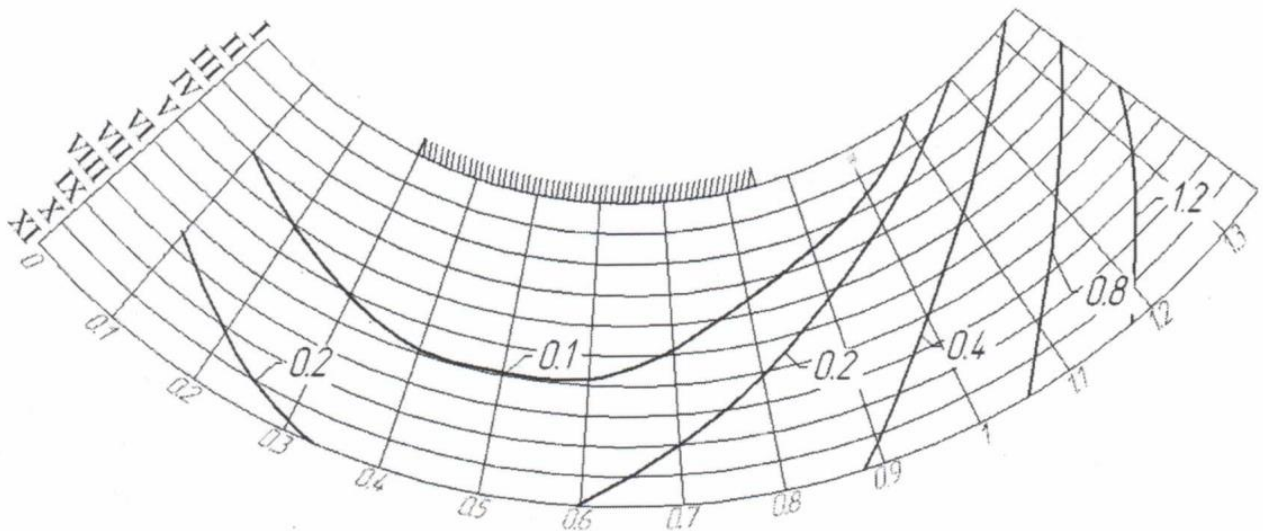


Рисунок 7. Поле цепных напряжений $\tau_{\alpha\theta}^{11}$ в кн/см^2 в элементе 2

Матрица коэффициентов при неизвестных k_{mn} получилась состоящей из девяти блоков, каждый размером 24х24. Два блока, наиболее удаленных от главной диагонали, были нулевыми. Построенные по результатам расчета поля изгибающих моментов и напряжений приведены на рисунках 3-7.

Выводы

1. Расчеты показали, что в элементах геликоидальных оболочек при приложении нормального давления наряду с изгибными (нормальными) напряжениями возникают касательные (цепные) напряжения.

2. Наибольшие изгибные (нормальные) напряжения возникают в элементе с защемлением по всей длине внутренней дуги оболочки примерно в ее середине.

3. Наибольшие изгибные (нормальные) напряжения возникают в элементе с защемлением только по части внутренней дуги в областях по краям защемления.

