

## Математическая модель пьезоэлектрического резонатора с односторонне-выпуклой пластиной эллипсоидального типа

А. Ю. Шмалый

*Украинская Инженерно-Педагогическая Академия, Харьков, Украина*

The report addresses the mathematical model of a piezoelectric resonator with a one-side convex plate of an ellipsoidal shape. Space anisotropy is taken into account of quartz. In this model, we assume that the ellipse's focuses are not obligatory placed on the rotated axes. We show that such a disagreement strongly influences the frequency spectrum of the resonator eigenvibrations. The relations are derived to calculate the frequency spectrum and amplitudes of piezoelectric vibrations.

### 1. Введение.

Использование кварцевых резонаторов как основных элементов стабилизации частоты привело к необходимости исследования собственных колебаний пьезоэлектрических резонаторов. В частности, в прецизионных источниках колебаний основное применение нашли кварцевые резонаторы колебаний сдвига по толщине. Последние изготавливаются в виде тонких пьезоэлектрических пластин с одно- или двухсторонней кривизной и, чаще всего, с двухсторонне расположенными электродами.

Первая математическая теория колебаний тонких пьезоэлектрических пластин была предложена Миндлином в 50-х годах [1]. В дальнейшем она была развита в трудах Тирстена [2] и ряда других авторов ([3-6]). Основываясь на теории колебаний тонких пластин, в первую очередь были изучены кристаллические резонаторы с выпуклой сферической поверхностью (см.[2-4]). В дальнейшем теория была распространена на эллипсоидальную поверхность [5,6]. Следует, однако, отметить, что, несмотря на фундаментальность исходных уравнений, теория Тирстена развита в основном для наиболее важных случаев. При этом часть вопросов остается не изученной. Например, из недавней обзорной статьи Синха [5] следует, что решения найдены в предположении, что фокусы эллипса лежат на одной из осей плоскости пьезопластины. Однако возникают, по крайней мере, две задачи, предполагающие, что фокусы не лежат на осях: 1) учет ошибок изготовления пьезопластин; 2) введение искусственной асимметрии пьезопластины для регулировки спектра. При решении таких задач необходимо учитывать пространственную анизотропию кристалла, а не только ее проявление в направлении нормали к пьезопластине, как это было сделано в работе [6].

В данной работе рассматривается более общая математическая модель резонатора с выпуклой пьезоэлектрической пластиной эллипсоидального типа, в которой анизотропия предполагается как в направлении нормали, так и в плоскости пластины, а фокусы эллипса расположены произвольно по отношению к ее осям.

## 2. Частотный спектр собственных колебаний.

Рассмотрим кварцевый резонатор с односторонне-выпуклой поверхностью эллипсоидального типа (Рис.1). Координатные оси ориентированы таким образом, что ось  $x_2$  является нормалью к главной оси пластины, а ось  $x_1$  направлена вдоль оси второго поворота дважды повернутой кварцевой пластины. Эллипсоидальная поверхность ориентирована произвольным образом относительно осей исходной системы координат в плоскости  $x_1x_3$ . Радиусы эллипсоида в направлении  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  обозначены, соответственно,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Максимальная толщина пластины обозначена  $2h_0$ . Преобразования физических констант кварца в плоскость повернутого среза приведены в Приложении 1. Для обозначения поворота главных осей эллипсоида относительно осей  $x_1$  и  $x_3$  введен угол  $\alpha$  (Рис. 1в). Отметим, что частный случай такой модели ( $\alpha = 0$ ) изучен в работе [5].

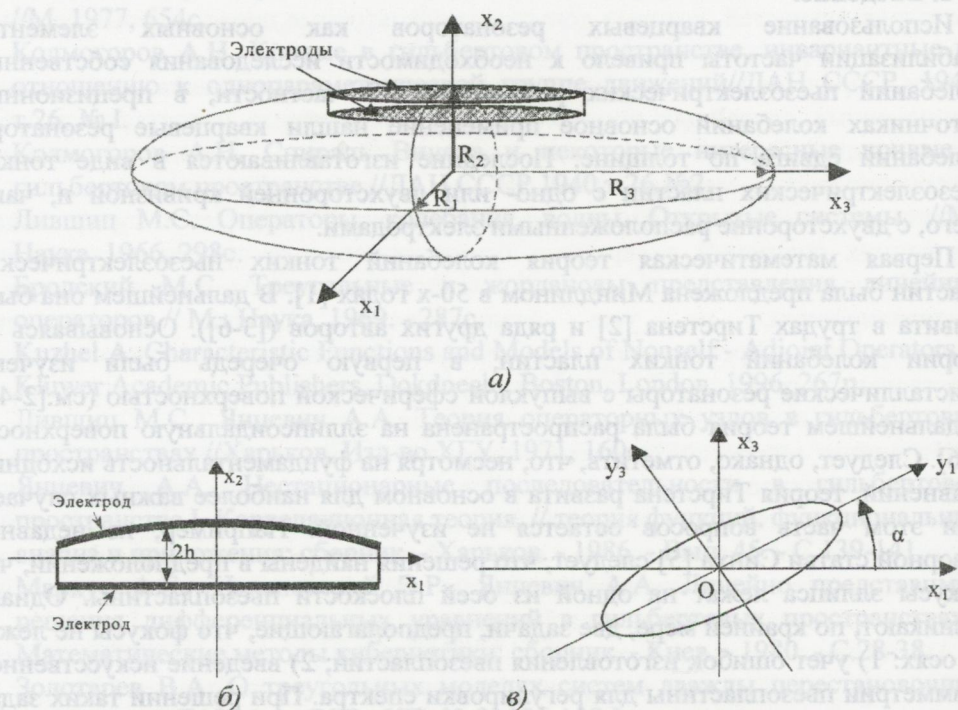


Рис 1. Модель кварцевого резонатора с выпуклой пьезоэлектрической пластиной эллипсоидальной формы: а) основной вид, б) сечение, в) вид сверху,  $\alpha$  - угол между главными осями эллипсоидальной граничной поверхности и осями исходной координатной системы.

Дифференциальное уравнение для нахождения главного смещения  $u_1^n$   $n$ -ой гармонической моды поперечных колебаний дважды повернутой кварцевой пластины запишем в виде [2]:

$$\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[ M_n \frac{\partial^2 u_1^n}{\partial x_1^2} + P_n \frac{\partial^2 u_1^n}{\partial x_3^2} - \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4h^2} u_1^n - \rho \ddot{u}_1^n \right] = \rho \omega^2 \frac{e_{26} V x_2}{\bar{c}^{(1)} 2h} e^{i\omega t}, \quad (1)$$

здесь  $u_1^n$  - смещение по толщине пластины с собственным значением  $\bar{c}^{(1)}$ ,  $V$  - напряжение возбуждения,  $2h$  - переменная толщина пластины,  $\rho$  - плотность пластины,  $e_{26}$  - пьезоэлектрическая константа,  $M_n$  и  $P_n$  выражаются громоздкими формулами, которые внесены в Приложение 2. Для  $\hat{c}^{(1)}$  приведем выражение [2]:

$$\hat{c}^{(1)} = \bar{c}^{(1)} \left( 1 - \frac{8k_1^2}{n^2 \pi^2} - 2\hat{R} \right), \quad (2)$$

где  $k_1^2 = \frac{e_{26}^2}{\bar{c}^{(1)} \epsilon_{22}}$ ,  $\hat{R} = \frac{2\rho' h'}{\rho h}$

и  $2h'$  и  $\rho'$  обозначают толщину и плотность электрода,  $\epsilon_{22}$  - диэлектрическая константа.

Решение (1) ищем в виде

$$u_1 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} u_1^n, \quad (4)$$

где  $u_1^n$  можно представить в виде

$$u_1^n = u^n(x_1, x_3) e^{i\omega t} \sin \frac{n\pi x_2}{2h}. \quad (5)$$

Пользуясь ортогональностью функций  $\sin \frac{n\pi x_2}{2h}$ ,  $n=1,3,5,\dots$  на интервале  $(-h, h)$ , из (1) получаем

$$M_n \frac{\partial^2 u^n}{\partial x_1^2} + P_n \frac{\partial^2 u^n}{\partial x_3^2} - \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4h^2} u^n + \rho \omega^2 u^n = \rho \omega^2 (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{e_{26}}{\bar{c}^{(1)}} \frac{4V}{n^2 \pi^2}. \quad (6)$$

Запишем выражение для переменной толщины  $2h$  в случае эллиптической граничной поверхности

$$2h = 2h_0 \left( 1 - \frac{R_2}{4h_0} (a_{11} x_1^2 + a_{12} x_1 x_3 + a_{13} x_3^2) \right), \quad (7)$$

где  $R_2 = 299.7$  мм,  $R_3 = R_1 = 300$  мм и  $2h_0 = 1$  мм. Второй эллипс рассмотренных случаев с параметрами  $R_1 = 240$  мм,

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= \frac{1}{R_1^2} \sin^2 \alpha + \frac{1}{R_3^2} \cos^2 \alpha, \\
 a_{12} &= \left( \frac{1}{R_3^2} - \frac{1}{R_1^2} \right) \sin 2\alpha, \\
 a_{13} &= \frac{1}{R_3^2} \sin^2 \alpha + \frac{1}{R_1^2} \cos^2 \alpha.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Перепишем уравнение (6) с учетом выражения для толщины (7) и (8):

$$M_n \frac{\partial^2 u^n}{\partial x_1^2} + P_n \frac{\partial^2 u^n}{\partial x_3^2} - \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4h_0^2} \left( 1 + \frac{R_2}{2h_0} (a_{11} x_1^2 + a_{12} x_1 x_3 + a_{13} x_3^2) \right) u^n - \rho \omega^2 u^n = \rho \omega^2 (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{e_{26}}{\hat{c}^{(1)}} \frac{4Ve^{i\omega t}}{n^2 \pi^2}, \quad (9)$$

