

УДК 539.3

Метод дискретных особенностей в задачах о вынужденных колебаниях цилиндрических оболочек, частично заполненных жидкостью

В. И. Гнитько, У. Е. Марченко, Е. А. Стрельникова

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Цилиндрическая оболочка, частично заполненная жидкостью, представляет собой одну из наиболее распространенных моделей резервуаров для хранения нефти и других химически опасных веществ. Разрушение подобных резервуаров под действием сейсмических или ударных нагрузок может привести к негативным экологическим последствиям. В данной работе предложен метод расчета динамических характеристик цилиндрических оболочек с жидкостью, подверженных действию кратковременных импульсных нагрузок. Метод основан на сведении задачи об определении давления жидкости на оболочку к системе сингулярных интегральных уравнений. Связанная задача теории упругости решается с помощью сочетания методов конечных и граничных элементов. Дифференциальные уравнения нестационарной задачи решаются численно методом Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядка.

Ключевые слова: вынужденные колебания, гидроупругое взаимодействие, сейсмическое нагружение, методы граничных и конечных элементов.

Циліндрична оболонка, частково заповнена рідиною, є однією з найбільш розповсюджених моделей резервуарів для сховища нафти та інших хімічних небезпечних речовин. Руйнування таких резервуарів під дією сейсмічних або ударних навантажень може призвести до негативних з точки зору екології наслідків. В даній роботі запропоновано метод розрахунку динамічних характеристик циліндричних оболонок з рідиною, що піддані дії короткочасних імпульсних навантажень. Метод засновано на зведенні задачі визначення тиску рідини на оболонку до системи сингулярних інтегральних рівнянь. Зв'язана задача теорії пружності розв'язується за допомогою сполучення методів скінченних та граничних елементів. Диференціальні рівняння нестационарної задачі розв'язані чисельно методом Рунге-Кутта 4 –го та 5-го порядку.

Ключові слова: вимушені коливання, гідропружне взаємодія, сейсмічне навантаження, методи граничних та скінченних елементів.

Cylindrical tanks partially filled with the liquid are the most general type of reservoirs for oil and other chemical-dangerous agent storage. Destruction of such tanks under seismic or impulsive load can lead to the negative ecological consequences. Analysis method of dynamic behavior of cylindrical tanks partially filled with the liquid that are under short-time impulsive load is under consideration. Method relies on reducing problem of determining the fluid pressure on the shell walls to the system of singular integral equations. The coupled problem is solved using combination of boundary and finite element methods. Differential equations of transient problem are solved numerically by Runge-Kutta method 4th and 5th orders.

Key words: forced vibrations, hydro-elastic interaction, seismic loading, finite and boundary element methods.

1. Введение

Оценка сейсмического воздействия при проектировании резервуаров для хранения различных жидкостей – сложная инженерная проблема, которой посвящено большое количество публикаций [1-7]. Резервуары для хранения

жидкости широко используются в городском хозяйстве и промышленности. Наземные цилиндрические резервуары применяются для хранения разнообразных жидкостей: воды для питья и пожаротушения, сырой нефти, вина, сжиженного газа, и т.д. Повреждение резервуаров в результате землетрясений может привести к потерям ценного содержимого, пожарам, человеческим жертвам, вызвать экологическую катастрофу. Потеря несущей способности стальных резервуаров при землетрясениях проявляется в различных формах. Большие осевые сжимающие усилия могут вызвать деформирование стенки в виде "стопы слона". Плескание жидкости около свободной поверхности может повредить либо сорвать крышку и верхнюю оболочку резервуара. Большие напряжения вблизи закрепленного основания могут разорвать стенку резервуара. Сдвиг основания может привести к скольжению и опрокидыванию резервуара.

Нагрузки, испытываемые резервуарами во время землетрясения, зависят от свойств материала и конструкции резервуара, жидкости, хранящейся в нем, и грунта. Для характеристики динамического поведения резервуаров, частично заполненных жидкостью, необходимо рассмотреть два вида взаимодействий. Первое – взаимодействие между оболочкой и жидкостью, хранящейся в резервуаре. Второе – взаимодействие между оболочкой и грунтом.

В настоящее время для сейсмического анализа и проектирования резервуаров, как правило, используются методы, основанные на многокомпонентной пружинно-массовой аналогии Хауснера. Этот подход позволяет рассмотреть сложное динамическое поведение резервуара и его содержимого в упрощенной форме. Собственные формы подразделяются на импульсную форму с периодом колебаний приблизительно 0.5 секунд и менее, и набор конвективных (вызванных плесканием) форм с более продолжительными периодами, до нескольких секунд. Для большинства резервуаров импульсная форма колебаний является преобладающей при определении нагрузки на стенку резервуара. Первая конвективная форма колебаний в исследованиях обычно считается намного менее существенной, чем импульсная. Поэтому многие авторы не рассматривают конвективные формы более высокого порядка.

Динамический анализ оболочечных конструкций часто выполняется при помощи конечно-элементных программ. Но трехмерный нелинейный анализ с учетом взаимодействия жидкости и грунта является сложной и чрезвычайно трудоёмкой задачей. Поэтому для проведения исследования прочности и устойчивости резервуаров при импульсных и сейсмических нагрузках принимаются упрощенные гипотезы. Предполагается, например, что жидкость состоит из двух частей: движущейся вместе с емкостью как жесткое целое и части, движущейся со своей собственной частотой. Определение границ этих частей жидкости производится эмпирически. Не учитывается также упругость стенок резервуара. Отсутствуют работы, в которых бы учитывалась геометрическая нелинейность материала и нелинейный характер поведения жидкости. Даже в стандарте EUROCODE 8 [8] принимается аналогичная упрощенная схема расчета сейсмического отклика.

В [9,10] предложен подход, основанный на использовании метода граничных элементов, для решения задачи о собственных колебаниях упругих оболочек

вращения, заполненных жидкостью, и для решения задачи о собственных колебаниях жидкости в жестких резервуарах. Этот подход имеет определенные преимущества. В разрешающих уравнениях функции и их производные определяются только на границах области, что позволяет существенно уменьшать размерность систем уравнений. Этот метод дает также качественно новые возможности в моделировании связанной динамической задачи, именно он и будет применен в данном исследовании.

2. Постановка задачи

Рассматривается связанная динамическая задача для оболочки вращения, частично заполненной жидкостью, подверженной кратковременному импульсному нагружению.

Предположим, что жидкость идеальная, несжимаемая, а ее течение (индуцированное движением тела) является безвихревым. Обозначив компоненты скорости через V_x, V_y, V_z , условие несжимаемости сплошной среды получим из следующего равенства:

$$\operatorname{div} V = \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Поскольку поток безвихревой, то существует потенциал скоростей ϕ

$$V_x = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad V_y = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad V_z = \frac{\partial \phi}{\partial z},$$

удовлетворяющий вследствие (1) гармоническому уравнению

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

Матричное уравнение движения оболочки, частично заполненной жидкостью, запишем в виде

$$LU + M\ddot{U} = P_l + Q \quad (2)$$

где L, M – матрицы жесткости и масс; $U = (u_1, u_2, u_3)$ – вектор-функция перемещений; $Q(t)$ – вектор внешней нагрузки, $P(t)$ – гидродинамическое давление жидкости. Давление жидкости находим из интеграла Коши–Лагранжа, который в линейном приближении имеет вид

$$\frac{P}{\rho_l} = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - gz + \frac{P_0}{\rho_l}, \quad (3)$$

где ϕ – потенциал скоростей; ρ_l – плотность жидкости; z – координата точки жидкости, отсчитываемая в вертикальном направлении, g – ускорение свободного падения.

Обозначим смоченную поверхность оболочки через S_1 , а свободную поверхность – S_0 . Пусть декартова система координат $Oxuz$ связана с оболочкой, свободная поверхность жидкости S_0 совпадает с плоскостью xOy в состоянии покоя. Считаем, что резервуар с жидкостью подвергается динамическому воздействию. На смоченной поверхности упругой оболочки требуется выполнение условия непротекания, на свободной поверхности задаются

динамическое и кинематическое граничные условия. Динамическим граничным условием является равенство давления на свободной поверхности атмосферному, а кинематическое условие заключается в требовании принадлежности свободной поверхности во все время движения тех частиц жидкости, которые первоначально находились на ней.

Таким образом, получаем следующую краевую задачу

$$LU + M\ddot{U} + \rho_l \dot{\phi} + gz = Q$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial t}, \quad P \in S_1; \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = \dot{\zeta}, \quad P \in S_0; \quad \dot{\phi} + g\zeta = 0, \quad P \in S_0$$

для определения неизвестных функций U и ϕ .

3. Метод разложения по собственным формам в связанных динамических задачах

Будем искать собственные формы колебаний оболочки в жидкости в следующем виде

$$U(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^m c_k(t) u_k(x, y, z) \quad (4)$$

где функции $u_k(x, y, z)$ – собственные формы колебаний оболочки в вакууме, $c_k(t)$ – неизвестные коэффициенты.

Потенциал скоростей ϕ представим в виде суммы двух потенциалов $\phi = \phi_1 + \phi_2$.

Для определения ϕ_1 сформулируем следующую краевую задачу:

$$\nabla^2 \phi_1 = 0, \quad \frac{\partial \phi_1}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial t}, \quad P \in S_1, \quad \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = 0, \quad P \in S_0. \quad (5)$$

Здесь $w(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^m w_k(x, y, z) c_k(t)$, функции $w_k(x, y, z)$ – нормальные компоненты собственных форм колебаний пустой оболочки.