Литература

1. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л.: Судпромгиз, 1962. 432 с.
2. Соколовский В.В. О расчете сферической оболочки // Доклады АН СССР. Новая серия. 1937. Т.16. №1. С.19-24.
3. Соколовский В.В. О безмоментных оболочках вращения // ПММ. 1938. Т.1. Вып. 3. С. 189-202.
4. Соколовский В.В. Уравнения равновесия безмоментных оболочек // ПММ. 1943. Т.7. Вып. 1. С.56-65.
5. Соломой Л. Одномерная задача для геликоидальной оболочки // ПММ. 1954. Т.18. №1. С.43-44.
6. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружения. М.: Гостехиздат, 1957. 536с.
7. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Физматгиз, 1963. 636 с.
8. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М. Наука, 1971. 808 с.
9. Филин А.П. Элементы теории оболочек. Л.: Стройиздат, 1975. 256 с.
10. Новожилов В.В., Черных К.Ф., Михайловский Е.И. Линейная теория оболочек. Л.: Политехника, 1991. 656 с.
11. Постнов В.А. Численные методы расчета судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1977. 279 с.
12. Соломенно Н.С., Абрания К.Г., Сорокин В.В. Прочность и устойчивость пластин и оболочек судового корпуса. Л.: Судостроение, 1967. 488 с.
13. ANSYS / Theory Reference, Rel. 10.0 – ANSYS Inc., Houston, 2004 [электронный ресурс] URL: www.ansys.com [дата обращения: 25.02.2014].
14. National Maritime research Institute [электронный ресурс] URL: <http://www.nmri.go.jp/cfd/cfdws05/gotheuburg2000/KCS/coutainer.html> (дата обращения: 25.02.2014).
15. Larsson L., Patel, V.C., Dyne G. Ship Viscous Flow. Flowtech International AB. 1991. №2.
16. Larsson L. The SSPA-ITTC Workshop on Ship Boundary Layers. Swedish Maritime Research Centre. 1980. №90. 264 p.
17. Stern F., Longo J., Maksoud M.A., Suzuki, T. Evaluation of Surface-Ship Resistance and Propulsion Model-Scale Database for CFD Validation // Proceeding 1st Symposium on Marine Application of Computation Fluid Dynamics. 1998. Pp. 1-29.
18. Verification and Validation of CFD Simulations / Stern F., Wilson R.V., Coleman H., Paterson E.G. // IHR Presentation. 1999. № 407. 46 p.
19. Бочкарев С.А., Матвеев В.П. Численное моделирование устойчивости нагруженных оболочек вращения при внутреннем течении жидкости // ПМТФ. 2008. Т. 49. №2. С.185-195.
20. Елисеев В.В. Механика упругих тел. СПб.: Изд-во С.-Петербург. гос. политехн. ун-та, 2003. 336 с.
21. Елисеев В.В., Ветюков Ю.М., Зиновьева Т.В. Дивергенция геликоидальной оболочки в трубе с текущей жидкостью // Прикладная механика и техническая физика. 2011. Т. 52. №3. С.143-152.
22. Eliseev V.V., Vetyukov Y.M. Finite deformation of thin shells in the context of analytical mechanics of material surfaces // Acta Mechanica. 2010. Vol. 209. № 1. Pp. 43-57.
23. Качанов Л.М. Расчет прочности лопасти водяной турбины // Сборник трудов «Вопросы прочности лопасти водяной турбины», Л.: Изд-во ЛГУ, 328с.
24. Кантор Б.Я., Филиппов А.П. Расчет изгиба секторной пластины переменной толщины, заземленной по части дугового края, на быстродействующей счетной машине // Известия АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. 1962. №1. С.144-155.
25. Колтунов С.Я., Михайловский Е.И. Квазисимметрическая деформация подкрепленной геликоидальной оболочки // Теория оболочек и пластин: Труды IX Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. Л.: Судостроение, 1975. С.73-76.
26. Колтунов С.Я. К расчету напряженного состояния в конечных геликоидальных оболочках // Известия АН СССР. МТТ.1980. №6. С.149-152.
27. Кривошапко, С.Н. Расчет и проектирование винтообразных конструкций, применяемых в строительстве и строительных машинах // Строительные конструкции и материалы. С. 52-66.