Произведем замену переменных в уравнении (9), чтобы избавиться от коэффициентов при  $\frac{\partial^2 u^n}{\partial x_i^2}$ :

$$x_1 = \sqrt{M_n} \xi_1, \quad x_3 = \sqrt{P_n} \xi_3. \quad (10)$$

В результате произведенной операции получим

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 \hat{u}^n}{\partial \xi_1^2} + \frac{\partial^2 \hat{u}^n}{\partial \xi_3^2} - \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4h_0^2} \left( 1 + \frac{R_2}{2h_0} (a_{11} M_n \xi_1^2 + a_{12} \sqrt{M_n P_n} \xi_1 \xi_3 + a_{13} P_n \xi_3^2) \right) \hat{u}^n \\
 + \rho \omega^2 \hat{u}^n = \rho \omega^2 (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{e_{26}}{\hat{c}^{(1)}} \frac{4V}{n^2 \pi^2}.
 \end{aligned} \quad (11)$$

Теперь исключим произведение  $\xi_1 \xi_3$  в уравнении (11). Для этого производим поворот на угол  $\beta$ , вводя переменные

$$\begin{cases} \eta_1 = \xi_1 \cos \beta + \xi_3 \sin \beta \\ \eta_3 = -\xi_1 \sin \beta + \xi_3 \cos \beta \end{cases}, \quad (12)$$

где угол поворота

$$\beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{a_{12} \sqrt{M_n P_n}}{a_{13} P_n - a_{11} M_n} \right). \quad (13)$$

Получим уравнение более простого вида

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 \bar{u}^n}{\partial \eta_1^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}^n}{\partial \eta_3^2} - \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4h_0^2} \left( 1 + \frac{R_2}{2h_0} (c_{11} \eta_1^2 + c_{13} \eta_3^2) \right) \bar{u}^n + \rho \omega^2 \bar{u}^n = \\
 \rho \omega^2 (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{e_{26}}{\hat{c}^{(1)}} \frac{4V}{n^2 \pi^2},
 \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$c_{11} = a_{11} M_n \cos^2 \beta - \frac{1}{2} a_{12} \sqrt{M_n P_n} \sin 2\beta + a_{13} P_n \sin^2 \beta, \quad (15)$$

$$c_{12} = a_{11} M_n \sin^2 \beta + \frac{1}{2} a_{12} \sqrt{M_n P_n} \sin 2\beta + a_{13} P_n \cos^2 \beta. \quad (16)$$

Решение однородного уравнения, соответствующего (14), т. е. когда  $V = 0$ , имеет вид

$$\bar{u}_{nmp} = \left( \frac{\sqrt{b_1 b_3}}{\pi^2} \right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{2^{m+p} m! p!}} e^{-\frac{\sqrt{b_1}}{2} \eta^2 - \frac{\sqrt{b_3}}{2} \eta_3^2} H_m(\eta_1 b_3^{1/4}) H_p(\eta_3 b_3^{1/4}), \quad (17)$$

где  $H_m$  и  $H_p$  полиномы Эрмита и

$$b_1 = \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)} R_2}{8 h_0^3} c_{11}, \quad b_3 = \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)} R_2}{8 h_0^3} c_{13}. \quad (18)$$

Из (17) следует, что квадраты частот, соответствующих найденным собственным колебаниям, определяются соотношением

$$\omega_{nmp}^2 = \frac{n^2 \pi^2 \hat{c}^{(1)}}{4 h_0^2 \rho} \left( 1 + \frac{1}{n\pi} \sqrt{\frac{2 h_0 R_2}{\hat{c}^{(1)}}} \left( \sqrt{c_{11}} (2m+1) + \sqrt{c_{13}} (2p+1) \right) \right), \quad (19)$$

где

$$n = 1, 3, 5, \dots, \quad m, p = 0, 2, 4, \dots \quad (20)$$

Теперь найдем собственные колебания в исходной системе координат. Для этого из (17) с учетом преобразований (10) и (12) получим решение для уравнения (9)

$$u_{nmp} = \left( \frac{\sqrt{b_1 b_3}}{\pi^2 M_n P_n} \right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{2^{m+p} m! p!}} e^{-\frac{\zeta_1^2}{2} - \frac{\zeta_3^2}{2}} H_m(\zeta_1) H_p(\zeta_3), \quad (21)$$

где

$$\begin{cases} \zeta_1 = b_1^{1/4} \left( \frac{x_1}{\sqrt{M_n}} \cos \beta + \frac{x_3}{\sqrt{P_n}} \sin \beta \right) \\ \zeta_3 = b_3^{1/4} \left( -\frac{x_1}{\sqrt{M_n}} \sin \beta + \frac{x_3}{\sqrt{P_n}} \cos \beta \right) \end{cases}, \quad (22)$$

Таким образом, формулы (19) и (21) определяют частотный спектр и собственные колебания резонатора. Ниже мы приводим результаты численного анализа частотного спектра.

### 3. Численный эксперимент.

Уравнение (19) было использовано для вычисления резонансных частот дважды повернутой пьезопластины кварцевого резонатора SC-среза с ориентацией  $uxbl/+16.3^\circ/-34.5^\circ$ . Было рассмотрено два варианта геометрии пластины. В первом случае рассматривалась пластина эллипсоидального типа с параметрами  $R_1 = 299.7$  мм,  $R_2 = R_3 = 300$  мм и  $2h_0 = 1$  мм. Второй из рассмотренных случаев соответствовал резонатору, у которого  $R_1 = 240$  мм,

$R_2 = R_3 = 300$  мм и  $2h_0 = 1$  мм. Результаты численного анализа показаны, соответственно, на Рис. 2 и Рис. 3 в полярных координатах при повороте от 0 до  $\pi$ , где угол есть  $\alpha$  (Рис. 1в), а радиус соответствует абсолютному смещению частоты  $f_{nmp} = \omega_{nmp} / 2\pi$  резонатора по отношению к той же частоте при  $\alpha = 0$ .

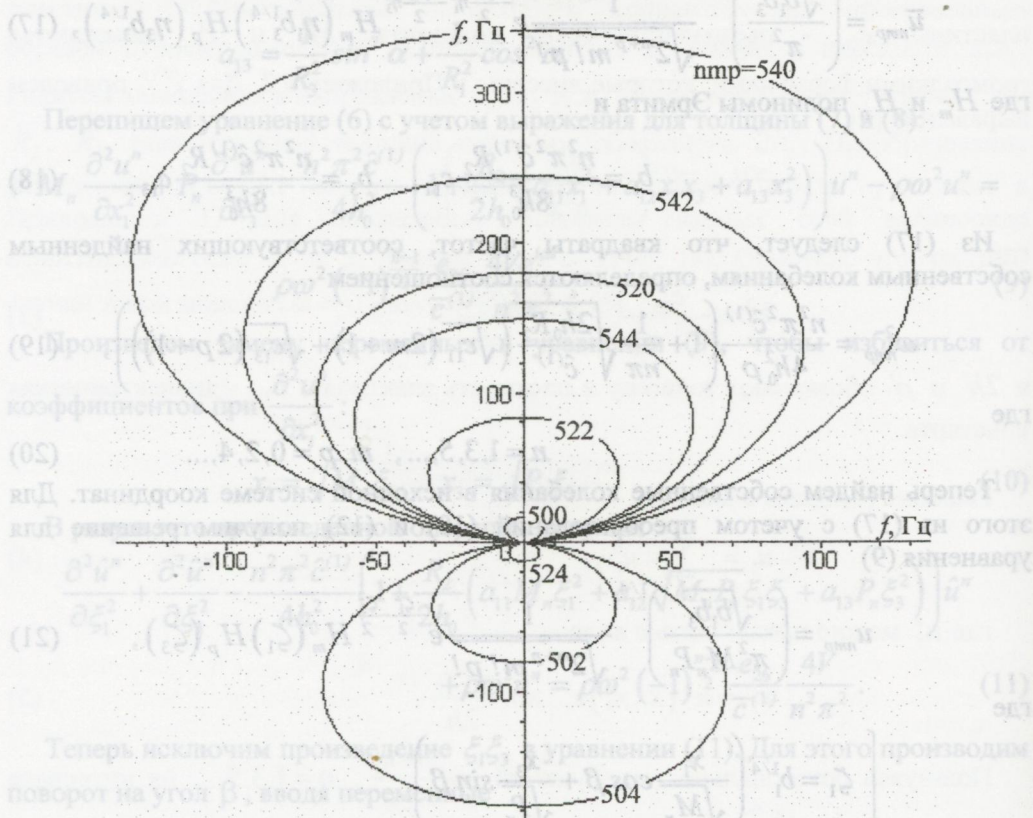


Рис. 2. Абсолютные смещения ближайших частот спектра кварцевого резонатора с параметрами  $R_1 = 299.7$  мм,  $R_2 = R_3 = 300$  мм и  $2h_0 = 1$  мм.

Из анализа Рис. 2 и Рис. 3 следует, что при изменении угла  $\alpha$  изменяется частотный спектр кварцевого резонатора, а именно: 1) частоты с индексами  $nmp = nm0$  увеличиваются при изменении индекса  $m$ , 2) частоты с индексами  $nmp = n0p$  уменьшаются при изменении индекса  $p$ . При этом, если оба индекса  $m$  и  $p$  отличны от нуля, характер изменения частот более сложный, т.е. частоты могут, как увеличиваться, так и уменьшаться.

