

$$-\frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \gamma(\xi_0, \tau) \times \\ \times \left[\sin((\tau - \xi_0)/2 - \alpha) - \operatorname{ctg} 2\alpha \cos((\tau - \xi_0)/2 - \alpha) \right] d\tau. \quad (14)$$

The solution of the problem (7), (11) is:

$$V = \gamma(\xi_0, \eta_0) R(\xi, \xi_0, \eta, \eta_0) \sin((\eta_0 - \xi_0)/2 - \alpha) - \\ - \frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \gamma(\xi_0, \tau) \times \\ \times \left[\operatorname{ctg} 2\alpha \sin((\tau - \xi_0)/2 - \alpha) - \cos((\tau - \xi_0)/2 - \alpha) \right] d\tau, \quad (15)$$

where $R(\xi, \eta, \xi_0, \eta_0) = I_0 \left(\sqrt{(\xi - \xi_0)(\eta - \eta_0)} / \sin 2\alpha \right)$. From the equation (9) taken into account (14) we have discovered coordinate x_k . Using (15), and from equations (12) we have received coordinate y_k . This way, we have determined point K , in which the values of functions ξ, η are restored.

С. И. Сенашов, А. Яхно

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОДНОРОДНЫХ ДВУМЕРНЫХ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Описан метод решения граничных задач для гиперболической системы однородных квазилинейных уравнений двух независимых переменных с применением законов сохранения. Этот метод применяется к задаче Коши для системы двумерной пластичности с условием Сен-Венана–Мизеса, а также для системы с условием Колумба.

Ключевые слова: законы сохранения, двумерная идеальная пластичность

© Senashov S. I., Yakhno A., 2009

УДК 539.3

А. В. Лопатин, Р. В. Авакумов

УСТОЙЧИВОСТЬ ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ С ДВУМЯ СВОБОДНЫМИ КРАЯМИ, НАГРУЖЕННОЙ ИЗГИБАЮЩИМ МОМЕНТОМ В ПЛОСКОСТИ*

Решена задача устойчивости при чистом изгибе ортотропной пластины, у которой два противоположных края свободны, а два других края шарнирно закреплены. Для решения задачи использовался метод конечных разностей.

Ключевые слова: ортотропная пластина, метод конечных разностей.

Задача устойчивости прямоугольной пластины, нагруженной по двум противоположным краям усилиями, распределенными по линейному закону, впервые была решена для изотропной пластины И. Г. Бубновым [1] и С. П. Тимошенко [2]. Для ортотропной пластины эта задача была впервые сформулирована и решена С. Г. Лехницким [3]. Эти классические решения были получены для случая шарнирного закрепления краев пластины в форме двойных тригонометрических рядов. Для определения критического усилия в этих решениях был использован энергетический метод Ритца. Это связано с тем,

The bibliographic list

1. Symmetries and conservation laws for differential equations of mathematical physics : monograph / A. V. Bocharov, V. N. Chetverikov, S. V. Duzhin, et al. Amer. Math. Soc., 1999.
2. Senashov, S. I. The solving of the main boundary problems of plasticity by means of conservation laws. Modern Group Analysis VII, Developments in Theory, Computation and Application / S. I. Senashov, A. N. Yakhno. Norway : MARS Publishers, 1999. P. 149–154.
3. Senashov, S. I. Simmetries and conservation laws of 2-dimensional ideals plasticity / S. I. Senashov, A. M. Vinogradov // Proc. Edinburg Math. Soc. 1988. Vol. 31. P. 415–439.
4. Kiriakov, P. P. Applications of symmetries and conservation laws for solution of differential equations / P. P. Kiriakov, S. I. Senashov, A. N. Yakhno // Publ. of Siberian Branch of Russian Academy of Science. 2001. (In Russian).

что дифференциальное уравнение устойчивости пластины имеет переменный коэффициент и поэтому его интегрирование оказывается затруднительным. Метод Ритца был также использован в [4] и [5] для решения рассматриваемой нами задачи применительно к композитным пластинам с шарнирно закрепленными краями, которые нагружены равномерными сжимающими усилиями.