28. Михайловский Е.И. Прямые оптимальные задачи для оболочек с подкрепленным краем. Л. Изд-во Ленинград. ун-та, 1986. 220 с.
29. Рекач В.Г. Статический расчет тонкостенных пространственных конструкций. М.: Стройиздат, 1975. 256 с.
30. Рекач В.Г., Кривошапко С.Н. Расчет оболочек сложной геометрии: Монография. М.: Изд-во УДН, 1998. 176 с.
31. Рынковская М.И. К вопросу расчета прямых геликоидальных оболочек по методу В.Г. Рекача. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2006. №2. С.63-66.
32. Рынковская М.И. Применение метода В.Г. Рекача к расчету прямых геликоидальных оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №3. С.23-29.
33. Рынковская М.И. Расчет и применение геликоидальных оболочек // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2009. №3. С.113-116.
34. Рынковская М.И. Применение и расчет геликоидальных оболочек в архитектуре и строительстве // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2012. №4. С.84-90.
35. Сорокина А.Г. Расчет формы деформированной срединной поверхности геликоидально симметричной оболочки открытого профиля при больших перемещениях на основе теории чистого изгиба // Известия высших заведений. Машиностроение. 2011. №11. С.8-13.
36. Сорокина А.Г. Расчет упругой характеристики ленточной пружины (геликоидально симметричной оболочки открытого профиля) при больших перемещениях на основе теории чистого изгиба // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. №7. С.22-26.
37. Халаби Салем Махмуд. Моментная теория расчета псевдо-торсовых геликоидальных оболочек в криволинейных неортогональных координатах: Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук // Сборник рефератов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Серия 16: 29. Физика.30. Механика.41. Астрономия.89. Космические исследования. 2006. №6. 46 с.
38. Rekach V.G. Static theory of thin-walled space structures. М.: "Mir Publishers" 1978. 292 p.

Field stresses state in the helicoidal shell

L.P. Shevelev¹, N.V. Korikhin², A.I. Golovin³

Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Article history

Received 12 September 2013
Received in revised form 25 February
2014
Accepted 28 February 2014

Keywords

shell
calculation of stress strain state
stress field
helicoidal
analytic solution

ABSTRACT

The review works, devoted to the analysis of the stress-strained state of helicoidal shells under various types of loading are completed in this work.

Analytic solution of the problem stress state of a shell as structural element is demonstrated.

Results of calculations of the shells under the action of normal pressure for two cases of fixing are presented.

¹ *Corresponding author:*

+7 (911) 918 6106, sopromat.shevelev@yandex.ru (Leonid Petrovich Shevelev, D. Sc., Professor)

² +7 (911) 918 6106, Kor440@mail333.com (Nikolay Vasiljevich Korikhin, Ph.D., Associate professor)

³ +7 (911) 918 6106, sopromat.golovin@yandex.ru (Alexander Ivanovich Golovin, Ph.D, Associate professor)