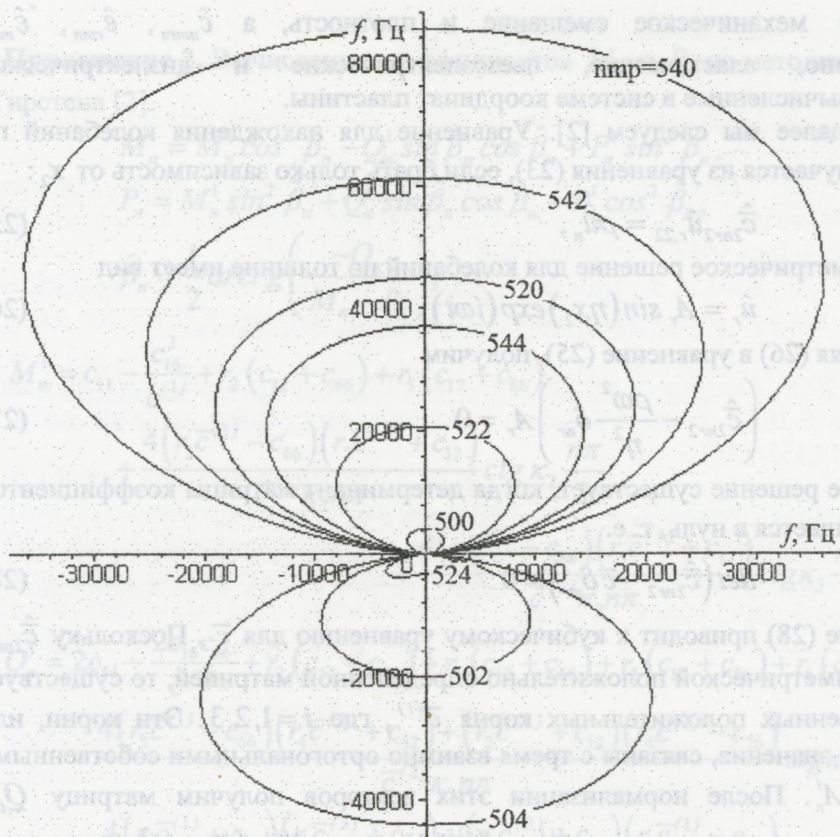


Рис 3. Абсолютные смещения ближайших частот спектра кварцевого резонатора с параметрами  $R_1 = 240$  мм,  $R_2 = R_3 = 300$  мм и  $2h_0 = 1$  мм.

**4. Заключение.**

В данной работе рассмотрена математическая модель резонатора с выпуклой пьезоэлектрической пластиной эллипсоидального типа, в которой анизотропия предполагается как в направлении нормали, так и в плоскости пластины, а фокусы эллипса не лежат на осях. Предложенная модель позволяет учитывать угол поворота  $\alpha$  в плоскости пластины. Более общий случай пространственного дополнительного поворота находится в стадии изучения.

**Приложение 1. Преобразование эластических констант.**

Уравнение линейной пьезоэлектрической теории Стивенса и Тирстена [2] для нахождения колебаний пьезопластины имеет вид

$$\hat{c}_{2nr2} \hat{u}_{r,22} + (\hat{c}_{2nr\nu} + \hat{c}_{2m\nu}) \hat{u}_{r,2\nu} + \hat{c}_{\nu mr\nu} \hat{u}_{r,\nu\nu} = \rho \hat{u}_{\ddot{n}}, \tag{23}$$

здесь

$$\hat{c}_{2nr2} = \hat{c}_{2nr2} + \hat{e}_{22n} \hat{e}_{22r} / \hat{\epsilon}_{22}, \tag{24}$$

где  $\hat{u}_n$ ,  $\rho$  — механическое смещение и плотность, а  $\hat{c}_{mnr2}$ ,  $\hat{e}_{rnm}$ ,  $\hat{\epsilon}_{mn}$ , соответственно, эластические, пьезоэлектрические и диэлектрические константы, вычисленные в системе координат пластины.

Здесь и далее мы следуем [2]. Уравнение для нахождения колебаний по толщине получается из уравнения (23), если брать только зависимость от  $x_2$ :

$$\hat{c}_{2nr2} \hat{u}_{r,22} = \rho \hat{u}_n, \quad (25)$$

Антисимметрическое решение для колебаний по толщине имеет вид

$$\hat{u}_r = A_r \sin(\eta x_2) \exp(i\omega t). \quad (26)$$

Подставляя (26) в уравнение (25), получим

$$\left( \hat{c}_{2nr2} - \frac{\rho \omega^2}{\eta^2} \delta_{nr} \right) A_r = 0. \quad (27)$$

Ненулевое решение существует, когда детерминант матрицы коэффициентов при  $A_r$  обращается в нуль, т. е.

$$\det(\hat{c}_{2nr2} - \bar{c} \delta_{nr}) = 0. \quad (28)$$

Уравнение (28) приводит к кубическому уравнению для  $\bar{c}$ . Поскольку  $\hat{c}_{2nr2}$  является симметрической положительно определенной матрицей, то существует три вещественных положительных корня  $\bar{c}^{(i)}$ , где  $i = 1, 2, 3$ . Эти корни, или собственные значения, связаны с тремя взаимно ортогональными собственными векторами  $A_r^i$ . После нормализации этих векторов получим матрицу  $Q_{ir}$ , компоненты которой имеют вид  $q_r^{(i)} = A_r^{(i)} / N_{(i)}$ , где  $A_r^{(i)} A_r^{(j)} = N_{(i)}^2 \delta_{ij}$ .

Применяя матрицу  $Q_{ir}$  для перехода вектора смещения  $\hat{u}_r$  в системе координат пластины к вектору смещения  $u_r$  в системе собственных векторов решения по толщине, из уравнения (23) получим

$$\bar{c}^{(j)} u_{j,22} + c_{2jia} u_{i,2a} + c_{2ija} u_{i,2a} + c_{ajib} u_{i,ab} = \rho \ddot{u}_j, \quad (29)$$

где  $i, j = 1, 2, 3$  и  $a, b = 1, 3$ . При этом эластические константы имеют следующие формулы преобразования:

$$\bar{c}^{(j)} \delta_{ij} = \hat{c}_{2nr2} Q_{ir} Q_{jn}, \quad (30)$$

$$c_{2jia} = Q_{jn} Q_{ir} \hat{c}_{2nra}, \quad (31)$$

$$c_{2ija} = Q_{ir} Q_{jn} \hat{c}_{2rna}, \quad (32)$$

$$c_{ajib} = Q_{jn} Q_{ir} \hat{c}_{anrb}. \quad (33)$$

В работе используется сокращенное обозначение для индексов тензора  $c_{ijkl}$ :

ij или kl	11	22	33	23	31	12	32	13	21
p или q	1	2	3	4	5	6	7	8	9

При этом тензор  $c_{ijkl}$  переходит в тензор  $c_{pq}$ .

**Приложение 2.** Вычисление коэффициентов  $M_n$  и  $P_n$  по методике Стивенса и Тирстена [2].

$$M_n = M_n^1 \cos^2 \hat{\beta}_n - Q_n^1 \sin \hat{\beta}_n \cos \hat{\beta}_n + P_n^1 \sin^2 \hat{\beta}_n, \quad (34)$$

$$P_n = M_n^1 \sin^2 \hat{\beta}_n + Q_n^1 \sin \hat{\beta}_n \cos \hat{\beta}_n + P_n^1 \cos^2 \hat{\beta}_n, \quad (35)$$

$$\hat{\beta}_n = \frac{1}{2} \arctg g \left( \frac{-Q_n}{M_n - P_n} \right), \quad (36)$$

$$M_n^1 = c_{11} - \frac{c_{16}^2}{c^{(1)}} + r_2 (c_{12} + c_{66}) + r_5 (c_{17} + c_{86}) + \frac{4(r_2 \bar{c}^{(1)} - c_{66})(r_2 \bar{c}^{(2)} + c_{12})}{\bar{c}^{(2)} \kappa_2 n \pi} \text{ctg} \kappa_2 \frac{n\pi}{2} + \frac{4(r_5 \bar{c}^{(1)} - c_{86})(r_5 \bar{c}^{(3)} + c_{17})}{\bar{c}^{(3)} \kappa_3 n \pi} \text{ctg} \kappa_3 \frac{n\pi}{2}, \quad (37)$$

$$Q_n^1 = 2c_{51} - \frac{2c_{16}c_{56}}{c^{(1)}} + r_2 (c_{52} + c_{76}) + r_4 (c_{12} + c_{66}) + r_3 (c_{17} + c_{86}) + r_5 (c_{36} + c_{57}) + \frac{4(r_2 \bar{c}^{(1)} - c_{66})(r_4 \bar{c}^{(2)} + c_{52}) + (r_2 \bar{c}^{(2)} + c_{12})(r_4 \bar{c}^{(1)} - c_{76})}{\bar{c}^{(2)} \kappa_2 n \pi} \text{ctg} \kappa_2 \frac{n\pi}{2} + \frac{4(r_5 \bar{c}^{(1)} - c_{86})(r_3 \bar{c}^{(3)} + c_{57}) + (r_5 \bar{c}^{(3)} + c_{17})(r_3 \bar{c}^{(1)} - c_{36})}{\bar{c}^{(3)} \kappa_3 n \pi} \text{ctg} \kappa_3 \frac{n\pi}{2}, \quad (38)$$

$$P_n^1 = c_{58} - \frac{c_{36}^2}{c^{(1)}} + r_4 (c_{52} + c_{76}) + r_3 (c_{36} + c_{57}) + \frac{4(r_4 \bar{c}^{(1)} - c_{76})(r_4 \bar{c}^{(2)} + c_{52})}{\bar{c}^{(2)} \kappa_2 n \pi} \text{ctg} \kappa_2 \frac{n\pi}{2} + \frac{4(r_3 \bar{c}^{(1)} - c_{36})(r_3 \bar{c}^{(3)} + c_{57})}{\bar{c}^{(3)} \kappa_3 n \pi} \text{ctg} \kappa_3 \frac{n\pi}{2}, \quad (39)$$

$$r_2 = \frac{c_{12} + c_{66}}{c^{(1)} - \bar{c}^{(2)}}, \quad r_3 = \frac{c_{36} + c_{57}}{c^{(1)} - \bar{c}^{(3)}}, \quad (40)$$

$$r_4 = \frac{c_{52} + c_{76}}{c^{(1)} - \bar{c}^{(2)}}, \quad r_5 = \frac{c_{86} + c_{17}}{c^{(1)} - \bar{c}^{(3)}},$$

$$\kappa_2 = \sqrt{\frac{\bar{c}^{(1)}}{\bar{c}^{(2)}}}, \quad \kappa_3 = \sqrt{\frac{\bar{c}^{(1)}}{\bar{c}^{(3)}}}. \quad (41)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Mindlin R. D. Mathematical theory of vibrations of elastic plates // Proc. 11th Freq. Control Symp. – 1957. – P. 1- 40.
2. Stevens D. S., Tiersten H. F. An analysis of doubly rotated quartz resonators utilizing essentially thickness modes with transverse variation // J. Acoust. Soc. Am. 79(6). – June 1986. – P. 1811-1826.
3. Tiersten H. F., Lwo B. J., Dulmet B. Analysis of transversely varying thickness modes in trapped energy resonators with shallow contours // IEEE Int. FCS. – 1994. – P. 172-183.
4. EerNisse E. P. Analysis of thickness modes of contoured, doubly-rotated, quartz resonators // IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 48, no. 5. – 2001. – P. 1351-1361.
5. Sinha B. K. Doubly rotated contoured quartz resonators // IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 48, no. 5. – 2001 – P. 1162-1180.
6. Slavov S. H. Modes of Vibrations. Motion Inductance. And Resonance Interval of Circular, Convex AT-cut Beveled Design Trapped Energy Quartz Resonators // Appl. Phys. A 40. – 1986. – P. 59-65.