Таким образом, можно утверждать, что устойчивость пластины при изгибе в плоскости наиболее полно исследована только для самого распространенного вида граничных условий – шарнирного закрепления сторон. Это

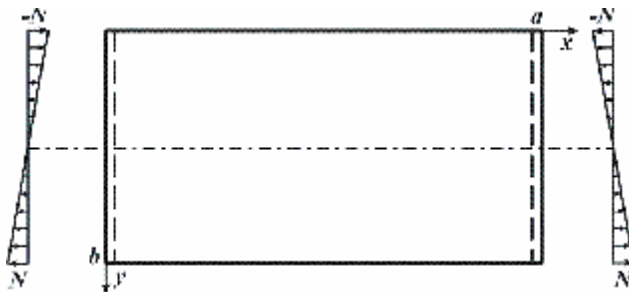
*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-86П/7).

подтверждает и тот факт, что в справочнике [6] имеется всего одна ссылка на статью К. Нолке [7], в которой рассматриваемая задача решена для пластины с двумя защемленными продольными краями.

Авторами решена задача устойчивости при чистом изгибе ортотропной пластины, у которой два противоположных края свободны, а два других края шарнирно закреплены. Отметим, что для таких граничных условий задача о выпучивании ортотропной пластины при действии сил, линейно распределенных по краям, до настоящего времени не исследована. Задача устойчивости ортотропной пластины для аналогичных граничных условий решена лишь для пластины, нагруженной по краям только равномерными сжимающими усилиями [8].

В данной статье решение исходного уравнения устойчивости разыскивалось в форме Леви. Это позволило свести разрешающее уравнение в частных производных к обыкновенному однородному дифференциальному уравнению, для решения которого использовался метод конечных разностей. В результате была получена однородная система линейных алгебраических уравнений, аппроксимирующая краевую задачу. Задача определения критического усилия была сведена к вычислению безразмерного коэффициента устойчивости, значение которого соответствовало минимальному собственному числу однородной системы уравнений. Также были решены задачи устойчивости для изотропной пластины и симметрично армированной ортотропной пластины и выполнен анализ влияния геометрических и упругих параметров пластины на величину коэффициента устойчивости и на характер волнообразования при выпучивании.

Решение уравнения устойчивости. Рассмотрим ортотропную пластину, срединная плоскость которой отнесена к декартовым координатам x, y (см. рисунок). Обозначим через a и b размеры пластины по осям x и y соответственно. Два противоположных края пластины $y = 0$ и $y = b$ свободны, а два других края $x = 0$ и $x = a$ шарнирно закреплены. По закрепленным краям пластина нагружена нормальными усилиями, изменяющимися по линейному закону. Распределение усилий на краях соответствует двум изгибающим моментам, действующим в плоскости пластины.



Нагружение пластины

Классическое уравнение устойчивости для ортотропной пластины имеет вид

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - N_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2N_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - N_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где $w = w(x, y)$ – прогиб пластины; $D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$ – изгибные жесткости пластины, приведенные в [9]; N_x^0, N_y^0, N_{xy}^0 – мембранные усилия, соответствующие докритическому состоянию пластины.

Будем считать, что исходное напряженное состояние пластины соответствует ее чистому изгибу в плоскости x, y . Тогда мембранные докритические усилия могут быть определены следующим образом:

$$N_x^0 = -N \left(1 - 2 \frac{y}{b} \right), \quad N_{xy}^0 = 0, \quad N_y^0 = 0, \quad (2)$$

где N – значение максимального усилия на краях $y = 0, y = b$.

С учетом равенств (2) уравнение устойчивости (1) примет вид

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N \left(1 - 2 \frac{y}{b} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим граничные условия. На шарнирно закрепленных краях $x = 0$ и $x = a$ прогибы пластины и изгибающие моменты равны нулю. На свободных краях пластины $y = 0$ и $y = b$ должны отсутствовать изгибающие моменты и обобщенные перерезывающие силы [9]. Эти граничные условия могут быть записаны через прогиб пластины w . Для краев с шарнирными опорами при $x = 0$ и $x = a$ будем иметь

$$w = 0, \quad D_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0. \quad (4)$$

На свободных краях при $y = 0$ и $y = b$ граничные условия можно записать в виде

$$D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad D_{22} \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (D_{12} + 4D_{33}) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 0. \quad (5)$$

Таким образом, задача устойчивости пластины сводится к определению параметра N , при котором однородная краевая задача (3), (4) и (5) будет иметь решение, отличное от нуля.