Отметим, что из соотношения (3) и второго из уравнений (5) следует, что

$$\phi_1(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^m \phi_{1k}(x, y, z) \dot{c}_k(t). \quad (6)$$

Для определения функций ϕ_{1k} имеем следующие краевые задачи:

$$\nabla^2 \phi_{1k} = 0, \quad \frac{\partial \phi_{1k}}{\partial n} = w_k, \quad P \in S_1, \quad \phi_{1k} = 0, \quad P \in S_0. \quad (7)$$

Потенциал ϕ_2 ищем в виде

$$\phi_2(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^n d_k(t) \phi_{2k}(x, y, z),$$

где функции ϕ_{2k} – собственные формы колебаний жидкости в жестком сосуде. Определим эти собственные формы. Предварительно рассмотрим задачу

$$\nabla^2 \phi = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0, \quad P \in S_1, \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = \dot{\zeta}, \quad P \in S_0, \quad \dot{\phi} + g\zeta = 0, \quad P \in S_0. \quad (8)$$

Последнее из уравнений (8) является динамическим условием на свободной поверхности. Дифференцируя это уравнение по t , приходим к уравнению для потенциала скоростей жидкости в жестком сосуде

$$\ddot{\phi} + g \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0, \quad P \in S_0. \quad (9)$$

Решение этой задачи ищем в форме:

$$\phi(x, y, z, t) = e^{ikt} \psi(x, y, z).$$

Потенциал ψ , описывающий свободные гармонические колебания жидкости, является решением следующей краевой задачи:

$$\nabla^2 \psi = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial n} = 0, \quad P \in S_1, \quad \frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\kappa^2}{g} \psi, \quad P \in S_0. \quad (10)$$

Ее решение определяет ряд собственных чисел κ_k и соответствующих им собственных функций ϕ_{2k} . Решив задачу (10), будем искать ϕ_2 в виде

$$\phi_2(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^n d_k(t) \psi_k(x, y, z). \quad (11)$$

Таким образом, получены представления для потенциалов ϕ_1 и ϕ_2

$$\phi_1(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^m \phi_{1k}(x, y, z) \dot{c}_k(t), \quad \phi_2(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^n d_k(t) \phi_{2k}(x, y, z).$$

Тогда, поскольку $\phi = \phi_1 + \phi_2$, получим

$$\nabla^2 \phi = \nabla^2 \phi_1 + \nabla^2 \phi_2 = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \phi_1}{\partial n} + \frac{\partial \phi_2}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial t}, \quad P \in S_1.$$

Следовательно, удовлетворяется уравнение Лапласа и граничное условие не протекания.

На свободной поверхности должно выполняться условие

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \dot{\zeta}, \quad P \in S_0; \quad \dot{\phi} + g\zeta = 0, \quad P \in S_0.$$

Дифференцируя последнее равенство по t , приходим к уравнению

$$\ddot{\phi} + g \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0, \quad P \in S_0. \quad (12)$$

Подставляя $\dot{\phi}_1 = \ddot{\phi}_1 = 0$ в уравнение (12), получим

$$\sum_{k=1}^n \ddot{d}_k(t) \phi_{2k}(x, y, z) + g \sum_{k=1}^m \dot{c}_k(t) \frac{\partial \phi_{1k}(x, y, z)}{\partial n} + g \sum_{k=1}^n d_k(t) \frac{\partial \phi_{2k}(x, y, z)}{\partial n} = 0.$$

Используя соотношения, которым удовлетворяют функции ϕ_{2k}

$$\frac{\partial \phi_{2k}}{\partial n} = \frac{\kappa_k^2}{g} \phi_{2k}, \quad P \in S_0,$$

приходим к дифференциальным уравнениям

$$\sum_{k=1}^n \left[\ddot{d}_k(t) + \kappa_k^2 d_k(t) \right] \phi_{2k}(x, y, z) + g \sum_{k=1}^m \dot{c}_k(t) \frac{\partial \phi_{1k}(x, y, z)}{\partial n} = 0. \quad (13)$$

Умножим уравнение (13) скалярно на функцию ϕ_{2l} . В силу ортогональности системы собственных форм колебаний жидкости в жестком сосуде получим следующие соотношения

$$\ddot{d}_l(t) + \kappa_l^2 d_l(t) + \frac{g}{(\phi_{2l}, \phi_{2l})} \sum_{k=1}^m \dot{c}_k(t) \left(\frac{\partial \phi_{1k}}{\partial n}, \phi_{2l} \right) = 0, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

После определения функций ϕ_{1k} и ϕ_{2k} подставляем их в уравнение (2) и получаем следующее дифференциальное уравнение

$$L \left(\sum_{k=1}^m c_k u_k \right) + M \left(\sum_{k=1}^m \ddot{c}_k u_k \right) = -\rho_l \left(\sum_{k=1}^m \ddot{c}_k \phi_{1k} + \sum_{i=1}^n d_i \phi_{2i} + gz \right) + Q. \quad (15)$$

Пусть ω_k , u_k – собственные частоты и формы свободных колебаний оболочки в вакууме. Имеют место следующие соотношения:

$$Lu_k = \omega_k^2 Mu_k, \quad (Mu_k, u_j) = \delta_{kj}. \quad (16)$$

Умножив скалярно уравнение (14) на u_j и принимая во внимание условия формирования (16), получим следующую систему $n+m$ дифференциальных уравнений второго порядка

$$\ddot{c}_j(t) + \omega_j^2 c_j(t) + \rho_L \sum_{k=1}^m \ddot{c}_k (\phi_{1k}, u_j) + \sum_{i=1}^n \dot{d}_i (\phi_{2i}, u_j) + g(z, u_j) = (Q, u_j), \quad j = 1, m$$

$$\ddot{d}_l(t) + \kappa_l^2 d_l(t) + \frac{g}{(\phi_{2l}, \phi_{2l})} \sum_{k=1}^m \dot{c}_k(t) \left(\frac{\partial \phi_{1k}}{\partial n}, \phi_{2l} \right) = 0, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

Таким образом, схема решения связанной динамической задачи для оболочки вращения состоит из следующих этапов.

1. Определение частот и форм свободных колебаний оболочки в вакууме методом конечных элементов.
2. Определение частот и форм колебаний жидкости в жесткой оболочке под действием силы тяжести с использованием метода граничных элементов.
3. Определение частот и форм колебаний упругой оболочки без учета действия силы тяжести с использованием метода граничных элементов.
4. Решение системы дифференциальных уравнений второго порядка с использованием метода Рунге-Кутты 4го и 5го порядка.

4. Системы граничных интегральных уравнений

Далее будем использовать цилиндрическую систему координат. Представим неизвестные функции в виде рядов Фурье по окружной координате

$$w = w(r, z) \cos \alpha \theta, \quad \phi = \phi(r, z) \cos \alpha \theta. \quad (18)$$

Чтобы решить связанную задачу гидроупругости, необходимо определить потенциалы ϕ_1 и ϕ_2 . Эти задачи сведены к решению систем сингулярных интегральных уравнений. Определение потенциала ϕ_1 осуществляется так же, как и в [11, 12] и приводит к следующей системе интегральных уравнений:

$$2\pi\phi(z_0) + \int_{\Gamma} \phi(z)\Theta(z, z_0)r(z)d\Gamma - \int_0^R q(\rho)\Phi(P, P_0)\rho d\rho = \int_{\Gamma} w(z)\Phi(P, P_0)r(z)d\Gamma_1, \quad P_0 \in S_1; \quad (19)$$

$$\int_{\Gamma} \phi(z)\Theta(z, z_0)r(z)d\Gamma - \int_0^R q(\rho)\Phi(P, P_0)\rho d\rho = \int_{\Gamma} w(z)\Phi(P, P_0)r(z)d\Gamma_1, \quad P_0 \in S_0;$$

где

$$\Theta(z, z_0) = \frac{4}{\sqrt{a+b}} \left\{ \frac{1}{2r} \left[\frac{r^2 - r_0^2 + (z_0 - z)^2}{a-b} E_{\alpha}(k) - F_{\alpha}(k) \right] n_r + \frac{z_0 - z}{a-b} E_{\alpha}(k) n_z \right\}$$

$$\Phi(P, P_0) = \frac{4}{\sqrt{a+b}} F_{\alpha}(k). \quad (20)$$

Здесь введены следующие обозначения

$$E_{\alpha}(k) = (-1)^{\alpha} (1 - 4\alpha^2)^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \cos 2\alpha\theta \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta,$$

$$F_{\alpha}(k) = (-1)^{\alpha} \int_0^{\pi/2} \frac{\cos 2\alpha\theta d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}, \quad k^2 = \frac{2b}{a+b}.$$

При $\alpha = 0$ эти выражения представляют собой стандартные эллиптические интегралы первого и второго рода.

Чтобы определить потенциал ϕ_2 , необходимо построить функции ϕ_{2k} . Обозначим ϕ_{2k}^1 значения ϕ_{2k} на смоченной поверхности S_1 и ϕ_{2k}^0 значения ϕ_{2k} на свободной поверхности S_0 . Используя прямую формулировку метода граничных элементов для решения краевой задачи (7), запишем следующую систему сингулярных интегральных уравнений:

$$2\pi\phi_{2k}^1 + \iint_{S_1} \phi_{2k}^1 \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS_1 - \frac{\kappa^2}{g} \iint_{S_0} \phi_{2k}^0 \frac{1}{r} dS_0 + \iint_{S_0} \phi_{2k}^0 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \right) dS_0 = 0$$

$$- \iint_{S_1} \phi_{2k}^1 \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS_1 - 2\pi\phi_{2k}^0 + \frac{\kappa^2}{g} \iint_{S_0} \phi_{2k}^0 \frac{1}{r} dS_0 = 0 \quad (21)$$

Предполагая, что

$$\phi = \phi(r, z) \cos \alpha \theta,$$

получаем для каждой гармоники соотношения вида

$$\iint_{S_1} \phi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r(P, P_0)} \right) dS_1 = \int_{\Gamma} \phi(z)\Theta(z, z_0)r(z)d\Gamma;$$

$$\iint_{S_0} \phi \left(\frac{1}{r(P, P_0)} \right) dS_0 = \int_0^R \phi(\rho)\Phi(P, P_0)\rho d\rho.$$

Здесь ядра $\Theta(z, z_0)$ и $\Phi(P, P_0)$ определены в (20).