Применяя матрицу  $Q$ , для перехода вектора смещения  $u$  в системе координат пластины к вектору смещения  $u_0$  в системе собственных осей решеня по толщине, из уравнения (23) получим

$$\frac{1}{\zeta} \sum_{i,j=1,2,3} c_{ij} \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial x^2} + c_{int} u_{i,j} = \rho u_{i,j}, \quad (29)$$

где  $i, j = 1, 2, 3$  и  $c_{ij} = \frac{1}{\zeta} \sum_{k,l} Q_{ik} Q_{jl} c_{kl}$ . При этом  $c_{ij}$  – константы имеют следующие формулы преобразования:

$$c_{11} = Q_{11} Q_{11} c_{111} + \dots \quad (30)$$

$$c_{12} = Q_{11} Q_{12} c_{111} + \dots \quad (31)$$

$$c_{13} = Q_{11} Q_{13} c_{111} + \dots \quad (32)$$

$$c_{21} = Q_{12} Q_{11} c_{111} + \dots \quad (33)$$

В работе используется сокращенная запись для тензора  $c_{ij}$ :

$i$ или $k$	11	22	33	23	31	12	32	13	21
$j$ или $l$	1	2	3	4	5	6	7	8	9

При этом тензор  $c_{ij}$  переходит в тензор  $c_{ij}$ .

Вісник Харківського національного університету  
Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи  
управління»

УДК 681.3.06

№ 605, 2003, с. 169-173

## Способ организации сущностей и взаимосвязей между ними на уровне хранилища данных

Д. Е. Щедролосьев

*Херсонский государственный университет, Украина*

Article deals with a concrete model of constructing a data storage level for open informational systems with the three-layer architecture. The author offers an objective model for complex architectural decisions.

### 1. Общая постановка задачи и её актуальность

При нынешнем лавинообразном росте систем управления предприятиями одним из наиболее актуальных вопросов остается эффективное построение архитектуры корпоративных систем. Под эффективной архитектурой системы следует понимать ряд характеристик. Прежде всего, это удовлетворение требований общего характера, предъявляемым к корпоративным системам, и, как следствие, такая организация структуры, которая способствует динамике построения и развитию системы в целом.

Наиболее широко используемыми и эффективными в данной области стали системы с трехуровневой архитектурой. Требования, предъявляемые к каждому уровню, являют собой основу, без которой невозможно построение эффективной информационной системы. Несмотря на то, что большее внимание обычно уделяется уровню бизнес логики [2], построение оптимальной модели уровня базы данных дает возможность создания по-настоящему открытых систем. Хотя одним из достоинств трехуровневой архитектуры является полная независимость бизнес процессов от структуры и формы хранилища данных, реально информационная система строится на вполне конкретной структуре базы данных [2].

Однако очень часто разработчик СУБД сталкивается с проблемой организации эффективной структуры данных на основе объектной модели. Любая информационная система более-менее крупного предприятия не может обойтись без объектных подходов в процессе проектирования системы. Можно много говорить о преимуществах функциональной (линейной) или объектной модели построения системы, однако, основываясь на опыте проектирования корпоративных информационных систем среднего уровня, можно сказать, что наиболее удачным является именно сочетание нескольких подходов.

### 2. Нерешенные проблемы и цели работы

Определяя необходимые условия, следует выделить задачи, которые требуют теоретического и практического решения. Так, в основу современной модели данных должны быть положены, на наш взгляд, следующие принципы.

- Объектная организация хранимых данных [3];
- Стандартизация хранения объектов и доступа к ним;

- Открытость в структуре хранения данных;
- Независимость структуры хранения типов и количества хранимых объектов;
- Формализация служебного уровня (безопасность, сервисы и т.д.).

Все эти принципы позволяют по-иному подходить к созданию хранилища на основе реляционной модели. Из всех принципов только последний предполагает использование тяжелой модели хранения, все остальные подразумевают только легкую модель.

### 3. Предложенный метод и его реализация

Основным фактором оптимальности данной модели является независимость структуры данных от вида хранимых объектов. Попытаемся подробнее рассмотреть структурную модель.

При построении большинства систем проектировщики, конечно, пытаются так или иначе соблюдать данные принципы, однако зачастую сложность заключается в несоответствии инструментальных средств классу решаемых задач.

В данной работе представлен один из способов организации объектной модели на основе реляционной базы данных. Данная структура реализована в MS SQL Server. Особенность данного решения - в попытке использовать наиболее популярные реляционные средства построения баз данных и организовать динамическую модель с высоким уровнем абстракции.

В основе всей модели лежат несколько основных понятий. Базовым понятием является сущность. Сущность - это любой объект, которым оперируют в составе информационной системы. Каждая сущность имеет тип (например, сущность - человек, сущность - сотрудник, сущность - отдел и т.д.). Вопрос отношения того или иного объекта к разряду сущностей и их типизации относится к вопросам объектного проектирования постановки и функциональности систем. В случае построения полной объектной модели, все элементы которой участвуют в процессе функционирования системы, ее можно отнести к сущности и сформировать необходимую типизацию. Все сущности состоят из атрибутов. Под атрибутом понимают любые данные, относящиеся к объекту, т.е. его свойства. Любые сущности могут быть связаны друг с другом. Такой тип связи и отношение будет называться ассоциацией.

Среди всего разнообразия сущностей имеются общие атрибуты, которые можно выделить в отдельную таблицу Entity. Данная таблица является главным и ключевым элементом для построения любого объекта. В Entity могут содержаться основные характеристики сущностей (ID, дата создания, тип сущности и т.д.). Кроме того, данная таблица является уникальной идентификацией всех объектов, что позволяет:

- вести общий журнал ошибок с привязкой к каждой сущности;
- организовать единую систему безопасности, используя вспомогательные элементы;
- вести подробную историю изменения сущностей;
- организовать единый механизм связей между сущностями.

Можно считать, что таблица сущностей содержит абстрактные, родительские объекты самого низкого уровня. Для того, чтобы на ее основании построить дочерний объект, необходимо организовать таблицу, характеризующую определенный уровень абстракции с соответствующим атрибутом, относящимся только к данной сущности.

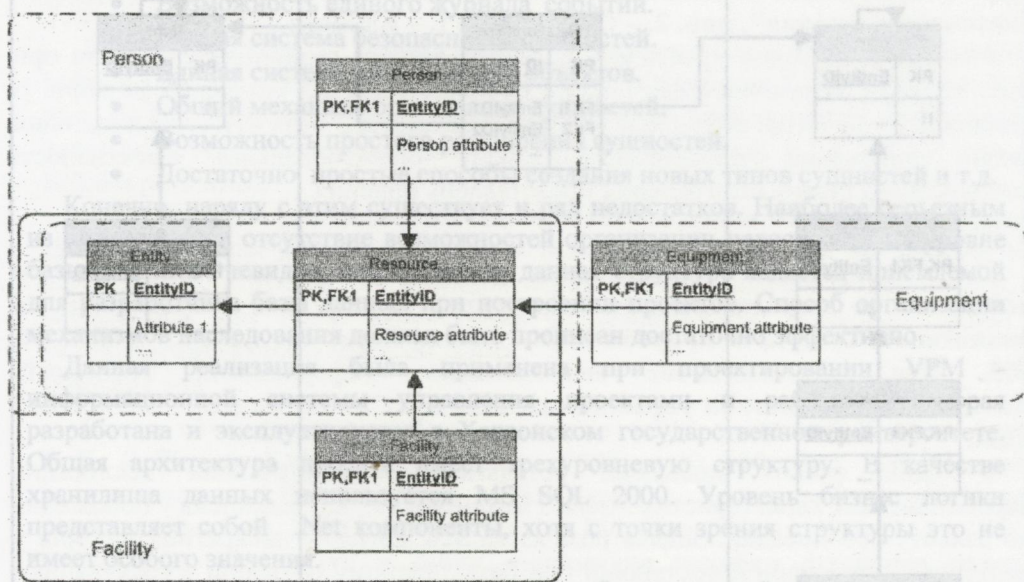


Рис. 1. Структура организации сущности.

На схеме приведен пример подобной организации дочерних сущностей. Базовая таблица Entity является хранением родительских объектов. Для хранения объектов Resource используют две таблицы - Entity и Resource, объединение которых включает полный объем атрибутов. Следующей дочерней сущностью может быть Person, Facility и т.д. Полная сущность Person описывается уже тремя таблицами: Entity - Resource - Facility.

Каждый тип сущности описывается вспомогательными таблицами в случае необходимости. Существуют и такие типы сущностей, для которых не нужны дополнительные атрибуты. Например, контейнеры - вспомогательные сущности, которые необходимы для группировки основных сущностей в разделы. Таким образом, каждая отдельная сущность представляет собой комбинацию таблиц - абстрактной Entity и специфических, каждая из которых присуща конкретному объекту.