Шарнирное закрепление краев $x = 0$ и $x = a$ допускает представление решения уравнения (3) в форме Леви, т. е. в виде одинарного тригонометрического ряда

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} w_m(y) \sin \lambda_m x, \quad (6)$$

где m – число полуволн вдоль стороны a ; $w_m(y)$ – неизвестная функция; $\lambda_m = m\pi/a$. Однако в рассматриваемой нами задаче нет необходимости аппроксимировать прогиб пластины в направлении оси x рядом (6). Вполне достаточно удержать в нем один, первый член с $m = 1$. На самом деле, при выпучивании пластины ее свободные края не испытывают никакого стеснения. Поэтому искривление пластины всегда происходит с образованием одной полуволны вдоль стороны a . Эта полуволна на краю $y = 0$, где $N_x^0 = -N$, имеет максимальную амплитуду, которая уменьшается к краю $y = b$.

Все вышесказанное позволяет представить решение уравнения (3) в виде

$$w(x, y) = w(y) \sin \lambda x, \quad (7)$$

где $w(y) = w_1(y)$; $1 = \pi/a$.

Подставляя (7) в (3), получим обыкновенное однородное дифференциальное уравнение

$$D_{11}\lambda^2 w - 2(D_{12} + 2D_{33})\frac{d^2 w}{dy^2} + \frac{D_{22}}{\lambda^2}\frac{d^4 w}{dy^4} - N\left(1 - 2\frac{y}{b}\right)w = 0. \quad (8)$$

Здесь и далее $w = w(y)$. Подставляя (7) в граничные условия (5), при $y = 0$ и $y = b$ будем иметь

$$D_{12}\lambda^2 w - D_{22}\frac{d^2 w}{dy^2} = 0, \quad (9)$$

$$-D_{22}\frac{d^3 w}{dy^3} + (D_{12} + 4D_{33})\lambda^2\frac{dw}{dy} = 0. \quad (10)$$

Для решения уравнения (8) воспользуемся методом конечных разностей. Разобьем сторону пластины b на n равных частей. Обозначим через s шаг разбиения. Тогда $s = b/n$. Точки разбиения имеют координаты

$$y_i = s(i-1), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (11)$$

где $k = n + 1$.

Для произвольной i -й точки аппроксимируем производные, входящие в (8), (9) и (10), следующими конечно-разностными соотношениями:

$$\left(\frac{dw}{dy}\right)_i = \frac{1}{2s}(-w_{i-1} + w_{i+1}),$$

$$\left(\frac{d^2 w}{dy^2}\right)_i = \frac{1}{s^2}(w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1}), \quad (12)$$

$$\left(\frac{d^3 w}{dy^3}\right)_i = \frac{1}{2s^3}(-w_{i-2} + 2w_{i-1} - 2w_{i+1} + w_{i+2}),$$

$$\left(\frac{d^4 w}{dy^4}\right)_i = \frac{1}{s^4}(w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2}),$$

где $w_i = w(y_i)$.

Используя равенства (12), запишем для i -й точки конечно-разностную аппроксимацию дифференциального уравнения (8):

$$D_{11}\lambda^2 w_i - 2\frac{D_{12} + 2D_{33}}{s^2}A_i + \frac{D_{22}}{\lambda^2 s^4}B_i - N\left(1 - 2\frac{y_i}{b}\right)w_i = 0, \quad (13)$$

где A_i и B_i – разностные соотношения, которые имеют следующий вид:

$$A_i = w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1},$$

$$B_i = w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2}. \quad (14)$$

Для удобства дальнейшего анализа преобразуем уравнение (13) к уравнению с безразмерными коэффициентами. Учитывая выражение (11) и равенства $\lambda = \pi/a$, $s = b/n$, из (13) будем иметь

$$\alpha\pi^2 w_i - 2\beta n^2 A_i + \frac{n^4}{\alpha\pi^2} B_i - \eta t_i w_i = 0, \quad (15)$$

где $t_i = 1 - 2(i-1)/n$;

$$\alpha = \sqrt{\frac{D_{11}}{D_{22}}\frac{b^2}{a^2}}; \quad \beta = \frac{D_{12} + 2D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}; \quad (16)$$

$$\eta = \frac{Nb^2}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}, \quad (17)$$

здесь η – безразмерный коэффициент устойчивости.

Записывая уравнение (15) для всех точек $i = 1, 2, \dots, k$, получим однородную систему линейных алгебраических уравнений, которая наряду с неизвестными w_1, w_2, \dots, w_k будет содержать также неизвестные в законтурных точках.