Для численного решения систем, описанных уравнениями (20), (21), использовался метод граничных элементов с постоянной аппроксимацией неизвестной плотности на элементах [11,12].

5. Численные результаты

Следует отметить, что в динамической задаче горизонтального сейсма необходимо рассматривать только $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$ в выражениях (20), (21), потому что при сейсмическом нагружении возбуждаются только нулевая и первая гармоники.

Чтобы убедиться в надежности предложенного численного алгоритма, проведено сравнение с результатами, полученными при помощи метода конечных элементов. Рассмотрим цилиндрическую оболочку с плоским дном, частично заполненную жидкостью. Геометрия резервуара показана на рис.1, параметры резервуара следующие: радиус $R = 1$ м, толщина $h = 0.01$ м, длина $L = 2$ м, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, плотность материала $\rho = 7800$ кг/м³, плотность жидкости $\rho_l = 1000$ кг/м³. Уровень заполняющей жидкости обозначен через H ($H = 0.8$ м). Граничные условия: $u_r = u_z = u_\theta = 0$ при $z = 0$ и $r = R$.

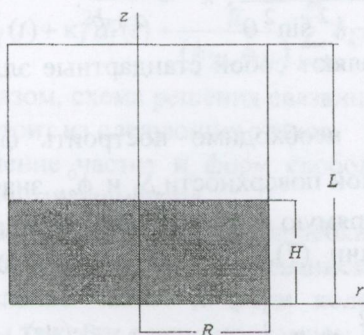


Рис.1. Цилиндрический резервуар с жидкостью

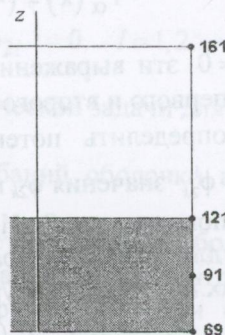


Рис.2. Схема узлов

Рассмотрим задачу о вынужденных колебаниях оболочки с жидкостью под действием импульсной нагрузки. Радиальное нагружение (рис.3) внезапно действует на цилиндрическую поверхность резервуара

$$q(r, z, t) = q_0 \cos k\phi(r, z) \exp(-t/\tau)$$

где $q_0 = 0.1$ МПа, $\tau = 14.2 \cdot 10^{-6}$ с. Время действия импульса $t_n = 5 \cdot 10^{-3}$ с.

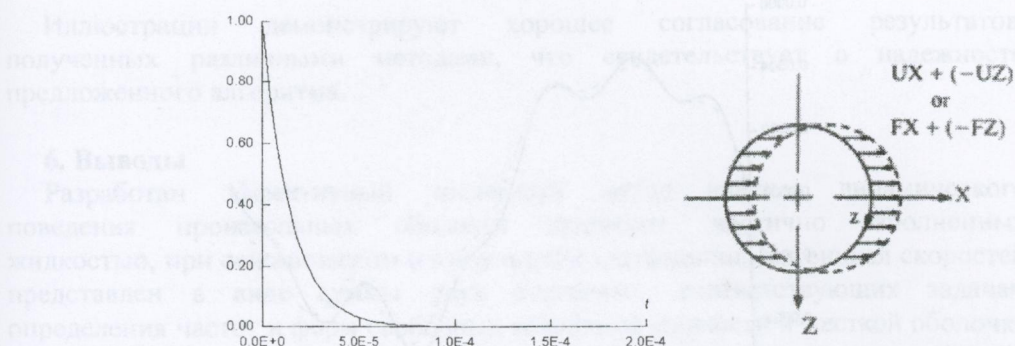


Рис. 3. Импульсное нагружение

Для иллюстрации расчетов радиальное перемещение вычислено в четырех точках, которые показаны на рис. 2; точка 1 (узел 91) расположена на смоченной части стенки, точка 2 (узел 121) принадлежит границе свободной поверхности жидкости, точка 3 (узел 69) находится вблизи основания, точка 4 (узел 161) находится на вершине стенки оболочки. На рис. 4-7 представлены радиальные перемещения, вычисленные предложенным методом (сплошная линия) и с помощью конечно-элементного комплекса (штриховая линия).

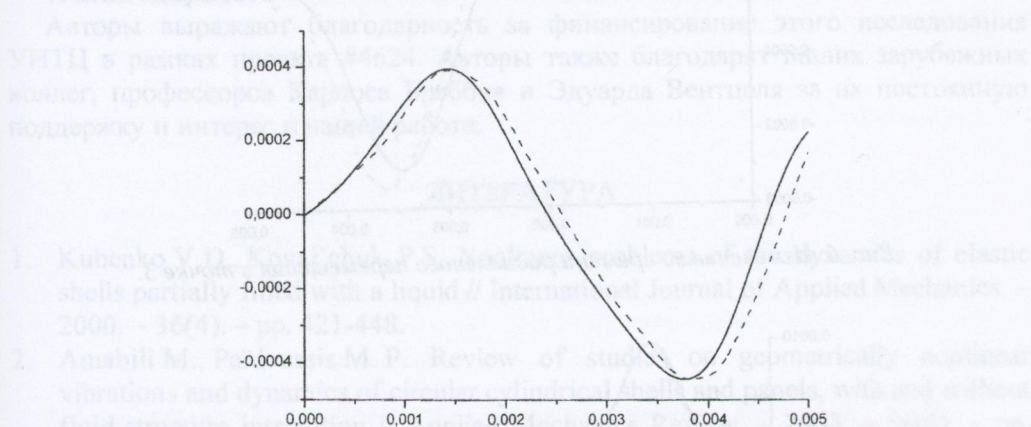


Рис. 4. Изменение во времени радиального перемещения в точке 1.

1. Kubenko V.D., Gerasimov S.A., Koshchynskyi V.V. Dynamic analysis of conical shells partially filled with a liquid // International Journal of Applied Mechanics – 2009 – 3(4) – pp. 421-448.
2. Amabili M., Pappa M.P. Review of studies on geometrically nonlinear vibrations and dynamics of cylindrical shells // Journal of Sound and Vibration – 2008 – 310(1-2) – pp. 349-381.
3. Kumar V., Ganesan N. Dynamic analysis of conical shells conveying fluid // Journal of Sound and Vibration – 2008 – 310(1-2) – pp. 349-381.
4. Malhotra R. K. New method for seismic isolation of liquid storage tanks // Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics – 1997 – 26(8) – pp. 839-847.
5. Sanchez-Sanchez H., Cortez S.A., Dominguez A.M. Structural behaviour of liquid filled storage tanks of large capacity placed in seismic zones of high risk in Mexico // Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering – Vancouver, B.C., Canada – 2004 – Paper No. 2185.
6. Sanchez-Sanchez H., Dominguez A.M. Seismic response of cylindrical tanks for oil // Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering – China, 2008.

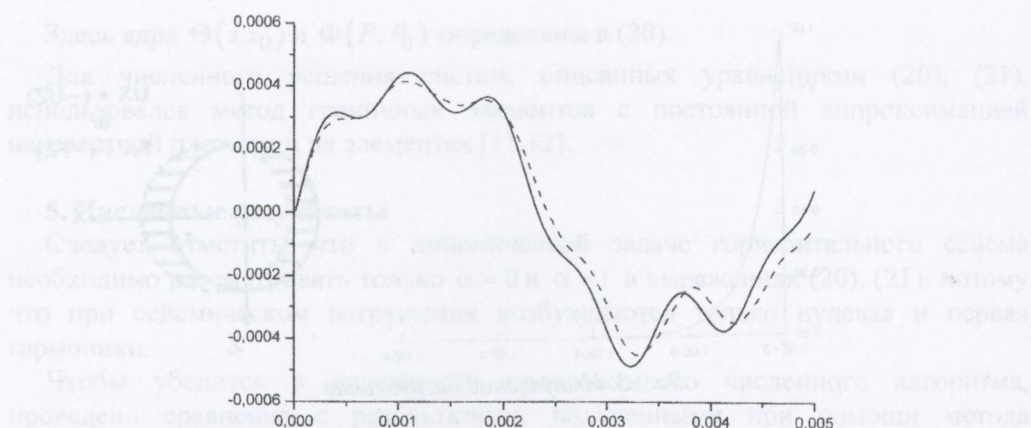


Рис. 5. Изменение во времени радиального перемещения в точке 2.

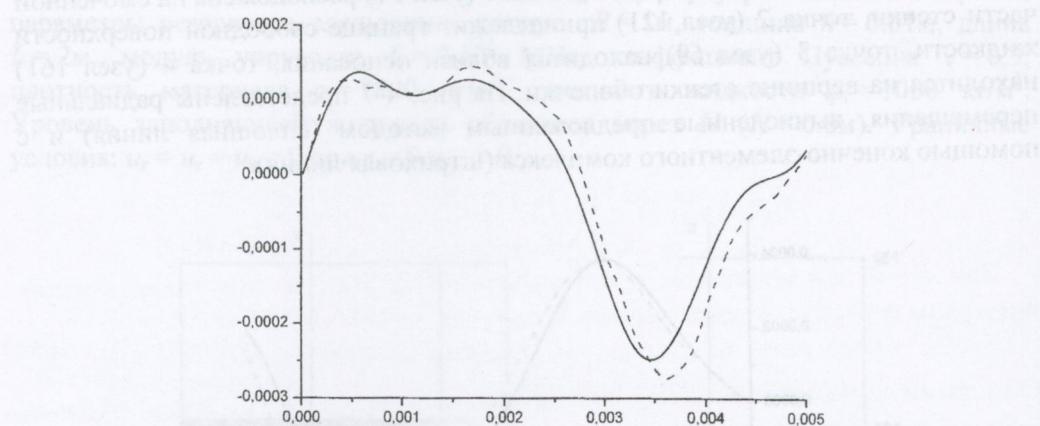


Рис. 6. Изменение во времени радиального перемещения в точке 3.