В такой структуре актуальным является вопрос организации взаимосвязей между сущностями. Одним из таких методов является древовидный метод. Можно определить в таблице Entity атрибут ParentEntityID, который будет указывать на родительскую сущность. Поскольку об этом объекте имеется запись в Entity, базовое дерево будет определено однозначно. Однако в большинстве случаев требуется не только древовидное построение взаимосвязей сущностей.

Для организации взаимосвязей между сущностями целесообразно использовать таблицу ассоциаций. Это - вспомогательные элементы, которые имеют определенный тип и две ссылки на таблицу-сущность.

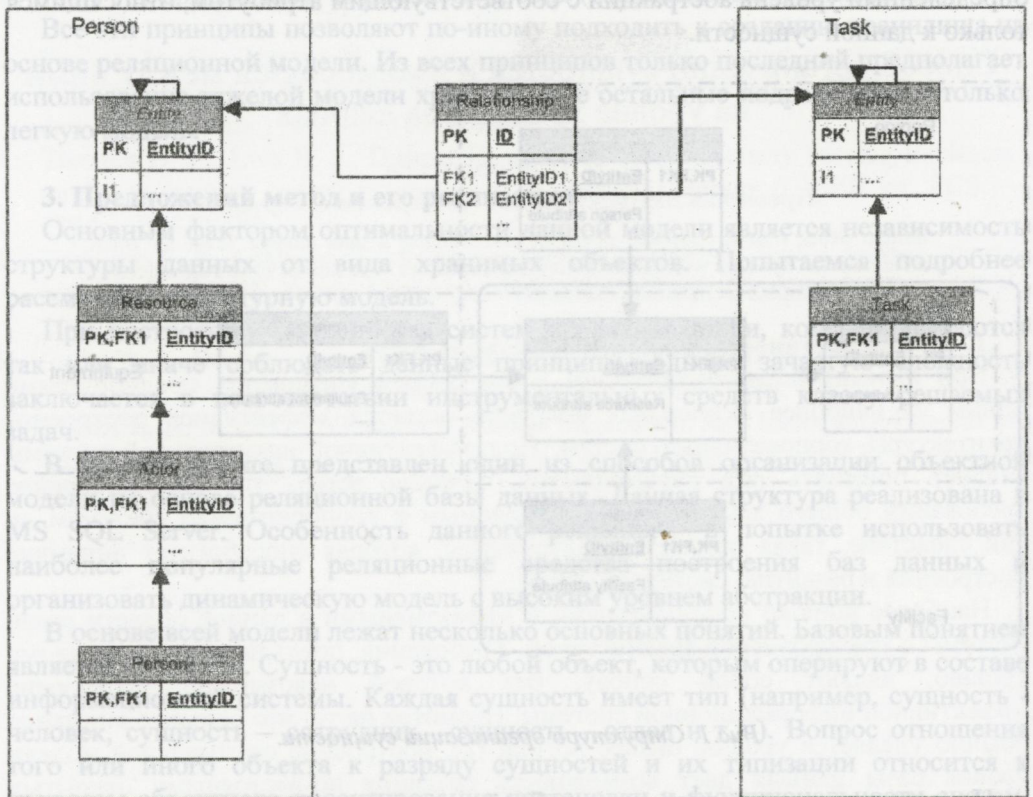


Рис. 2. Взаимосвязи между различными сущностями.

Подобным образом можно описать любое отношение между двумя сущностями.

Все схемы организации данных хорошо ложатся в структуру компонентного подхода при организации уровней бизнес процессов. Хотя целью данной статьи не является раскрытие всей структуры организации бизнес логики, автор считает целесообразным упомянуть о некоторых аспектах в качестве примера эффективного использования объектной структуры данных. Допустим, что для организации бизнес процессов используются соответствующие каждой сущности отдельные объекты. Тогда в структуре данных существует базовый объект Entity, его наследует Resource, Resource наследует Person и т.д. В таком случае, при добавлении нового типа сущности в состав проекта необходимо создать вспомогательную таблицу, расширяющую значения новой сущности, но вся другая структура (проверка безопасности, вызов журнала событий и т. д.) абсолютно не изменяется. При этом, если создается простая сущность, например, контейнер, то не требуется даже расширение таблиц. Достаточно создать новый объект и наследовать базовую сущность.

#### 4. Выводы по результатам

Данный способ организации данных имеет преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести следующие:

- Единая идентификация объектов.
- Возможность единого журнала событий.
- Единая система безопасности сущностей.
- Единая система модификации объектов.
- Общий механизм организации сущностей.
- Возможность простого расширения сущностей.
- Достаточно простые способы создания новых типов сущностей и т.д.

Конечно, наряду с этим существует и ряд недостатков. Наиболее серьезным из них является отсутствие возможностей организации целостности на уровне базы данных. Очевидно, что не всегда данная структура является приемлемой для разработчика базы данных при построении проектов. Способ организации механизмов наследования должен быть прописан достаточно эффективно.

Данная реализация была применена при проектировании VPM - информационной системы управления проектами и работами, которая разработана и эксплуатируется в Херсонском государственном университете. Общая архитектура проекта имеет трехуровневую структуру. В качестве хранилища данных используется MS SQL 2000. Уровень бизнес логики представляет собой .Net компоненты, хотя с точки зрения структуры это не имеет особого значения.

Стоит отметить, что любая модель может быть или не быть эффективной в зависимости от ее реализации и применения.

Выбор правильного подхода зависит как от задания, определяемого рамками проекта, так и от степени подготовленности самого проекта. Модель, эффективная в одном случае, может оказаться абсолютно неприемлемой в другом. В любом проекте необходим оптимальный подход к выбору модели как структуры данных, так и проекта в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Томас Коннолли, Каролин Бегг, Анна Страчан. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. – М.: «Вильямс», 2001. – 1112 с.
2. Левашев В. Построение корпоративных систем // Информационная инфраструктура высших учебных заведений: Сб. работ международной научно-практической конференции, Херсон, 2000, - С.12-17
3. Гради Буч Объектно-ориентированное проектирование - К: «Диалектика» и М.: «И.В.К.», 1992.

## АНОТАЦІЇ

УДК 539.3

Чисельний розв'язок методом граничних елементів динамічних задач теорії пружності для тіл із тріщинами в просторі зображень Лапласа / Бобильов О. О., Тейтель О. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління", вип. 2. – С. 3-8: табл. 1. – Бібліогр.: 7 назв.

Розглянуто питання практичної реалізації методу граничних елементів при розв'язуванні динамічних задач теорії пружності для тіл скінчених розмірів із тріщинами в просторі зображень Лапласа. На прикладі розв'язування модельної задачі виконаний порівняльний аналіз обчислювальної ефективності використання різних інтегральних представлень рішення.

УДК 533.6

Деякі результати застосування метода дискретних вихорів при дослідженнях аеродинамічних характеристик органів управління та механізації / Бушув В. І., Зубок В. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 9-14: мал. 5. – Бібліогр.: 3 назв.

У даній роботі викладено результати обчислювальних досліджень аеродинамічних характеристик літака з механізацією, що відхилена у положення до взльоту або посадки. Задача розв'язувалась методом дискретних вихорів у нелінійній стаціонарній постановці при безвідривному обтіканні з урахуванням тілесності конструкції.

УДК 629.735.45.035

Чисельне моделювання обтікання вертолітного гвинта методом дискретних вихорів з урахуванням дифузії вихорів у ближньому вихоровому сліді / Гладішев А. І., Удовенко В. О. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 15-23: мал. 4. – Бібліогр.: 6 назв.

Викладаються результати досліджень в галузі чисельних методів аеродинаміки повітряних гвинтів. Розглядаються способи регуляризації рішення при чисельному моделюванні методом дискретних вихорів режиму вихорового кільця вертолітного гвинта з використанням моделі дифузії вихорів у ближньому вихоровому сліді. Пропонується новий спосіб моделювання дифузії вихорів шляхом збільшення радіуса вихоря протягом розрахункового часу. Наводяться результати розрахунків з використанням різних способів регуляризації.

УДК 517.986.519.6

Дифракція плоскої хвилі на дво-періодичній ідеально провідній стрічковій двошаровій ґратці / Груньов А. Г., Щербина В. О. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 24-32: мал. 3. – Бібліогр.: 18 назв.

Розглядається тривимірна задача дифракції плоскої хвилі на дво-періодичній ідеально провідній ґратці, яка утворена системою стрічок, що розташовані у паралельних площинах та спрямованих перпендикулярно одна до одної. Крайова задача зводиться до системи гіперсингулярних інтегральних рівнянь та детально описується алгоритм чисельного моделювання розв'язків.

УДК 004.652/942

**До проблеми формалізації концептуального моделювання інформаційних систем / Жолткевич Г. М., Семенова Т. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 33-42: мал. 1. – Бібліогр.: 8 назв.**

У даній статті розглядаються питання моделювання інформаційних систем. До моделювання даних застосовано підхід, що опирається на використанні алгебраїчних структур. Як наслідок отримана математична модель даних. Ця модель має два рівні: структурний та семантичний. Розвинуто підхід до перевірки коректності моделей даних.

УДК 681.325

**Метод обчислення похибки стискання даних у системі Хаара / Іванов В. Г. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 43-47: мал. 1. – Бібліогр.: 4 назв.**

Наведено результати в галузі оцінювання похибки стискання даних із застосуванням ортогональних перетворень Хаара. Показано, що відкидання коефіцієнтів перетворення з останнім порядковим номером впливає при відновленні початкових даних тільки на останню пару відрахунків. Отримані аналітичні вирази обчислювальних витрат на відновлення похибок стискання і наведені графіки залежностей цих витрат як функцій коефіцієнту стискання.

УДК 519.868 + 519.956

**Аналіз математичної моделі мережі з виродженням./ Кабелянц П.С. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 48-65: мал. 3. – Бібліогр.: 12 назв.**

У роботі розглянуто задачу про передачу потоку у інженерній мережі. Сформульовано умови існування передаточного відображення як у випадку лінійної залежності, так і у випадку нелінійної залежності між змінними мережі. Розглянуто також загальну задачу про розв'язок виродженої системи напівлінійних рівнянь у припущеннях, які застосовують спеціальні властивості моделі мережі.