References

1. Novozhilov V.V. *Teoriya tonkikh obolochek* [The theory of thin shells]. L.:Sudpromgiz, 1962. 432 p. (rus)
2. Sokolovskiy V.V. *O raschete sfericheskoy obolochki* [Calculation of spherical shell] // *Doklady AN SSSR. Novaya seriya*. 1937. Vol. 16. №1. Pp.19-24. (rus)
3. Sokolovskiy V.V. *O bezmomentnykh obolochkakh vrashcheniya* [Momentless shell of revolution] // *PMM*. 1938. Vol.1. № 3. Pp. 189-202. (rus)
4. Sokolovskiy V.V. *Uravneniya ravnovesiya bezmomentnykh obolochek* [The equations of equilibrium membrane shells] // *PMM*. 1943. Vol.7.№1. Pp.56-65. (rus)
5. Solomoi L. *Odnomernaya zadacha dlya gelikoidalnoy obolochki* [Dimensional problem for helical membrane] // *PMM*. 1954. Vol.18. №1. Pp.43-44. (rus)
6. Timoshenko S.P. *Istoriya nauki o soprotivlenii materialov s kratkimi svedeniyami iz istorii teorii uprugosti i teorii sooruzheniya*. [History of the science about strength of materials with a summary of theory of elasticity and the theory of structures] M.: Gostekhizdat, 1957. 536 p. (rus)
7. Timoshenko S.P., Voynovskiy-Kruger S. [Plates and Shells] *Plastinki i obolochki*. M.: Fizmatgiz, 1963. 636 p. (rus)
8. Timoshenko S.P. *Ustoychivost sterzhney, plastin i obolochek*. [Stability of rods, plates and shells] M. *Nauka*, 1971. 808 p. (rus)
9. Filin A.P. *Elementy teorii obolochek* [Elements of the theory of shells] L.: Stroyizdat, 1975. 256 p. (rus)
10. Novozhilov V.V., Chernykh K.F., Mikhaylovskiy Ye.I. [The linear theory of shells] *Lineynaya teoriya obolochek*. L.:Politehnika, 1991. 656 p. (rus)
11. Postnov V.A. *Chislennyye metody rascheta sudovykh konstruksiy* [Numerical methods for calculation of ship structures] L.: Sudostroyeniye, 1977. 279 p. (rus)
12. Solomenno N.S., Abranyai K.G., Sorokin V.V. *Prochnost i ustoychivost plastin i obolochek sudovogo korpusa* [Strength and stability of plates and shells ship hull] L.: Sudostroyeniye, 1967. 488 p. (rus)
13. ANSYS / Theory Reference, Rel. 10.0 – ANSYS Inc., Houston, 2004 [web source] URL: www.ansys.com (date of reference: 25.02.2014).
14. National Maritime research Institute [web source] URL: <http://www.nmri.go.jp/cfd/cfdws05/gotheuburg2000/KCS/coutainer.html> (date of reference: 25.02.2014).
15. Larsson L., Patel, V.C., Dyne G. Ship Viscous Flow. Flowtech International AB. 1991. №2.
16. Larsson L. The SSPA-ITTC Workshop on Ship Boundary Layers. Swedish Maritime Research Centre. 1980. №90. 264 p.
17. Stern F., Longo J., Maksoud M.A., Suzuki, T. Evaluation of Surface-Ship Resistance and Propulsion Model-Scale Database for CFD Validation // Proceeding 1st Symposium on Marine Application of Computation Fluid Dynamics. 1998. Pp. 1-29.
18. Verification and Validation of CFD Simulations / Stern F., Wilson R.V., Coleman H., Paterson E.G. // IIHR Presentation. 1999. № 407. 46 p.
19. Bochkarev C.A., Matveyenko V.P. *Chislennoye modelirovaniye ustoychivosti nagruzhennykh obolochek vrashcheniya pri vnutrennem techenii zhidkosti* [Numerical modeling of stability loaded shells of revolution under internal fluid flow] // *PMTF*. 2008. Vol. 49. №2. Pp.185-195. (rus)
20. Yeliseyev V.V. *Mekhanika uprugikh tel*. [Mechanics of elastic bodies] SPb.: Izd-vo S.-Peterb. gos. politekhn. un-ta, 2003. 336 p. (rus)
21. Yeliseyev V.V., Vetyukov Yu.M., Zinovyeva T.V. *Divergentsiya gelikoidalnoy obolochki v trube s tekushchey zhidkostyu* [Divergence helicoidal shell in a tube with flowing liquid] // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2011. Vol. 52. №3. Pp.143-152. (rus)
22. Eliseev V.V., Vetyukov Y.M. Finite deformation of thin shells in the context of analytical mechanics of material surfaces // *Acta Mechanica*. 2010. Vol. 209. № 1. Pp. 43-57.
23. Kachanov L.M. *Raschet prochnosti lopasti vodyanoy turbiny* // *Sbornik trudov «Voprosy prochnosti lopasti vodyanoy turbiny»* [Strength calculation blade water turbine] L.: Izd-vo LGU, 328 p. (rus)
24. Kantor B.Ya., Filippov A.P. *Raschet izgiba sektornoy plastiny peremennoy tolshchiny, zashchemlennoy po chasti dugovogo kraya, na bystrodeystvuyushchey schetnoy mashine* [Calculation of bending pie plate of variable thickness, clamped edge of the arc, counting on a fast car] // *Izvestiya AN SSSR. OTN. Mekhanika i mashinostroyeniye*. 1962. №1. Pp.144-155. (rus)