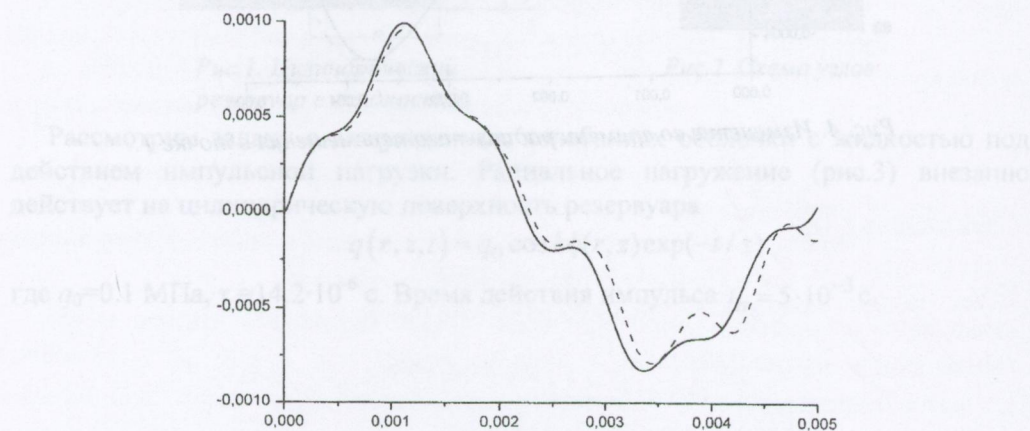


Рис. 7. Изменение во времени радиального перемещения в точке 4.

Иллюстрации демонстрируют хорошее согласование результатов, полученных различными методами, что свидетельствует о надежности предложенного алгоритма.

6. Выводы

Разработан эффективный численный метод анализа динамического поведения произвольных оболочек вращения, частично заполненных жидкостью, при сейсмическом и импульсном нагружении. Потенциал скоростей представлен в виде суммы двух слагаемых, соответствующих задачам определения частот и форм свободных колебаний жидкости в жесткой оболочке и упругой оболочки с жидкостью без учета гравитационной составляющей. Интегрирование по объему жидкости сведено к интегрированию вдоль меридиана оболочки и радиуса свободной поверхности жидкости, т.е. является одномерным. В этом заключается основное преимущество нашего метода, основанного на комбинации метода граничных интегральных уравнений, метода конечных элементов и разложения в ряды Фурье. Проведены численные исследования динамики цилиндрического резервуара, заполненного несжимаемой жидкостью.

7. Благодарности

Авторы выражают благодарность за финансирование этого исследования УНТЦ в рамках проекта #4624. Авторы также благодарят наших зарубежных коллег, профессоров Карлоса Бреббия и Эдуарда Вентцеля за их постоянную поддержку и интерес к нашей работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kubenko V.D., Koval'chuk P.S. Nonlinear problems of the dynamics of elastic shells partially filled with a liquid // *International Journal of Applied Mechanics*. – 2000. – 36(4). – pp. 421-448.
2. Amabili M., Païdoussis M. P. Review of studies on geometrically nonlinear vibrations and dynamics of circular cylindrical shells and panels, with and without fluid-structure interaction // *Applied Mechanics Review*. – 2003. – 56(4). – pp. 349-381.
3. Kumar V., Ganesan, N. Dynamic analysis of conical shells conveying fluid // *Journal of Sound and Vibration*. – 2008. – 310(1-2). – pp. 38-57.
4. Malhotra P. K. New method for seismic isolation of liquid-storage tanks // *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. – 1997. – 26(8). – pp. 839-847.
5. Sanchez-Sanchez H., Cortes S.C., Dominguez A.M. Structural behaviour of liquid filled storage tanks of large capacity placed in seismic zones of high risk in Mexico // *Proc. of 13th World Conference on Earthquake Engineering*. – Vancouver, B.C., Canada. – 2004. – Paper № 2665.
6. Sanchez-Sanchez H., Cortes S.C. Seismic response of cylindrical tanks for oil // *Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering*. – China, 2008.

7. Jung M.J., Jo J.C., Jeong S.J. Impact analysis of a water storage tank // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2006. – Vol. 38, № 7.
8. EUROCODE 8. Design provisions of earthquake resistance of structures, Part 4., Silos, tanks and pipeline. European Committee for Standardization, Brussels, 1998, 220 p.
9. Zhang Y.L., Gorman D.G., Reese, J.M. Vibration of prestressed thin cylindrical shells conveying fluid // *Thin-Walled Structures*. – 2003. – 41. – pp. 1103–1127.
10. Chen Y.H., Hwang W.S., Ko C.H. Numerical simulation of the three-dimensional sloshing problem by boundary element method // *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. – 2000. – 23(3). – pp. 321–330.
11. Brebbia C.A., Telles J.C.F., Wrobel L.C. *Boundary Element Techniques*. – Springer-Verlag: Berlin and New York, 1984.
12. Strelnikova E., Yeseleva E., Gnitsko V., Naumenko V. Free and forced vibrations of the shells of revolution interacting with the liquid // *Proc. of XXXII Conference "Boundary elements and other mesh reduction methods"* WITPress, Transaction on Modeling and Simulation. – 2010. – pp. 203–211.

УДК 004.3

Вивчення інформатики в контексті конструювання понятійних ієрархічних структур

М. Б. Головін, О. І. Сомик

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна

Стаття містить опис оригінальних програмних засобів, що дозволяють оперувати ієрархічними понятійними конструкціями в процесі навчання. Ці засоби є лабораторними прототипами програм, які могли б забезпечити рутинний тренінг при формуванні взаємозв'язаних понятійних структур та перевірити інноваційні ідеї використання графів у навчанні. У роботі обговорюються також можливості дослідження самого процесу формування знань представленими засобами. Когнітивна (пізнавальна) психологія є концептуальним базисом цієї роботи.

Ключові слова: програмне забезпечення, тестування, графи, інформаційні технології.

Статья содержит описание оригинальных программных средств, которые позволяют оперировать иерархическими понятийными конструкциями в процессе обучения. Эти средства являются лабораторными прототипами программ, которые могли бы обеспечить рутинный тренинг при формировании взаимосвязанных понятийных структур и проверить инновационные идеи использования графов в обучении. В работе обсуждаются также возможности исследования самого процесса формирования знаний представленными средствами. Когнитивная (познавательная) психология есть концептуальным базисом этой работы.

Ключевые слова: программное обеспечение, тестирование, графы, информационные технологии

The article describes the original software which can operate hierarchical conceptual structures in the learning process. These tools are laboratory prototypes of programs that could provide routine training in the formation of interrelated conceptual structures and test innovative ideas of the graphs use in teaching. The paper also discusses the research opportunities of the knowledge formation process with a help of the submitted means. Cognitive psychology is the conceptual basis of this work.

Key words: software testing, graphs, information technology.

1. Особливості та проблематика автоматизованого навчання

Основою автоматизованої діагностики процесу навчання в комп'ютерному класі є періодичне виконання учнями серій завдань в межах відповідних тренажерних програм. За допомогою цих програм здійснюється хороший диференційований зворотній зв'язок між викладачем та групою суб'єктів навчання. Зрозуміло, що цей зв'язок не безпосередній, а опосередкований, він реалізується через комп'ютери зв'язані в локальну мережу. Останнє дозволяє в значній мірі автоматизувати та індивідуалізувати процес навчання. Ефективність автоматизованого навчального процесу у значній мірі залежить від програмних засобів, які для цього використовуються, та структури завдань, закладених у цей процес. У цьому контексті важливим є інформаційне наповнення тренажерної програми: зміст завдань, структура, їх організація та послідовність пред'явлення. Реалізація пакетів завдань, однорідних за кількісними та якісними показниками, дозволяє в значній мірі спростити механізм керування навчанням.

У цьому сенсі важлива формалізація понять „кількість” та „складність” у розумовій роботі стосовно кожного завдання.

Отримання кількісних параметрів будь-якого процесу, у тому числі пізнавального, передбачає розуміння закономірностей його протікання. У когнітивно-орієнтованих течіях теоретичної психології активно розвивається ідея про те, що інтелектуальна діяльність в значній мірі детермінується структурною організацією пізнавальної сфери [1].

На жаль, реальний типовий, тестологічний підхід у навчанні, як правило, акцентований не на психологічному механізмі процесу навчання, а на вибірковій перевірці засвоєння декларативних знань. Такий підхід дає мало користі для формування спеціалістів у сфері високих технологій.

2. Специфіка розумових навчальних дій в сфері програмування

Практична діяльність у технологічній галузі, стосовно складних, добре формалізованих штучних об'єктів, пов'язана з багатокроковим, абстрактно-логічним, причинно-наслідковим, продуктивним, мисленням, яке детермінує цю діяльність. Це стосується діяльності по створенню, модернізації та відлагодженню складно-організованих об'єктів, наприклад таких, як програмні засоби та електронні пристрої. Діяльність первинна в цій сфері. Вона формує процеси сприйняття; спосіб диференціації та структурування знань; особливості зв'язків у понятійній сфері; методологію дій, як розумових, так і матеріалізованих.

Специфіка практичної навчальної діяльності стосовно складних, добре формалізованих штучних об'єктів полягає в тому, що людина не може оперувати одночасно всіма багаточисельними функціональними вузлами складного об'єкта, які вона сприймає і розрізняє. Їх число навіть в навчальних завданнях значно перевищує ту кількість, яку можна одночасно утримувати в полі уваги. Суб'єкт навчання змушений у процесі інтелектуальної роботи масштабувати поняттями не виходячи в процесі ментальних дій за межі магічного числа Міллера 7 ± 2 [2], котре характеризує об'єм короточасної пам'яті людини. У результаті тривалої інтелектуальної діяльності, суть якої абстрактно-логічне масштабування поняттями, у довготривалій пам'яті поступово формується ментальна вербальна конструкція ієрархічного типу - пізнавальна (когнітивна) схема об'єкта навчання (наприклад програми). Особливості навчальних дій стосовно програмних об'єктів в контексті ієрархічних ментальних структур були розглянуті в роботі [3].