УДК 539.3

**Чисельний та аналітичний розв'язки гіперсингулярного рівняння в задачі про періодичну систему тріщин / Кантор Б. Я., Науменко В. В., Науменко О. В., Стрельнікова О. О. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 66-71: мал. 3. – Бібліогр.: 10 назв.**

Досліджено гіперсингулярні інтеграли, що виникають при розв'язуванні двовимірних крайових задач механіки крихкого руйнування. Гіперсингулярне інтегральне рівняння другої крайової задачі для рівняння Лапласа подано у формі, яка дозволила отримати аналітичний розв'язок у задачі про періодичну систему тріщин у нескінченій пружній площині. Запропановано також метод чисельного розв'язку рівняння, що розглядається. Здійснено порівняння чисельних та аналітичного розв'язків, доведено ефективність методу чисельної реалізації

УДК 539.12

**Моделювання процесів опромінювання в промислових технологіях / Лазурик В. Т., Лазурик В. М., Попов Г. Ф., Рогов Ю. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 72-89: – мал. 10. – Бібліогр.: 23 назв.**

Концепцію Радіаційно Технологічного Офісу (РТ-Офіс) розроблено авторами. РТ-Офіс реалізує комп'ютерні технології на усіх етапах виконання робіт на радіаційно-технологічних лініях з випромінювачами на основі пучків електронів, гальмового та гама випромінювань. РТ-ОФІС це загальна програмна оболонка, яка забезпечує гнучку інтелектуальну взаємодію між спеціалізованими модулями та базами даних для оптимального планування процесу опромінювання та контролю його проведення. У роботі репрезентовано опис розроблених авторами спеціалізованих програм ModeRTL, XR-Soft і  $\gamma$ -ray-Soft на базі модулів РТ-Офісу та призначених для моделювання промислових радіаційно-технологічних процесів.

УДК 519.6+681.3.06

**Прикладна мова семантичної структуризації наукових текстів як деяка проекція мови Ада / Міщенко В. О. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 90-105 – Бібліогр.: 3 назв.**

У роботі показано, що придатну для практичного використання мову семантичної структуризації наукових текстів (ЯСС) можна розробити, якщо мати на увазі прийнятну проекцію мови Ада (поняття проекції мови, що означена формальною граматиною, на задану підмножину нетерміналів вздовж заданої підмножини правил цієї граматики було впроваджено автором раніше). Встановлена не рівність, але повна відповідність між синтаксисом розробленого ЯСС і синтаксисом певної проекції мови Ада. Таким чином, розроблений ЯСС можна реалізувати на базі стандартних інформаційних технологій, що пов'язані з мовою Ада

УДК 621.386.7

**Реалізація математичної моделі теплових процесів у рентгенівських трубках з обертовим анодом з метою захисту їх від перенавантаження / Рева С. М., Калиниченко М. М., Лященко В. М. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 106-117 мал. 2. - табл. 2 – Бібліогр.: 6 назв.**

Розглядається метод контролю температури анода рентгенівської трубки, що базується на чисельному моделюванні теплових процесів. Запропоновано алгоритм програмної реалізації математичної моделі для восьмирозрядних однокристальних мікроконтролерів. Описано результати впровадження методу в пристроях живлення рентгенівських апаратів. Може бути корисний при розробці систем керування для медичної рентгенівської техніки.

УДК 517.9:535.4

**Розв'язок однієї вісесиметричної задачі електростатики для сфери з круговим отвором і конуса з кульовим закруглення / Резуєнко В. О., Степуренко О. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 118-125: мал. 1.– Бібліогр.: 16 назв.**

Побудовано розв'язок однієї вісесиметричної задачі електростатики. Досліджується потенціал ідеально провідного сферичного сегменту поблизу безкінечного заземленого конуса з кульовим закругленням. Використано такі методи: метод розмежування змінних, метод від'ємів у особливих точках аналітичних функцій, метод напівобернення оператора, що відповідає подібній задачі для сфери без конуса. Отримано допоміжне інтегральне фредгольмове рівняння 2-го роду. Здійснюється аналіз просторового розподілу потенціалу та ємність системи. Зроблено порівняння з відомими результатами та граничними випадками даної задачі. Підтверджено ефективність використаного алгоритму.

УДК 004.4'2+004.413

**Порівняльний аналіз моделей розробки програмного забезпечення з точки зору відповідності компонентно-орієнтованим лініям програмних продуктів / Сергєєв Л. Е. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 126-131: табл. 2. – Бібліогр.: 4 назв.**

Стаття описує метод порівняльного аналізу шістьох різних моделей розвитку програмного забезпечення з точки зору їх застосування у якості додаткової моделі до парадигми Software Product Lines Practice для створення ліній продуктів, що базуються на готових компонентах. Метод спирається на застосування імовірносного виводу, який початково було сформульовано та досліджено Г.М. Жолткевичем. У результаті порівняльного аналізу модель Rational Unified Process видається у якості найбільш корисної моделі розвитку.

УДК 519.6

**Исследование динамики рекуррентных нечетких моделей Такаги-Сугено / Соколов А. Ю., Емад А. Р., Яровая О. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 132-139: мал. 2.– Бібліогр.: 3 назв.**

У процесі евристичних досліджень з'ясувались нечіткі правила для знань. Зокрема, набули популярності моделі типу Такаги-Сугено, дякуючи їх гнучкості та прозорості. Це важливо, наприклад при побудові нечітких моделей у нечітких діапазонах, що є типовою задачею в імітаційном і математичном моделюванні

технологічних процесів. Дякуючи застосуванню цього методу до динамічних процесів з'явилась можливість інтерпретації еволюційних моделей за допомогою нечітких рекурентних рівнянь. Такі задачі хаотичної поведінки виникають при дослідженні часових рядів, тобто у фундаментальній оцінці динамічної поведінки технологічних процесів, що розглядаються. Кінцевою метою є дослідити, у яких структурах або при яких значеннях (наприклад, у термінах роботи Лі та Йорке 1975 р.) моделі Такаґи-Сугено припритаманна хаотична поведінка. Цікавим на подальше є таке, як строга залежність від початкових даних.

УДК 621.793.184.06

**Управління іонно-променевою обробкою металів / Стервоєдов А. М., Фареник В. І, Стервоєдов С. М., Сілкін М. Ю.// Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 140-144: мал. 3.– Бібліогр.: 5 назв.**

Іонно-променевий напил (ІПН) це вельми складний процес нанесення багат шарових функціональних покриттів, що потребує точної синхронізації і управління усіма вузлами вакуумної установки. У даній роботі подається система синхронізації та управління установкою ІПН. Цю систему розроблено для синхронізації роботи та контролю параметрів управління двох джерел іонів, які здатні працювати і в імпульсному, і у неперервному режимах, декількох електронно-променевих випарювачів з різноманітними матеріалами для випарювання, іонізатора та вимірювальних приладів. Розроблена система дозволяє повністю автоматизувати гранично складний технологічний процес іонно-променевого напилу і відкриває додаткові джерела зиску від синтезу складних багат шарових покриттів.

УДК 621.396.677

**Обчислювальний експеримент на базі чисельного розв'язку редуційованої СЛАР-2 для однієї періодичної структури / Хорошун В. В., Хохольков В. Б. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 145-150: мал.4. - Бібліогр.: 6 назв.**

Проведено математичне моделювання гармонійної ґратки як виродженої стрічкової дифракційної ґратки в лінійну з періодом, рівним довжині хвилі падаючого поля. Показано що амплітудний коефіцієнт проходження поля такої періодичної структури носить гармонійний характер, а в спектрі ґратки присутні тільки основна та  $\pm 1$ -ші порядки дифракції.

УДК 519.21

**Спектральний розклад одного класу нестационарних випадкових послідовностей / Черемська Н. В. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 151-158. – Бібліогр.: 10 назв.**

Для отримання спектральних поширень деякого класу нестационарних випадкових послідовностей використовується гільбертів підхід та спектральна теорія несамоспряжених операторів. Ці поширення є

суперпозиціями некорелюючих дискретних осциляторів, але ці компоненти функціонально пов'язані між собою на різницю від стаціонарних випадкових послідовностей. Крім того, з'являються принципово нові типи спектральних розкладів у формі суперпозиції внутрішніх станів дискретних струн.

УДК 519.6:537.226.86

**Математична модель п'єзоелектричного резонатора з однобічно-опуклою пластиною еліпсоїдального типу / Шмалій О. Ю. // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 159-168: мал. 3. – Бібліогр.: 6 назв.**

В цій роботі розглянуто математичну модель п'єзоелектричного резонатора з однобічно-опуклою пластиною еліпсоїдального типу, в якій анізотропія є як у напрямку нормалі до пластини, так і в площині пластини. Фокуси еліпса не лежать на осях площини п'єзопластини. Ми показали, що цей фактор суттєво впливає на частотний спектр власних коливань резонатора. Отримано співвідношення для обчислення частотного спектру та амплітуди власних коливань.

УДК 681.3.06

**Засіб організації сутностей і взаємозв'язків між ними на рівні хранилища даних / Д. Е. Щедролосьєв // Вісник Харк. нац. ун-ту., – 2003. – № 605. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 2. – С. 169-173: мал. 2. – Бібліогр.: 3 назв.**

Стаття посвячена конкретній моделі організації рівня хранилища даних для відкритих інформаційних систем з трьохрівневою архітектурою. Автор пропонує об'єктну модель для складних архітектурних рішень.

## АННОТАЦИИ

УДК 539.3

**Численное решение методом граничных элементов динамических задач теории упругости для тел с трещинами в пространстве изображений Лапласа / Бобылев А. А., Тейтель О. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 3-8: табл. 1. – Библиогр.: 7 назв.**

Рассмотрены вопросы практической реализации метода граничных элементов при решении динамических задач теории упругости для тел конечных размеров с трещинами в пространстве изображений Лапласа. На примере решения модельной задачи выполнен сравнительный анализ вычислительной эффективности использования различных интегральных представлений решения.