Покажем место законтурных неизвестных в структуре системы уравнений. Из уравнения (15) следует, что для этого необходимо определить разностные соотношения A_i и B_i на краях пластины $y = 0$ и $y = b$. Положим последовательно в равенствах (14) $i = 1$ и $i = k$. Тогда

$$A_1 = w_0 - 2w_1 + w_2,$$

$$B_1 = w_{-1} - 4w_0 + 6w_1 - 4w_2 + w_3 \quad (18)$$

и

$$A_k = w_{k-1} - 2w_k + w_{k+1},$$

$$B_k = w_{k-2} - 4w_{k-1} + 6w_k - 4w_{k+1} + w_{k+2}. \quad (19)$$

Таким образом, законтурными неизвестными являются $w_{-1}, w_0, w_{k+1}, w_{k+2}$. Отметим, что неизвестные w_0 и w_{k+1} также будут входить в разностные соотношения B_2 и B_{k-1} :

$$B_2 = w_0 - 4w_1 + 6w_2 - 4w_3 + w_4,$$

$$B_{k-1} = w_{k-3} - 4w_{k-2} + 6w_{k-1} - 4w_k + w_{k+1}. \quad (20)$$

Для определения четырех законтурных неизвестных необходимы четыре уравнения, которые можно получить с помощью конечно-разностной аппроксимации граничных условий (9) и (10). Заменяя производные в равенстве (9) конечно-разностными соотношениями (12) при $i = 1$ и $i = k$, будем иметь

$$\beta_1 \pi^2 w_1 - \frac{n^2}{\alpha}(w_0 - 2w_1 + w_2) = 0,$$

$$\beta_1 \pi^2 w_k - \frac{n^2}{\alpha}(w_{k-1} - 2w_k + w_{k+1}) = 0, \quad (21)$$

где

$$\beta_1 = \frac{D_{12}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \quad (22)$$

Из уравнений (21) найдем

$$w_0 = (r_1 + 2)w_1 - w_2, \quad w_{k+1} = (r_1 + 2)w_k - w_{k-1}, \quad (23)$$

где $r_1 = \alpha\beta_1\pi^2/n^2$.

Для определения w_{-1} и w_{k+2} аппроксимируем производные в равенстве (10) разностными формулами (12). Подставляя (12) в (10) при $i = 1$ и $i = k$, получим

$$-\frac{n^2}{\alpha}(-w_{-1} + 2w_0 - 2w_2 + w_3) + (\beta_1 + 4\beta_2)\pi^2(-w_0 + w_2) = 0,$$

$$-\frac{n^2}{\alpha}(-w_{k-2} + 2w_{k-1} - 2w_{k+1} + w_{k+2}) + (\beta_1 + 4\beta_2)\pi^2(-w_{k-1} + w_{k+1}) = 0, \quad (24)$$

где

$$\beta_2 = \frac{D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \quad (25)$$

Учитывая (23), из (24) найдем

Коэффициент устойчивости η_{cr} может быть также представлен в виде аналитической формулы, которая получена обработкой результатов вычислений методом наименьших квадратов:

$$\eta_{cr} = \frac{18,9695}{(c - 0,2726)^{0,9559}} \quad (34)$$

Формула (34) дает вполне приемлемые результаты при определении критического коэффициента устойчивости для изотропной пластины.

Во втором примере рассмотрим пластину, которая образована из однонаправленных или ортогонально армированных тонких слоев, уложенных так, что оси основного армирования составляют с осью x углы $\pm\varphi$. При большом числе слоев и одинаковом количестве чередующихся слоев с углами $\pm\varphi$ структуру пластины можно считать однородной и ортотропной. Тогда изгибные жесткости пластины определяются равенствами

$$D_{11} = A_{11} \frac{h^3}{12}, \quad D_{22} = A_{22} \frac{h^3}{12}, \quad D_{12} = A_{12} \frac{h^3}{12},$$

$$D_{33} = A_{33} \frac{h^3}{12}, \quad (35)$$

где

$$A_{11} = \bar{E}_1 c_\varphi^4 + \bar{E}_2 s_\varphi^4 + 2\bar{E}_{12} c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{12} = \bar{E}_1 \mu_{12} + (\bar{E}_1 + \bar{E}_2 - 2\bar{E}_{12}) c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{22} = \bar{E}_1 s_\varphi^4 + \bar{E}_2 c_\varphi^4 + 2\bar{E}_{12} c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{33} = (\bar{E}_1 + \bar{E}_2 - 2\bar{E}_{12} \mu_{12}) c_\varphi^2 s_\varphi^2 + G_{12} (c_\varphi^2 - s_\varphi^2)^2; \quad (36)$$