Методологія професійної діяльності у сфері програмування базується на відомих методах низхідної покрокової деталізації та модульного програмування [4,5]. Застосування цих методів опосередковано підтверджує описаний вище механізм мислення, котрий спирається на ієрархічну конструкцію. Так при низхідній покроковій деталізації ієрархічна конструкція вибудовується зверху вниз, тобто від поодиноких узагальнених понятійних одиниць до великої кількості конкретизованих одиниць - операторів мови програмування. Саме коли кожен окремий крок вирішення деталізованої проблеми можна представити окремим оператором і починається процес безпосереднього програмування. Технологія модульного програмування сповідує альтернативний шлях мислення. Від великої кількості конкретизованих одиниць операторів до

окремих узагальнених, що характеризують програмні блоки. По суті остання технологія дозволяє представити в мисленні велику сукупність логічно зв'язаних елементів, як монолітну, поодинокую відокремлену сутність, що характеризується окремим поняттям або короткою концепцією.

3. Конструювання понятійних ієрархічних структур, як навчальний захід

Актуальною проблемою, на думку авторів, є розробка програмних засобів для підтримки навчальних процесів, в яких відбувається не тільки просте понятійне відтворення, а реалізуються навчальне причинно-наслідкове абстрактно-логічне масштабування понятійними одиницями та пересування ієрархічними зв'язаними понятійними конструкціями.

Метою цієї роботи є розгляд підходів до створення ефективного тренажерного програмного засобу, що оперує завданнями на конструювання ієрархічних структур. У цьому контексті мета має дві складові, з одної сторони, існує необхідність в розробці та апробації відповідних завдань, з іншого боку, є потреба в розробці самої програми, котра забезпечить підтримку роботи з ієрархічними понятійними конструкціями.

У дослідженні розглядались завдання двох типів.

Перший тип завдань може бути реалізований на базі різноманітних ієрархічних конструкцій, які вказують на відношення між понятійними одиницями. В деяких конструкціях це відношення «загальне/конкретне», в інших – «ціле/ складова частини». У завданнях цього типу порядок слідування однорівневих елементів структури немає значення. Апробація цих завдань, була проведена на базі відтворення наступних конструкцій: структури обчислювальної системи; схеми типів файлів в файловій системі Windows; дерева типів даних мови програмування Delphi.

Другий тип оригінальних завдань охоплював напрям конструювання алгоритмів та програм у вигляді ієрархічних структур. Як і в першому випадку, ці структури включають як конкретні, так і узагальнені поняття.

Під конкретними поняттями в останньому пункті розуміються оператори програми, а під узагальненими - понятійні одиниці, що об'єднують сукупності логічно зв'язаних операторів. Ключова відмінність завдань другого виду від першого полягає в тому, що при перевірці виконання цих завдань відслідковується не тільки наявність окремих гілок дерева, а і їх порядок. У завданнях цього виду, важливу роль відіграє порядок, у якому слідують однорівневі елементи структури, адже ці елементи є окремими кроками у вирішенні поставленого завдання.

Ілюстрація формалізації об'єктів навчальної діяльності за допомогою деревоподібних структур саме на прикладі програмування має свої унікальні переваги перед будь-якими іншими напрямками навчальної діяльності. Програма, як навчальний об'єкт, легко масштабується за розміром і складністю, вона добре формалізована і структурована. Діяльність стосовно програми відбувається у вікні текстового редактора і завжди доступна для автоматизованого моніторингу за допомогою діагностичної програми, що працює паралельно із засобами програмування в багатозадачному операційному середовищі Windows. Результати роботи програми, як правило, теж добре формалізовані і доступні для контролю.

3. Прототип автентичного програмного продукту для підтримки навчання на базі маніпуляцій із графами

Розглянемо перший тип завдання на прикладі інтерфейсу власного програмного забезпечення, розробленого спеціально для апробації ідей використання структурованих об'єктів для навчання. Нехай нам необхідно побудувати деяку структуру обчислювальної системи.

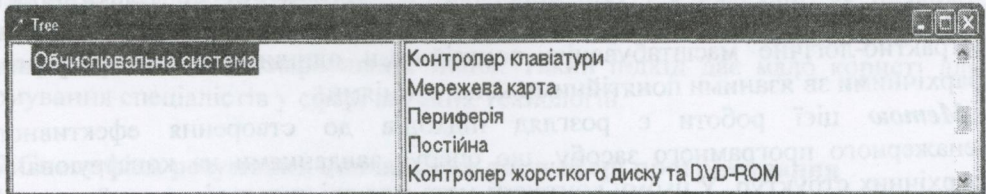


Рис. 1 Інтерфейс початкової програми, що оперує завданням першого типу. Стартова ситуація при виконанні завдання

Запропонований студентам інтерфейс вікна виконання складається з двох частин (рис.1). З лівої сторони знаходиться дерево, а з правої список компонентів для конструювання цього дерева. На початку виконання завдання у лівій панелі міститься тільки кореневий елемент дерева, котрий задає предметну область, а з правої – повний список компонентів. Виконання завдання полягає у побудові деревовидної структури шляхом переміщення елементів списку справа на ліво.

На рис.1 зображена саме така ситуація. Список компонентів справа доступний через відповідну смугу прокрутки. Порядок слідування окремих елементів у списку випадковий.

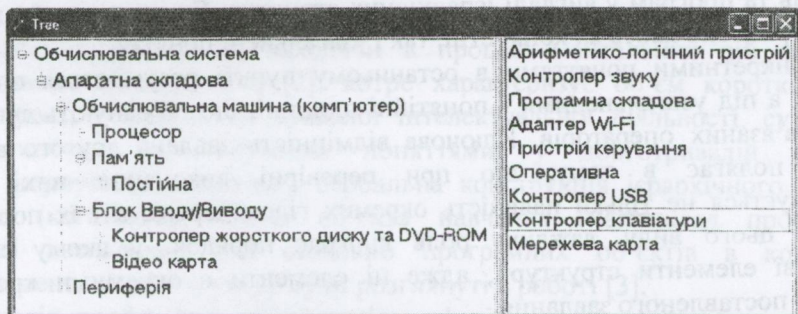


Рис. 2. Інтерфейс початкової програми, що оперує завданням першого типу. Завдання виконано наполовину. Праве вікно програми ще заповнено невикористаними елементами конструювання

На рис.2 представлена ситуація, коли завдання на конструювання виконано не повністю. Елементи списку переміщені у ліву панель та утворюють ієрархічну конструкцію. По завершенню побудови список лишається порожнім.

У деяких випадках список справа може бути і надлишковим. У такому разі наприкінці правильного виконання завдання права панель все ж таки містить

деяку кількість записів. Такі завдання надають побудові структури додаткової складності.

Програмна структура виконана в форматі ієрархії – схожа на структуру класифікації понятійних одиниць. Однак, у випадку тексту програми – зміст окремих елементів і всієї конструкції дещо інший. Вузли графу це - концепції або поняття. Вони об'єднують в єдине ціле оператори мови програмування. У такій конструкції важливий порядок елементів.

Приклад такого ілюстративного завдання представлений на рис.3. У завданні пропонується відокремити окремі слова речення. Ця задача може бути розв'язана, якщо надати змінним початкових значень, реалізувати однократну вирізку слова, здійснити багатократну вирізку окремих слів, організувати вивід результату. Існують і більш дрібні проблеми, які необхідно вирішити при цьому, а саме: пошук поточного пробілу, перетворення кінця чергового слова на початок наступного.

На рис.3 представлений проміжний стан у розв'язку задачі. Частина компонентів, що були розташована в панелі з правої сторони, на початку виконання завдання, вже включені в дерево. Залишилось визначити місце, і перетягнути наліво компоненти, що ще залишились справа. Суттєвим моментом, на який треба звернути увагу є те, що порядок компонентів списку правої панелі випадковий.

Змінною Text1 позначено початковий текст. Змінна N відслідковує номер поточної букви при пошуку чергового пробілу в тексті. Змінними P і K позначені відповідно положення пробілу на початку слова і в кінці його. Змінна Sl містить поточне вирізане слово.

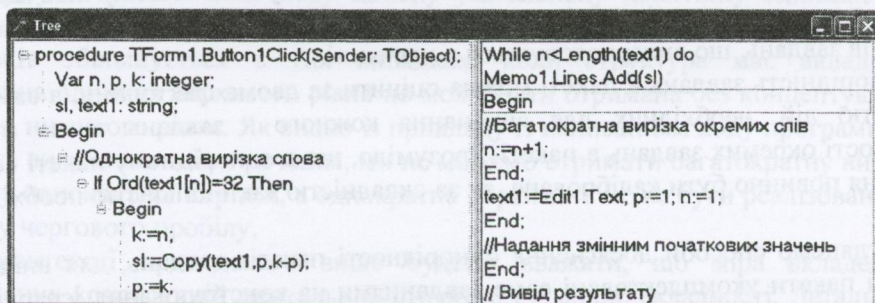


Рис.3 Інтерфейс початкової програми, що оперує завданням другого типу. Завдання виконано не повністю

Зауважимо, що при конструюванні інтерфейсу програми автори намагались зробити маніпуляції в ньому максимально швидкими. Редагування текстів в цьому інтерфейсі мінімізоване. Робота реалізована переважно через роботу миші. Крім перенесень окремих компонентів між деревом і списком доступні також перестановки, як всередині списку, так і в межах дерева, реалізована також можливість перенесення цілих гілок дерева.