УДК 533.6

**Некоторые результаты применения метода дискретных вихрей при исследованиях аэродинамических характеристик органов управления и механизации / Бушуев В. И., Зубок В. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 9-14: ил. 5. – Библиогр.: 3 назв.**

В данной работе изложены результаты численных исследований аэродинамических характеристик самолета с механизацией, отклоненной во взлетно-посадочное положение. Задача решалась методом дискретных вихрей в нелинейной стационарной постановке при безотрывном обтекании с учетом телесности конструкции.

УДК 629.735.45.035

**Численное моделирование обтекания вертолётного винта методом дискретных вихрей с учётом диффузии вихрей в ближнем вихревом следе / Гладышев А. И., Удовенко В. А. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 15-23: ил. 4. – Библиогр.: 6 назв.**

Излагаются результаты исследований в области численных методов аэродинамики воздушных винтов. Рассматриваются способы регуляризации решения при численном моделировании методом дискретных вихрей режима вихревого кольца вертолётного винта, основанные на диссипации (диффузии) вихрей в ближнем вихревом следе. Предлагается новый способ моделирования диффузии вихрей с помощью увеличивающегося в течение расчётного времени радиуса вихря. Приводятся результаты расчётов с использованием рассмотренных способов регуляризации

УДК 517.986.519.6

**Дифракция плоской волны на два-периодической идеально проводящей ленточной двухслойной решётке / Грунёв А. Г., Щербина В. А. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование.**

**Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 24-32; ил. 3. – Библиогр.: 18 назв.**

Рассматривается трёхмерная задача дифракции плоской волны на двупериодической идеально проводящей решётке, образованной системой лент, расположенных в параллельных плоскостях и направленных перпендикулярно друг другу. Краевая задача приводится к системе гиперсингулярных интегральных уравнений и детально описывается алгоритм численного моделирования решений.

УДК 004.652/942

**К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем / Жолткевич Г. Н., Семенова Т. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 33-42; ил. 1. – Библиогр.: 8 назв.**

В данной статье рассматриваются вопросы моделирования информационных систем. К моделированию данных применен подход, основанный на использовании алгебраических структур. В результате построена математическая модель данных. Эта модель имеет два уровня: структурный и семантический. Развита методика проверки корректности моделей данных.

УДК 681.325

**Метод вычисления ошибки сжатия данных в системе Хаара / Иванов В. Г. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 43-47; ил. 1. – Библиогр.: 4 назв.**

Приводятся результаты из области оценивания ошибок сжатия данных с использованием ортогональных преобразований Хаара. Показано, что отбрасывание коэффициента преобразования с последним порядковым номером влияет при восстановлении исходных данных только на последнюю пару отсчетов. Получены аналитические выражения вычислительных затрат на восстановление ошибок сжатия и приведены графики зависимости этих затрат как функции коэффициента сжатия.

УДК 519.868 + 519.956

**Анализ математической модели сети с вырождением. / Кабалинц П. С. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 48-65; ил. 3. – Библиогр.: 12 назв.**

В работе рассмотрена задача передачи потока в инженерной сети. Сформулированы условия существования передаточного отображения, как в случае линейной зависимости, так и в случае нелинейной зависимости между переменными сети. Рассматривается также общая задача о разрешимости вырожденной системы полулинейных уравнений в предположениях, использующих специфику сетевой модели.

УДК 539.3

**Численное и аналитическое решения гиперсингулярного уравнения в задаче о периодической системе трещин / Кантор Б. Я., Науменко В. В.,**

Науменко О. В., Стрельникова Е. А. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 66-71: ил. 3. – Библиогр.: 10 назв.

В статье рассмотрены гиперсингулярные интегралы, которые возникают при решении двумерных краевых задач механики хрупкого разрушения. Гиперсингулярное интегральное уравнение, порожденное второй краевой задачей для уравнения Лапласа, представлено в форме, позволившей получить аналитическое решение в задаче о периодической системе трещин в бесконечной упругой плоскости. Предложен также метод численного решения рассматриваемого уравнения. Дано сравнение численных и аналитического решений; продемонстрирована эффективность метода численной реализации.

УДК 539.12

Моделирование процессов облучения в промышленных технологиях / Лазурик В. Т., Лазурик В. М., Попов Г. Ф., Рогов Ю. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 72-89: – ил. 10. – Библиогр.: 23 назв.

Концепция Радиационно-Технологического Офиса (РТ-Офис) разработана авторами. РТ-Офис реализует компьютерные технологии на всех этапах выполнения работ на радиационно-технологических линиях с излучателями на основе пучков электронов, тормозного и гамма излучений. РТ-ОФИС это общая программная оболочка, которая обеспечивает гибкое интеллектуальное взаимодействие между специализированными модулями и базами данных для оптимального планирования процесса облучения и контроля его проведения. Описание разработанных авторами специализированных программ ModeRTL, XR-Soft и  $\gamma$ -ray-Soft на основе модулей РТ-Офиса и предназначенных для моделирования промышленных радиационно-технологических процессов представлено в работе.

УДК 519.6+681.3.06

Прикладной язык семантической структуризации научных текстов как некоторая проекция языка Ада / Мищенко В. О. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 90-105 – Библиогр.: 3 назв.

В работе показано, что пригодный к практическому использованию язык семантической структуризации научных текстов (ЯСС), можно разрабатывать, ориентируясь на подходящую проекцию языка Ада (понятие проекции языка, определяемого формальной грамматикой, на заданное подмножество нетерминалов вдоль заданного подмножества правил этой грамматики было введено автором ранее). Установлено не равенство, но полное соответствие между синтаксисом разработанного ЯСС и синтаксисом определённой проекции языка Ада. Тем самым, разработанный ЯСС реализуем на базе стандартных информационных технологий, связанных с языком Ада

УДК 621.386.7

**Реализация математической модели тепловых процессов в рентгеновских трубках с вращающимся анодом с целью защиты их от перегрузки / Рева С. Н., Калининченко Н. Н., Лященко В. Н. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 106-117 ил. 2. – табл. 2 – Библиогр.: 6 назв.**

Рассматривается метод контроля температуры анода рентгеновской трубки, основанный на численном моделировании тепловых процессов. Предложен алгоритм программной реализации математической модели для восьмиразрядных однокристалльных микроконтроллеров. Описаны результаты внедрения метода в питающих устройствах рентгеновских аппаратов. Может быть полезен при разработке систем управления для медицинской рентгеновской техники.

УДК 517.9:535.4

**Решение одной осесимметричной задачи электростатики для сферы с круговым отверстием и конуса с шаровым закруглением / Резуненко В. А., Степуренко О. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 118-125: ил. 1.– Библиогр.: 16 назв.**

Построено решение одной осесимметричной задачи электростатики. Исследуется потенциал идеально проводящего сферического сегмента вблизи бесконечного заземленного конуса со сферическим шаровым закруглением. Используются следующие методы: метод разделения переменных, метод вычетов в особых точках аналитических функций, метод полуобращения оператора, соответствующего аналогичной задаче для сферы без конуса. Получено вспомогательное интегральное фредгольмово уравнение 2-го рода. Анализируется пространственное распределение потенциала и ёмкость системы. Дается сравнение с известными результатами и предельными случаями данной задачи. Подтверждена эффективность использованного алгоритма.

УДК 004.4'2+004.413

**Сравнительный анализ моделей разработки программного обеспечения с точки зрения соответствия компонентно-ориентированным линиям программных продуктов / Сергеев Л. Е. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 126-131: табл. 2. – Библиогр.: 4 назв.**

Статья описывает метод сравнительного анализа шести различных моделей развития программного обеспечения с точки зрения их применения в качестве дополняющей модели к парадигме Software Product Lines Practice для создания линий продуктов, базирующихся на готовых компонентах. Метод основан на использовании вероятностного вывода, первоначально сформулированного и исследованного Г.Н. Жолткевичем. В результате сравнительного анализа модель Rational Unified Process определена как наиболее подходящая модель развития.

УДК 519.6

**Исследование динамики рекуррентных нечетких моделей Такаги-Сугено / Соколов А. Ю., Емад А. Р., Яровая О. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 132-139: ил. 2.– Библиогр.: 3 назв.**

В процессе эвристических исследований установились нечеткие правила для знаний. В частности, стали популярны модели типа Такаги-Сугено благодаря их прозрачности и гибкости. Это важно, например, при построении нечетких моделей в нечетких диапазонах, что является типичной задачей в имитационном и математическом моделировании технологических процессов. Благодаря применению этого метода к динамическим процессам появилась возможность интерпретации эволюционных моделей с помощью нечетких рекуррентных дифференциальных уравнений. Такие задачи хаотичного поведения возникают при исследовании временных рядов, т.е. в задаче фундаментальной оценки динамического поведения рассматриваемых технологических. Конечной целью является показать, в каких структурах или при каких значениях коэффициентов (например, в терминах работы Ли и Йорке 1975 г.) модели Такаги-Сугено присуще хаотическое поведение. Перспективен анализ таких вопросов, как строгая зависимость от начальных данных.

УДК 621.793.184.06

**Управление ионно-лучевой обработкой металлов / Стервоедов А., Фареник В., Стервоедов С., Силкин М. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 140-144: ил. 3.– Библиогр.: 5 назв.**

Ионно-лучевое напыление (ИЛН) является крайне сложным процессом нанесения многослойных функциональных покрытий, который требует точной синхронизации и управления всеми узлами вакуумной установки. В данной работе представлена система синхронизации и управления установкой ИЛН. Эта система разработана для синхронизации работы и параметров управления двух источников ионов, которые могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режиме, нескольких электронно-лучевых испарителей с различными испаряемыми материалами, ионизатора и измерительных приборов. Разработанная система позволяет полностью автоматизировать крайне сложный технологический процесс ионно-лучевого напыления, а также выявляет дополнительные преимущества синтеза сложных многослойных покрытий.