25. Koltunov S.Ya., Mikhaylovskiy Ye.I. *Kvazisimmetricheskaya deformatsiya podkreplennoy gelikoidalnoy obolochki* [Quasisymmetric stiffened helical deformation shell] // *Teoriya obolochek i plastin: Trudy IX Vsesoyuznoy konferentsii po teorii obolochek i plastin. L.: Sudostroyeniye. Pp.73-76. (rus)*
26. Koltunov S.Ya. *K raschetu napryazhennogo sostoyaniya v konechnykh gelikoidalnykh obolochkakh* [On the calculation of the stress state in the finite helical shells] // *Izvestiya AN SSSR. MTT. 1980. №6. Pp.149-152. (rus)*
27. Krivoshapko, S.N. *Raschet i proyektirovaniye vintobraznykh konstruksiy, primenyayemykh v stroitelstve i stroitelnykh mashinakh* [Calculation and design of helical structures used in building and construction machines] // *Stroitelnyye konstruksii i materialy. Pp. 52-66. (rus)*
28. Mikhaylovskiy Ye.I. *Pryamyye optimalnyye zadachi dlya obolochek s podkreplennym krayem*. [Direct optimal problems for shells with reinforcement edge] *L. Izd-vo Leningrad. un-ta, 1986. 220 p. (rus)*
29. Rekach V.G. *Sticheskiy raschet tonkostennykh prostranstvennykh konstruksiy*. [Static analysis of thin-walled spatial structures] *M.: Stroyizdat, 1975. 256 p. (rus)*
30. Rekach V.G., Krivoshapko S.N. *Raschet obolochek slozhnoy geometrii: Monografiya*. [Calculation of shells of complex geometry] *M.: Izd-vo UDN, 1998. 176 p. (rus)*
31. Rynkovskaya M.I. *K voprosu rascheta pryamykh gelikoidalnykh obolochek po metodu V.G. Rekacha* [The issue of calculating the direct method of helicoidal shells VG Rekacha.] // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2006. №2. Pp.63-66. (rus)*
32. Rynkovskaya M.I. *Primeneniye metoda V.G. Rekacha k raschetu pryamykh gelikoidalnykh obolochek* [Application of Rekach's method to calculate direct helicoidal shells] // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2008. №3. Pp.23-29. (rus)*
33. Rynkovskaya M.I. *Raschet i primeneniye gelikoidalnykh obolochek* [Calculation and application of helical shells] // *Vestnik Rossiyskogo un-ta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya. 2009. №3. Pp.113-116. (rus)*
34. Rynkovskaya M.I. *Primeneniye i raschet gelikoidalnykh obolochek v arkhitekture i stroitelstve* [Application and calculation of helicoidal shells in architecture and construction] // *Vestnik Rossiyskogo un-ta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya. 2012. №4. Pp.84-90. (rus)*
35. Sorokina A.G. *Raschet formy deformirovannoy sredinnoy poverkhnosti gelikoidalno simmetrichnoy obolochki otkrytogo profilya pri bolshikh peremeshcheniyakh na osnove teorii chistogo izgibaniya* [The shape of the deformed middle surface of the helically symmetric shell open profile with large displacements based on the theory of pure bending] // *Izvestiya vysshikh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2011. №11. Pp. 8-13. (rus)*
36. Sorokina A.G. *Raschet uprugoy kharakteristiki lentochnoy pruzhiny (gelikoidalno simmetrichnoy obolochki otkrytogo profilya) pri bolshikh peremeshcheniyakh na osnove teorii chistogo izgibaniya* [Calculation of elastic characteristic ribbon spring (helically symmetric shell open profile) under large displacements based on the theory of pure bending] // *Izvestiya vysshikh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2012. №7. Pp. 22-26. (rus)*
37. Khalabi Salem Makhmud. *Momentnaya teoriya rascheta psevdotorsovykh gelikoidalnykh obolochek v krivolinyenykh neortogonalnykh koordinatakh: Diss. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk* [Dissertation of Ph.D. Moment theory calculation of the pseudo-helical torsovyh shells in nonorthogonal curvilinear coordinates] // *Sbornik referatov nauchno-issledovatel'skikh i opytно-konstruktorskikh rabot. Seriya 16: 29. Fizika.30. Mekhanika.41. Astronomiya.89. Kosmicheskkiye issledovaniya. 2006. №6. 46 p. (rus)*
38. Rekach V.G. *Static theory of thin-walled space structures*. M.: "Mir Publishers" 1978. 292 p.