Максимальне пришвидшення маніпуляцій впродовж виконання завдання, на думку авторів, – ключовий принциповий момент, що дозволяє акцентуватися на інтелектуальних діях, а не рутинній психомоторній роботі по редагуванню

текстів. Даний підхід дозволяє оцінювати швидкість саме інтелектуальних дій. Психомоторні дії, пов'язані із введенням відповіді, мінімізуються. Аналіз конструкції деревоподібної структури, що є результатом виконання завдання, дозволяє визначити, який відсоток гілок дерева правильний. Така дискретизація при перевірці більш тонко описує процес освоєння навчального матеріалу, ніж перевірка, що передбачає два значення правильно і неправильно. На рис.4 представлена схема роботи програми.

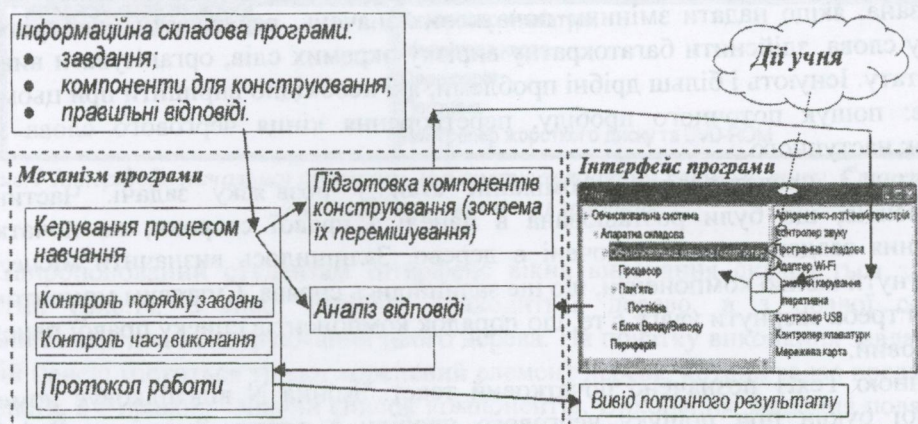


Рис.4 Механізм роботи програми в загальних рисах

4. Однорідність пакетів завдань на ієрархічну побудову

Важливим моментом, який впливає на адекватну діагностику навчальних процесів при проведенні комп'ютеризованого навчання, є однорідність кожного з пакетів завдань, що використовується в навчанні.

Однорідність завдань в пакеті можна оцінити за двома факторами, а саме: за кількістю дій, необхідних для виконання кожного з завдань та за мірою складності окремих завдань в пакеті. Зрозуміло, що в однорідному пакеті кожне завдання повинно бути каліброване, як за складністю так і кількістю необхідних дій.

Розглянемо способи досягнення однорідності пакетів завдань, для випадку, коли ці пакети укомплектовані саме завданнями на конструювання ієрархічної структури.

Калібровка проводиться легко, оскільки кількість дій корелює з кількістю елементів конструювання. Для досягнення однорідності за кількістю дій достатньо запроектувати ці завдання так, щоб кількість елементів конструювання в різних завданнях була однаковою. Як правило потрібну кількість дій можливо вибрати майже довільно, оскільки базисна для формування завдання ієрархічна структура, як правило, значно більша ніж потрібно для створення одного завдання і вона включає елементи різного ступеня узагальненості. Ієрархічні структури добре масштабуються. Тому при проектуванні завдань на конструювання вітки цих деревоподібних утворень можна згортати і розгортати на свій розсуд, не втрачаючи змістовної цілісності, але регулюючи при цьому кількість елементів у структурі. Інший цінний момент

полягає в тому, що окрема вітка дерева є теж ієрархія. Тому в якості базису для завдання можна вибрати не деталізацію кореня всього дерева, а деталізацію окремої вітки. Це дозволяє досягнути найвищого ступеня деталізації та конкретизації матеріалу, не втрачаючи при цьому однорідність завдання за кількістю необхідних дій для виконання завдання. Великий розмір базової для завдань ієрархії дозволяє утворювати десятки завдань навколо однієї деревоподібної структури, масштабуючи її при формуванні завдання або пересуваючись нею. Якщо інтерпретувати програму як ієрархію, останнє твердження теж дійсне. Тут, з одної сторони, можна акцентуватись при формуванні завдання на виготовленні окремих процедур, відповідних локальним віткам дерева. З іншої сторони, використання готових бібліотек процедур може дозволити пересунутись ближче до «стовбура» ієрархії, базової для завдань програми.

Калібровка складності теж непогано формалізується для завдань на конструювання ієрархічних конструкцій. У програмах існують фрагменти тексту достатньо прості для сприйняття і створення. Зокрема, це – лінійні частини програми, порядок виконання окремих кроків яких є незмінним. Ускладненими можна вважати лінійні фрагменти, які сприймаються тільки сукупно, в певному комплексі складових частин. Окрема частина такого фрагменту не має змісту в сенсі загальної мети роботи програми. Повтори та розгалуження в тексті програми, а також складні математичні вирази, ексклюзивні функції і процедури (підпрограми) користувача підвищують складність програми. Такі фрагменти програми жорстко задають межі уваги при їх обмірковуванні. Кожен з перерахованих вище фрагментів формує свою змістовну складову, а значить спричинює локалізацію уваги на собі, ініціює стосовно себе відповідні логічні дії, формує стосовно себе нову цілісну узагальнену понятійну одиницю або коротке концептуальне твердження. Зрозуміло, що складність розумових висновків збільшується в тих випадках, коли структура має вкладення. Понятійна одиниця верхнього рівня не може бути отримана без концептуальної одиниці нижнього рівня. Як видно із прикладу із написанням коду програми, що реалізує вилучення слів з речення, ми не можемо отримати багатократну вирізку слів без однократної вирізки, а однократна вирізка не може бути реалізована без пошуку чергового пробілу.

У контексті приведеного вище будемо вважати, що міра вкладеності ієрархічних конструкцій ментальних структур і є мірою складності. Детальніше це розглянуто в роботі [6].

5. Підсумок

Підводячи висновок можна сказати, що створення навчаючих програм, які реалізують механізм тестування на базі конструювання ієрархічних структур, перспективні для розвитку. Вони дозволяють забезпечити суб'єктів навчання якісними завданнями, що ексклюзивно підтримують розвиток здатностей до причинно-наслідкового і абстрактно-логічного мислення. Витрати часу на матеріалізовану діяльність при цьому можуть бути мінімізовані. Крім того, ці завдання направлені на зменшення дифузності мислення, вони підвищують диференціацію понятійного базису розумових дій. Важливим моментом є і те, що пакети цих завдань можна зробити однорідними. Останнє має особливе

значення як для автоматизації процесу навчання, так і для досліджень в галузі психології та педагогіки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холодная М.А. Психология интеллекта: парадоксы исследования. — СПб.: Питер, 2002. - 272с.
2. Андерсон Дж. Когнитивная психология. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2002. — 496 с.
3. Головін М.Б. Зміст підготовки висококваліфікованого фахівця з інформаційних комп'ютерних технологій у контексті когнітивних процесів (на прикладі програмування) //Інформаційні технології в освіті. Випуск 2. Херсон, 2008. — С. 66-73.
4. Дал У., Дейкстра Э., Хоар К. Структурное программирование. — М.: Мир, 1975. - 246 с.
5. Хьюз Дж., Митчом Дж. Структурный подход к программированию. — М.: Мир, 1980. - 276 с.
6. Головін М.Б. Кількість і складність розумових дій у контексті діагностики когнітивних процесів, що детермінують практику навчального програмування //Вісник Черкаського університету. Серія педагогічні науки. Випуск 125. Черкаси, 2008. — С. 34 – 41.

УДК 621.396.677

Алгоритм расчета электродинамических характеристик рассеяния трехмерных гауссовых волновых пучков на плоских экранах

А. В. Грибовский, О. А. Елисеев

Радиоастрономический институт НАН Украины, Украина

В работе рассматривается исследование электродинамических характеристик рассеяния при дифракции гауссового волнового пучка на плоском экране конечной толщины с прямоугольными отверстиями. Продемонстрирован алгоритм расчета электродинамических характеристик отраженного и прошедшего полей при рассеянии гауссового волнового пучка на плоском экране конечной толщины с прямоугольными отверстиями.

Ключевые слова: *трехмерный гауссовый волновой пучок, электродинамические характеристики, прошедшее и отраженное поля.*

У роботі розглядається дослідження електродинамічних характеристик розсіювання при дифракції гаусового хвильового пучка на плоскому екрані кінцевої товщини з прямокутними отворами. Продемонстрований алгоритм розрахунку електродинамічних характеристик відбитого і минулого полів при розсіюванні гаусового хвильового пучка на плоскому екрані кінцевої товщини з прямокутними отворами.

Ключові слова: *тривимірний гаусовий хвильовий пучок, електродинамічні характеристики, минуле і відбите поля.*

In this paper we investigate electrodynamic characteristics of the scattering in the diffraction of a Gaussian wave beam on the flat screen of finite thickness with rectangular holes. We demonstrate the algorithm for calculating the electrodynamic characteristics of reflected and transmitted fields in the scattering of a Gaussian wave beam on the flat screen of finite thickness with rectangular holes.

Key words: *three-dimensional Gaussian wave beam, electrodynamic characteristics, transmitted and reflected fields.*

1. Введение.

Дифракционные характеристики широкого класса одномерных и двумерно периодических структур при падении на них плоских электромагнитных волн в настоящее время достаточно хорошо изучены. Однако в реальных устройствах электромагнитное поле, как правило, имеет структуру волнового пучка. Следовательно, на решетку, являющейся составной частью устройства, падает волновой пучок. Прошедшее и отраженное поля также представляют собой волновые пучки. Форма диаграммы направленности, амплитудное и фазовое распределения прошедшего и отраженного полей могут значительно отличаться от соответствующих характеристик падающего волнового пучка. Поэтому необходимо учитывать это обстоятельство при разработке квазиоптических устройств. Кроме того, для приложений важно, при каких условиях основные характеристики рассеянных электромагнитных полей в случае дифракции волнового пучка на двумерно периодических решетках оказываются такими же, как и при рассеянии плоской волны.