$$\bar{E}_{12} = \bar{E}_1 \mu_{12} + 2G_{12}; \quad \bar{E}_1 = \frac{E_1}{1 - \mu_{12} \mu_{21}}; \quad \bar{E}_2 = \frac{E_2}{1 - \mu_{12} \mu_{21}};$$

$$c_\varphi = \cos \varphi; \quad s_\varphi = \sin \varphi.$$

Здесь E_1, E_2 – модули упругости в направлении армирования и направлении перпендикулярном ему, G_{12} – модуль сдвига, μ_{12}, μ_{21} – коэффициенты Пуассона.

Учитывая равенства (35), из формул (16), (22) и (25) получим

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}}, \quad \beta = \frac{A_{12} + 2A_{33}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}},$$

$$\beta_1 = \frac{A_{12}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}}, \quad \beta_2 = \frac{A_{33}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}}. \quad (37)$$

Таким образом, для ортотропной пластины коэффициент устойчивости зависит от двух параметров: отношения сторон c и угла армирования φ . Для удобства параметрического анализа преобразуем формулу

$$\eta_{cr} = \frac{N_{cr} b^2}{\sqrt{D_{11} D_{22}}} \quad (38)$$

к следующему виду:

$$\bar{\eta}_{cr} = \frac{N_{cr} b^2}{D_1}, \quad (39)$$

где $\bar{\eta}_{cr} = \eta_{cr} \sqrt{f_{11} f_{22}}$, здесь $f_{11} = A_{11} / E_1$, $f_{22} = A_{22} / E_2$;

$$D_1 = E_1 \frac{h^3}{12}.$$

Выполним анализ влияния c и φ на величину $\bar{\eta}_{cr}$. Расчеты проводились для углепластика с $E_1 = 142,8$ ГПа,

$E_2 = 9,13$ ГПа, $G_{12} = 5,49$ ГПа, $E_1 = 142,8$ ГПа, $\mu_{12} = 2, \mu_{21} = 32$. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость параметров $c, \varphi, \bar{\eta}_{cr}$

c	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
φ	14,0	22,0	22,0	22,0	22,0
$\bar{\eta}_{cr}$	16,17	6,29	3,94	2,88	2,27

Данные табл. 2 показывают, что максимальный коэффициент устойчивости для квадратной пластины ($c = 1$) реализуется при $\varphi = 14^\circ$. С увеличением удлинения пластины оптимальный угол армирования стремится к 22° .

Таким образом, авторами решена задача устойчивости ортотропной пластины, два противоположных края которой свободны, а два других шарнирно закреплены. Пластина нагружена в своей плоскости погонными усилиями, распределенными по линейному закону. Задача определения критического усилия для ортотропной пластины была сведена к вычислению безразмерного коэффициента устойчивости. Величина этого коэффициента зависит от геометрических и упругих параметров пластины. Для решения был использован метод конечных разностей. Критический коэффициент устойчивости определялся как минимальное собственное значение соответствующей системы однородных алгебраических уравнений, аппроксимирующих краевую задачу. Были решены задачи устойчивости для изотропной пластины и ортотропной пластины, состоящей из одинаковых симметрично армированных слоев. В результате выполненного параметрического анализа были определены оптимальные углы армирования для пластин с различными удлинениями. Было исследовано влияние отношения сторон пластины и угла армирования на характер волнообразования при выпучивании.

Библиографический список

1. Bubnov, I. G. Theory of Structures of Ships. Vol. 1 and 2 / I. G. Bubnov. St. Petersburg, 1912, 1914.
2. Timoshenko, S. P. Theory of Elastic Stability / S. P. Timoshenko, J. M. Gere. 2nd ed. N. Y. : McGraw-Hill, 1961.
3. Lekhnitskii, S. G. Anisotropic Plates / S. G. Lekhnitskii. N. Y. : Gordon and Breach Pub. Co., 1968.
4. Reddy, J. N. Theory and analysis of elastic plates / J. N. Reddy. Philadelphia : Taylor & Francis, 1998.
5. Whitney, J. M. Structural Analysis of Laminated Anisotropic Plates / J. M. Whitney. Lancaster, Pa : Technomic Publishing Co., Inc., 1987.
6. Bloom, F. Handbook of Thin Plate Buckling and Postbuckling / F. Bloom, D. Coffin. N. Y. : Chapman & Hall / CRC, 2001.
7. Nolke, K. Biegungsbeulung der Rechteckplatte mit eingepannten Langsrandern / K. Nolke // Der Bauingenieur. 1936. Bd. 17. S. 111.
8. Leissa, A. W. Buckling of laminated composite plates and shell panels : technical report AFWAL-TR-85-3069 / A. W. Leissa. 1985.
9. Vasiliev, V. V. Mechanics of Composite Structures / V. V. Vasiliev. Bristol : Taylor & Francis, 1993.