УДК 621.396.677

**Вычислительный эксперимент на базе численного решения редуцированной СЛАУ-2 для одной периодической структуры / Хорошун В. В., Хохольков В. Б. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 145-150: ил.4. - Библиогр.: 6 назв.**

Проведено математическое моделирование гармонической решетки как вырожденной ленточной дифракционной решетки в линейную с периодом равным длине волны падающего поля. Показано, что амплитудный коэффициент прохождения поля такой периодической структуры носит гармонический характер, а в спектре решетки присутствуют только основная и  $\pm 1$ -е порядки дифракции.

УДК 519.21

**Спектральные разложения одного класса нестационарных случайных последовательностей / Черемская Н. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 151-158. – Библиогр.: 10 назв.**

Для полученных спектральных расширений некоторого класса нестационарных случайных последовательностей используется гильбертов подход и спектральная теория несамосопряженных операторов. Эти расширения являются суперпозициями некоррелирующих дискретных осцилляторов, но эти составляющие функционально связаны между собой в отличие от стационарных случайных последовательностей. Кроме того, появляются принципиально новые типы спектральных разложений, когда последовательность представляется в виде суперпозиции внутренних состояний дискретных струн.

УДК 519.6:537.226.86

**Математическая модель пьезоэлектрического резонатора с односторонне-выпуклой пластиной эллипсоидального типа / Шмадий А. Ю. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 159-168: ил. 3. – Библиогр.: 6 назв.**

В этой работе рассмотрена математическая модель пьезоэлектрического резонатора с односторонне-выпуклой пластиной эллипсоидального типа, в которой анизотропия предполагается как в направлении нормали к пластине, так и в плоскости пластины. Фокусы эллипса не лежат на осях плоскости пластины. Мы показали, что этот фактор существенно влияет на частотный спектр собственных колебаний резонатора. Получены соотношения для вычисления частотного спектра и амплитуды колебаний.

УДК 681.3.06

**Способ организации сущностей и взаимосвязей между ними на уровне хранилища данных / Д. Е. Щедролосев // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления", вып. 2. – С. 169-173: ил. 2. – Библиогр.: 3 назв.**

Статья посвящена конкретной модели организации уровня хранилища данных для открытых информационных систем с трехуровневой архитектурой. Автор предлагает объектную модель для сложных архитектурных решений.

## CONTENTS

- A.A. Bobylev, O.V. Teitel** Numerical solution of dynamical problems in the elasticity theory for bodies with cracks within the Laplacian image space by the method of boundary elements 3
- V.I. Bushuyev, V.V. Zubok** Some results of the discrete vortex method at a study of aerodynamic characteristics of operating and mechanization controls 9
- A.I. Gladyshev, V.A. Udovenko** Numerical modeling of the flow over helicopter rotor by the discrete vortex method taking into account the vortex diffusion within the near wake 15
- A.G. Grunyvov, V.A. Shcherbina** Plane wave diffraction on the two periodical ideally conductive two-layer ribbon gratings 24
- G.N. Zholtkevich, T.V. Semenova** In addition to the problem of formalization of informational systems' conceptual modeling 33
- V.G. Ivanov** Calculation method of the data compression error in the Haar system 43
- P.S. Kabalyants** Analysis the mathematical model of the network with a degeneration 48
- B.Y. Cantor, V.V. Naumenko, O.V. Naumenko, E.A. Strelnikova** Numerical and analytical solutions of hypersingular integral equation in problem of periodic crack system 66
- V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G.F. Popov, Yu.V. Rogov** Modeling of processes of an irradiation for industrial technologies 72
- V.O. Mishchenko** Applied language for semantic structuring of scientific documents as a projection of the Ada language 90
- S.N. Reva, N.N. Kalinichenko, V.N. Lyaschenko** Simulator realization of heat processes in X-ray tubes with rotating anode the purpose of protection them from overload 106
- V.A. Resunenko, O.V. Stepurenko** Solution of an axial-symmetric electrostatics problem for the circular-holed orb and spherical-curved cone 118
- L.E. Sergejev** Comparative analysis of software development models from the point of view of their compliance with component-oriented software product lines 126

<b>A.Y. Sokolov, A.R. Emad, O.V. Yarovaya</b>	Operational analysis of recurrent fuzzy models of Takagi – Sugeno	<b>132</b>
<b>A. Styervoyedov, V. Farenik, S. Styervoyedov, M. Silkin</b>	Control of Ion Beam Assisted Processing of Materials	<b>140</b>
<b>V.V. Khoroshun, V.B. Khokholkov</b>	Computer-oriented experiment on the basis of a numerical solution of reduced SLAE-2 for one periodic structure	<b>145</b>
<b>N.V. Cheremskaya</b>	Spectral expansion of a class of time-dependent random sequences	<b>151</b>
<b>O.Yu. Shmaliy</b>	Mathematical model of piezoelectric resonator with a one-side convex plate of an ellipsoidal shape	<b>159</b>
<b>D.E. Shchedrolosiev</b>	A method of organization of essences and their relation at the data storage level	<b>169</b>
<b>АНОТАЦІЇ</b>		<b>174</b>
<b>АННОТАЦИИ</b>		<b>180</b>
<b>CONTENTS</b>		<b>186</b>

## ЗМІСТ

<b>А.А. Бобылев, О.В. Тейтель</b> Численное решение методом граничных элементов динамических задач теории упругости для тел с трещинами в пространстве изображений Лапласа	3
<b>В.И. Бушуев, В.В. Зубок</b> Некоторые результаты применения метода дискретных вихрей при исследованиях аэродинамических характеристик органов управления и механизации	9
<b>А.И. Гладышев, В.А. Удовенко</b> Численное моделирование обтекания вертолётного винта методом дискретных вихрей с учётом диффузии вихрей в ближнем вихревом следе	15
<b>А.Г. Грунёв, В.А. Щербина</b> Дифракция плоской волны на двупериодической идеально проводящей ленточной двухслойной решётке	24
<b>Г.Н. Жолткевич, Т.В. Семенова</b> К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем	33
<b>В.Г. Иванов</b> Метод вычисления ошибки сжатия данных в системе Хаара	43
<b>П.С. Кабелянц</b> Анализ математической модели сети с вырождением	48
<b>Б.Я. Кантор, В.В. Науменко, О.В. Науменко, Е.А. Стрельникова</b> Численное и аналитическое решения гиперсингулярного уравнения в задаче о периодической системе трещин	66
<b>V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G.F. Popov, Yu.V. Rogov</b> Modeling of processes of an irradiation for industrial technologies	72
<b>В.О. Мищенко</b> Прикладной язык семантической структуризации научных текстов как некоторая проекция языка Ада	90
<b>С.Н. Рева, Н.Н. Калинин, В.Н. Лященко</b> Реализации математической модели тепловых процессов в рентгеновских трубках с вращающимся анодом с целью их защиты от перегрузки	106
<b>В.А. Резуненко, О.В. Степуренко</b> Решение одной осесимметричной задачи электростатики для сферы с круговым отверстием и конуса с шаровым закруглением	118
<b>Л.Е. Сергеев</b> Сравнительный анализ моделей разработки программного обеспечения с точки зрения соответствия компонентно-ориентированным линиям программных продуктов	126

<b>А.Ю. Соколов, А.Р. Емад, О.В. Яровая</b> Исследование динамики рекуррентных нечетких моделей Такаги-Сугено	<b>132</b>
<b>A. Styervoyedov, V. Farenik, S. Styervoyedov, M. Silkin</b> Control of Ion Beam Assisted Processing of Materials	<b>140</b>
<b>В.В. Хорошун, В.Б. Хохольков</b> Вычислительный эксперимент на базе численного решения редуцированной СЛАУ-2 для одной периодической структуры	<b>145</b>
<b>Н.В. Черемская</b> Спектральные разложения одного класса нестационарных случайных последовательностей	<b>151</b>
<b>А.Ю. Шмалий</b> Математическая модель пьезоэлектрического резонатора с односторонне-выпуклой пластиной эллипсоидального типа	<b>159</b>
<b>Д.Е. Щедролосьев</b> Способ организации сущностей и взаимосвязей между ними на уровне хранилища данных	<b>169</b>
<b>АНОТАЦІЇ</b>	<b>174</b>
<b>АННОТАЦИИ</b>	<b>180</b>
<b>CONTENTS</b>	<b>186</b>

## ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»

*Випуски даної серії розповсюджуються у академічних та наукових колах України та за її межами з метою оперативного висвітлення досліджень у таких актуальних галузях: математичне та комп'ютерне моделювання, обчислювальний експеримент, теорія і прикладні методи обробки інформації, програмно-апаратні системи інформаційного або управляючого призначення, застосування математичного моделювання та системного аналізу у високих, наукоємних технологіях, рахуючи технології створення програмної продукції. Приймаються роботи, що відносяться до напрямів фізико-математичних і технічних наук (бажаний об'єм 6-18 сторінок). Усі рукописи рецензуються.*

## ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серія «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления»

*Випуски данной серии распространяются в академических и научных кругах Украины и за ее пределами с целью оперативного освещения исследований в следующих актуальных областях: математическое и компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент, теория и прикладные методы обработки информации, программно-аппаратные системы информационного или управляющего назначения, приложения математического моделирования и системного анализа в высоких, наукоёмких технологиях, включая технологии создания программной продукции. Принимаются работы, относящиеся к направлениям физико-математических и технических наук (желательный объём 6-18 страниц). Все рукописи рецензируются.*

*Збірник наукових праць*

Вісник Харківського національного університету  
№ 605

Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»

Підписано до друку 19.12.2003 р.

Формат 70×108/16. Папір офсетний.

Умовн. – друк. арк. – 13,6

Обл. – вид. арк. – 15,9

Наклад 100 прим.

Ціна договірна

9-115

61077, м. Харків, майд. Свободи, 4, Харківський національний університет  
Видавничий центр ХНУ.

Надруковано ПП «Азамаєв»

61144, м. Харків, вул. Героїв Праці, 17