В настоящее время существует большое количество публикаций, в которых представлены результаты исследований характеристик рассеяния двумерных и трехмерных волновых пучков на различных периодических структурах [1-11]. В этих работах рассматриваются одномерно периодические структуры, структуры в виде однородных одиночных диэлектрических пластин и периодических последовательностей слоев из изотропных материалов, либо двумерно периодические магнитодиэлектрические слои. Рассеяние трехмерных волновых пучков на двумерно периодических апертурных решетках ранее не исследовалось.

2. Постановка задачи и метод решения.

Исследуемая модель решетки представляет собой плоский идеально проводящий периодический в двух не ортогональных направлениях экран конечной толщины h с прямоугольными отверстиями, рис 1. Прямоугольные отверстия в экране конечной толщины рассматриваются как отрезки прямоугольных волноводов. Раскрыв решетки расположен в плоскости XOY . Центры базовых ячеек в плоскости раскрыва экрана расположены в узлах косоугольной сетки. Их положение определяется углом χ . Сечение волноводов $(a \times b)$ выбрано таким, что в исследуемом диапазоне частот в них может распространяться только основная TE_{10} - волна. Периоды решетки равны d_1 и d_2 .

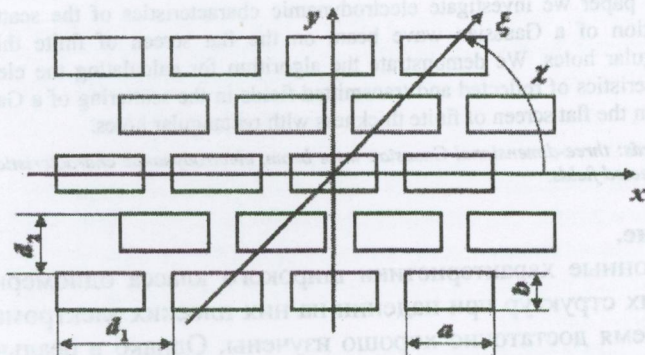


Рис.1. Плоскость раскрыва решетки.

На экран из полупространства $z > 0$ произвольным образом падает линейно поляризованный волновой пучок. Направление поляризации также произвольно. Требуется найти электромагнитное поле, рассеянное решеткой в свободное пространство. На рис. 2 изображена система координат $x y z$, связанная с решеткой, и система координат $x_p y_p z_p$, связанная с пучком. Углы θ_0, φ_0 - углы падения пучка в системе координат $x y z$; x_0, y_0, z_0 - координаты начала системы координат $x_p y_p z_p$ в системе координат $x y z$.

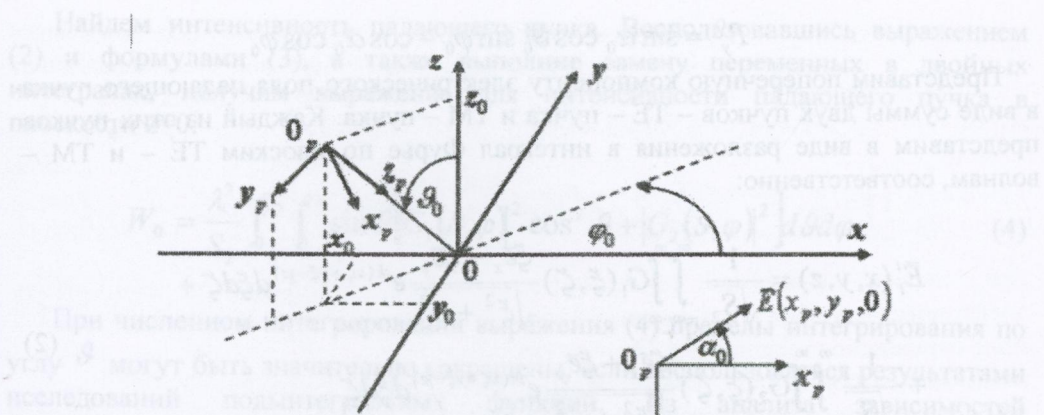


Рис.2. Система координат.

Пусть в плоскости $z_p = 0$ задано распределение поперечной компоненты падающего электрического поля пучка в виде

$$\bar{E}_t^i(x_p, y_p, 0) = \frac{1}{\pi\sqrt{S_2}} \exp\left\{-\left(\frac{x_p}{w_1}\right)^2 - \left(\frac{y_p}{w_2}\right)^2\right\} \cdot (\bar{e}_{xp} \cos \alpha_0 - \bar{e}_{yp} \sin \alpha_0)$$

где $S_2 = d_1 d_2$ - площадь базовой ячейки решетки, w_1, w_2 - параметры, определяющие эффективные размеры пучка в плоскости $z_p = 0$, $\bar{e}_{xp}, \bar{e}_{yp}$ - единичные орты в системе координат $x_p y_p z_p$. Угол поляризации α_0 определен в системе координат $x_p y_p z_p$, связанной с пучком, рис. 2. Будем считать, что угол падения пучка θ_0 невелик. Воспользовавшись формулами преобразования системы координат, получим выражение для поперечной к оси Oz компоненты электрического поля пучка в системе координат x, y, z в плоскости $z = z_0$:

$$\bar{E}_t^i(x, y, z_0) = F(x, y) (P_x^0 \bar{e}_x + P_y^0 \bar{e}_y), \quad (1)$$

где

$$F(x, y) = \frac{1}{\pi\sqrt{S_2}} \exp\{-(x-x_0)^2 \delta_1 - (y-y_0)^2 \delta_2 + (x-x_0)(y-y_0) \delta_3 + ik \sin \theta_0 [(x-x_0) \cos \varphi_0 + (y-y_0) \sin \varphi_0]\},$$

$$\delta_1 = \frac{\sin^2 \varphi_0}{w_1^2} + \frac{\cos^2 \theta_0 \cos \varphi_0}{w_2^2}, \quad \delta_2 = \frac{\cos^2 \varphi_0}{w_1^2} + \frac{\cos^2 \theta_0 \sin^2 \varphi_0}{w_2^2},$$

$$\delta_3 = \sin 2\varphi_0 \left(\frac{1}{w_1^2} - \frac{\cos^2 \theta_0}{w_2^2} \right),$$

$$P_x^0 = \sin \alpha_0 \cos \theta_0 \cos \varphi_0 + \cos \alpha_0 \sin \varphi_0,$$

$$P_y^0 = \sin \alpha_0 \cos \vartheta_0 \sin \varphi_0 - \cos \alpha_0 \cos \varphi_0$$

Представим поперечную компоненту электрического поля падающего пучка в виде суммы двух пучков – ТЕ – пучка и ТМ – пучка. Каждый из этих пучков представим в виде разложения в интеграл Фурье по плоским ТЕ – и ТМ – волнам, соответственно:

$$\begin{aligned} \vec{E}_i(x, y, z) = & \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_1(\xi, \zeta) \frac{\xi \vec{e}_x - \zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} e^{ik(x\zeta + y\xi - \gamma z)} d\xi d\zeta + \\ & + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_2(\xi, \zeta) \frac{\zeta \vec{e}_x + \xi \vec{e}_y}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} e^{ik(x\zeta + y\xi - \gamma z)} d\xi d\zeta \end{aligned} \quad (2)$$

где $G_{1,2}(\xi, \zeta)$ – спектральные функции падающего пучка; $k = 2\pi / \lambda$, $\gamma = \sqrt{1 - \xi^2 - \zeta^2}$. Переменные интегрирования ξ, ζ имеют следующий смысл: $\xi = \sin \vartheta \cos \varphi$, $\zeta = \sin \vartheta \sin \varphi$, где ϑ, φ – углы падения отдельной пространственной ТЕ – или ТМ – гармоники с амплитудой $G_1(\xi, \zeta)$ и $G_2(\xi, \zeta)$ соответственно. Углы ϑ, φ в области их вещественных значений определяются так же, как и углы, ϑ_0, φ_0 , рис. 2.

С учетом выражения (1) с помощью обратного преобразования Фурье найдем спектральные функции падающего пучка $G_{1,2}(\xi, \zeta)$

$$G_1(\xi, \zeta) = G_0 \exp(ik[\gamma z_0 - \zeta x_0 - \xi y_0]) G^{(1)},$$

$$G_2(\xi, \zeta) = G_0 \exp(ik[\gamma z_0 - \zeta x_0 - \xi y_0]) G^{(2)},$$

$$\text{где } G_0 = w_1 w_2 / (\lambda^2 \cos \vartheta_0), \quad G^{(1)} = \frac{A(\xi, \zeta)}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} (\xi P_x^0 - \zeta P_y^0),$$

$$G^{(2)} = \frac{A(\xi, \zeta)}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} (\zeta P_x^0 + \xi P_y^0),$$

$$A(\xi, \zeta) = \exp \left\{ -\frac{k^2}{4\delta_1} (\sin \vartheta_0 \cos \varphi_0 - \zeta)^2 - \frac{k^2}{4\Delta_1} [\sin \vartheta_0 \sin \varphi_0 - \xi + \right. \quad (3)$$

$$\left. + \Delta_2 (\sin \vartheta_0 \cos \varphi_0 - \zeta) \right]^2 \}$$

$$\Delta_1 = \frac{\cos^2 \vartheta_0}{(w_2 \sin \varphi_0)^2 + (w_1 \cos \vartheta_0 \cos \varphi_0)^2},$$

$$\Delta_2 = \frac{\sin \varphi_0 \cos \varphi_0 (w_2^2 - w_1^2 \cos^2 \vartheta_0)}{\sin^2 \varphi_0 (w_2^2 - w_1^2 \cos^2 \vartheta_0) + w_1^2 \cos \vartheta_0}.$$

Найдем интенсивность падающего пучка. Воспользовавшись выражением (2) и формулами (3), а также выполнив замену переменных в двойных интегралах, получим выражение для интенсивности падающего пучка в плоскости $z=0$:

$$W_0 = \frac{\lambda^2}{S_2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \sin \vartheta \left[G_1(\vartheta, \varphi)^2 \cos^2 \vartheta + |G_2(\vartheta, \varphi)|^2 \right] d\vartheta d\varphi \quad (4)$$

При численном интегрировании выражения (4) пределы интегрирования по углу ϑ могут быть значительно сокращены, если воспользоваться результатами исследований подынтегральных функций. Из анализа зависимостей спектральных функций $G_{1,2}(\xi, \zeta)$ от параметров пучка следует, что подынтегральные функции в (4), вследствие экспоненциальной зависимости от аргументов, быстро убывают с ростом величины угла ϑ и скорость убывания существенным образом зависит от параметров падающего пучка. Поэтому, проведя предварительный анализ зависимостей спектральных функций от параметров падающего пучка и переменных интегрирования, мы можем существенно сократить время расчета характеристик рассеяния пучка при дальнейшем решении поставленной задачи.