A. V. Lopatin, R. V. Avakumov

BUCKLING OF ORTHOTROPIC PLATES WITH TWO FREE EDGES LOADED WITH PURE IN-PLANE BENDING MOMENT

Buckling problem of orthotropic plates with two free and two simply-supported edges loaded with pure in-plane bending moment is solved in this paper. Finite difference method is used for problem solving.

Keywords: orthotropic plates, finite difference method.

© Лопатин А. В., Авакумов Р. В., 2009

УДК 519.682

К. В. Сафонов, Д. В. Личаргин

РАЗРАБОТКА ВЕКТОРИЗОВАННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НАД СЛОВАМИ И ПОНЯТИЯМИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Обсуждается проблема векторизованных семантических классификаций над словами и понятиями естественного языка. Предложено множество правил порождающей грамматики для генерации вектора семантической классификации. Приведены примеры использования данной классификации. Представлена теорема о недостаточности произвольной формальной классификации. Проанализированы принципы задания осмысленных функций над группами слов классификации.

Ключевые слова: генерация естественного языка, семантика естественного языка.

К числу наиболее важных проблем теории формальных языков, являющейся разделом теоретической информатики, относятся проблемы синтаксического и семантического анализа предложений заданного языка. Применительно же к изучению структуры естественных и машинных языков на первый план выступает проблема генерации осмысленного языка, т. е. совокупности всех грамматически и семантически осмысленных фраз и текстов этого языка, удовлетворяющих определенным критериям осмысленности, например тесту Тьюринга. Актуальность данной проблемы определяется важностью таких прикладных задач, как построение естественно-языковых интерфейсов, экспертных систем, электронных переводчиков, электронных систем реферирования, систем электронного обучения, рекламных программ поддержки диалога с пользователем и т. п.

Основная цель исследования, проведенного авторами, состояла в создании классификации слов и понятий естественного языка, которая бы давала возможность осуществления генерации осмысленной речи и определения критерия осмысленности речи. Для достижения этой цели ставились следующие задачи: определение вектора классификации слов и понятий естественного языка; создание словаря, реализующего эту классификацию на множестве наиболее распространенных слов английского языка; построение алгоритмов генерации осмысленной речи на основе данной классификации; доказательство теоремы о неполноте произвольной формальной классификации для описания оттенков значения слов естественного языка.

Проблема порождения осмысленного подмножества языка изучается многими исследователями: филологами,

программистами, математиками, семасиологами, философами и многими другими [1; 2; 3; 4], при этом наиболее заметные результаты получены в области генерации грамматически осмысленных фраз и структур естественного языка, осуществляемой программами текстовых редакторов, электронными переводчиками и другими системами. Однако генерация семантически осмысленной речи остается менее разработанной темой, хотя многие системы на основе семантических сетей, речевого граффити, онтологий и других методов показывают неплохую эффективность в диалоге с пользователем на естественном языке. Наиболее популярный метод поддержки диалога с пользователем состоит в привлечении баз данных диалога на естественном языке между людьми, участниками форумов и т. п. Но здесь следует отметить все еще недостаточное развитие представления фраз и текстов естественного языка в виде функций и кластеров функций над многомерной семантической классификацией, притом что этот метод показывает свою высокую эффективность для генерации осмысленной речи [5; 6; 7].

Классификация слов и понятий естественного языка. Рассмотрим семантическую классификацию слов и понятий естественного языка, сводимую к 16 классам сем (семантических, смысловых атомов) языка и далее к четырём геносемам (элементарным частицам смысла), а также к понятию связи (кванта смысла), что может быть показано на основе понятийного аппарата семантических сетей. Определение на основе *кванта смысла* представляет собой семантическую сеть, дуги которой несут на себе семантику понятия тождества некоторых элементов, т. е. связи объектов.