При произвольном падении плоской линейно поляризованной ТЕ - или ТМ - волны на плоский двумерно периодический экран конечной толщины с прямоугольными отверстиями поперечная компонента отраженного (или прошедшего) электрического поля может быть представлена в виде [12]

$$\begin{pmatrix} {}_{TE} \bar{E}_t^r(x, y, z) \\ {}_{TM} \bar{E}_t^r(x, y, z) \end{pmatrix} = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} \begin{pmatrix} {}_{TE} r_{qs}^{(1)} \\ {}_{TM} r_{qs}^{(1)} \end{pmatrix} \bar{\Psi}_{qs}^{(1)} e^{i\Gamma_{qs}z} + \\ + \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} \begin{pmatrix} {}_{TE} r_{qs}^{(2)} \\ {}_{TM} r_{qs}^{(2)} \end{pmatrix} \bar{\Psi}_{qs}^{(2)} e^{i\Gamma_{qs}z}, \quad z > 0 \quad (5),$$

где Γ_{qs} - постоянная распространения отдельной пространственной гармоники, $\bar{\Psi}_{qs}^{(1,2)}$ ортонормированная система векторных пространственных гармоник, $r_{qs}^{(1,2)}$ известные элементы обобщенных матриц рассеяния решетки из отрезков волноводов прямоугольного сечения, найденные из решения ключевых задач дифракции спектров ТЕ - и ТМ - плоских линейно поляризованных электромагнитных волн. Индекс (1) соответствует ТЕ - волнам, индекс (2) - ТМ - волнам.

При падении на решетку ТЕ - волнового пучка (первое слагаемое в выражении (2)) поперечную компоненту отраженного электрического поля можно представить в виде суммы двух волновых пучков, записанных в виде разложений в интегралы Фурье по плоским волнам:

$$\begin{aligned} \vec{E}_t(x, y, z) = & \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_1(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi)} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} {}^{TE}r_{qs}^{(1)}(\xi, \zeta) \frac{\kappa_\xi \vec{e}_x - \kappa_\zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\kappa_\xi^2 + \kappa_\zeta^2}} \Phi_{qs}(x, y, z) d\xi d\zeta + \\ & + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_1(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi)} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} {}^{TE}r_{qs}^{(2)}(\xi, \zeta) \frac{\kappa_\xi \vec{e}_x + \kappa_\zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\kappa_\xi^2 + \kappa_\zeta^2}} \Phi_{qs}(x, y, z) d\xi d\zeta \end{aligned} \quad (6),$$

где первое слагаемое представляет собой поперечную компоненту электрического поля отраженного волнового ТЕ – пучка, а второе слагаемое – поле отраженного волнового ТМ – пучка.

В аналогичном виде можно записать поперечную компоненту отраженного электрического поля при падении на решетку ТМ – волнового пучка:

$$\begin{aligned} \vec{E}_t(x, y, z) = & \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_2(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi)} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} {}^{TM}r_{qs}^{(1)}(\xi, \zeta) \frac{\kappa_\xi \vec{e}_x - \kappa_\zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\kappa_\xi^2 + \kappa_\zeta^2}} \Phi_{qs}(x, y, z) d\xi d\zeta + \\ & + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} G_2(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi)} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} {}^{TM}r_{qs}^{(2)}(\xi, \zeta) \frac{\kappa_\xi \vec{e}_x + \kappa_\zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\kappa_\xi^2 + \kappa_\zeta^2}} \Phi_{qs}(x, y, z) d\xi d\zeta \end{aligned} \quad (7),$$

где $\kappa_\zeta = \zeta - \frac{q}{\kappa_1}$; $\kappa_\xi = \xi - \frac{s}{\kappa_2} + \frac{qctg(\chi)}{\kappa_1}$; $\kappa_1 = \frac{d_1}{\lambda}$; $\kappa_2 = \frac{d_2}{\lambda}$.

$$\Phi_{qs}(x, y, z) = \exp\left(-ik\left[\frac{xq}{\kappa_1} - y\left(\frac{s}{\kappa_2} - \frac{qctg(\chi)}{\kappa_1}\right)\right]\right) \times \exp\left\{ikz\sqrt{1 - \kappa_\xi^2 - \kappa_\zeta^2}\right\}$$

Поперечные компоненты электрического поля отраженного пучка (6) и (7) удовлетворяют уравнению Гельмгольца. Из анализа выражений (6) и (7), а также, учитывая принцип суперпозиции для электромагнитного поля, можно сделать следующее заключение. Поперечную компоненту электрического поля пучка, отраженного от двумерно периодической решетки, можно также представить в виде суммы поперечных компонент полей двух волновых ТЕ – и ТМ – пучков. Каждое из слагаемых представим в виде разложений в интегралы Фурье по плоским ТЕ – и ТМ – волнам:

$$\begin{aligned} \vec{E}_t(x, y, z) = & \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} R_1(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi + yz)} \frac{\xi \vec{e}_x - \zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} d\xi d\zeta + \\ & + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} R_2(\xi, \zeta) e^{ik(x\zeta + y\xi + yz)} \frac{\xi \vec{e}_x + \zeta \vec{e}_y}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} d\xi d\zeta \end{aligned} \quad (8)$$

где $R_1(\xi, \zeta)$ и $R_2(\xi, \zeta)$ неизвестные спектральные функции. Индекс 1 соответствует ТЕ – волновому пучку, а индекс 2 – ТМ – волновому пучку.

Найдем связь между неизвестными спектральными функциями $R_1(\xi, \zeta)$ и $R_2(\xi, \zeta)$ и известными элементами обобщенных матриц рассеяния двумерно

периодической решетки. Сравнивая выражения (6), (7) и (8) и учитывая свойство ортогональности векторных пространственных гармоник, получим:

$$R_1(\xi, \zeta) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} \{G_1(\xi, \zeta)_{TE} r_{qs}^{(1)}(\xi, \zeta) + G_2(\xi, \zeta)_{TM} r_{qs}^{(1)}(\xi, \zeta)\} \quad (9)$$

$$R_2(\xi, \zeta) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} \{G_1(\xi, \zeta)_{TE} r_{qs}^{(2)}(\xi, \zeta) + G_2(\xi, \zeta)_{TM} r_{qs}^{(2)}(\xi, \zeta)\},$$

$$\text{где } \hat{\xi} = \xi + \frac{s}{\kappa_2} - \frac{q \operatorname{ctg}(\chi)}{\kappa_1}; \hat{\zeta} = \zeta + \frac{q}{\kappa_1}.$$

С помощью формулы (9) вычисляются элементы матрицы оператора отражения (или прохождения), который ставит в соответствие амплитуде Фурье падающего на решетку поля волнового пучка амплитуду Фурье зеркально отраженного (или прошедшего) поля пучка. Поэтому, зная операторы $R_1(\xi, \zeta)$ и $R_2(\xi, \zeta)$, можно изучать рассеяние трехмерных волновых пучков с практически любым распределением поля на любой периодической в двух направлениях структуре, порождающей двухмерный пространственный спектр гармоник при произвольном падении на ее апертуру плоской линейно поляризованной волны и при произвольном соотношении между геометрическими параметрами структуры и длиной волны.

Для исследования характеристик рассеяния волнового пучка на плоском экране конечной толщины с прямоугольными отверстиями найдем электромагнитное поле рассеяния в дальней зоне. С этой целью произведем замену переменных в двойных интегралах в (8) и запишем выражения для всех компонент электромагнитного поля в сферической системе координат. Затем, воспользовавшись методом стационарной фазы для приближенного вычисления двойных интегралов, получим выражения для диаграмм направленности по полю и по интенсивности отраженного волнового пучка в дальней зоне:

$$DE_{\varphi} = |R_1(\vartheta, \varphi)| \cos \vartheta, \quad DE_{\vartheta} = |R_2(\vartheta, \varphi)|, \quad D = (DE_{\varphi})^2 + (DE_{\vartheta})^2.$$

Интенсивность отраженного пучка вычисляется по формуле:

$$W = \frac{\lambda^2}{S_2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \sin \vartheta \left\{ \cos^2 \vartheta |R_1(\vartheta, \varphi)|^2 + |R_2(\vartheta, \varphi)|^2 \right\} d\vartheta d\varphi \quad (10)$$

Были проведены исследования электродинамических характеристик рассеяния трехмерного гауссового волнового пучка на плоском экране конечной толщины с прямоугольными отверстиями. Параметры пучка и решетки были выбраны из условия, чтобы в операторах (9) достаточно было бы учесть только по одному члену ряда. Данное приближение оправдано тем, что абсолютное значение функций $G_1(\hat{\xi}, \hat{\zeta})$ и $G_2(\hat{\xi}, \hat{\zeta})$ для гауссовых волновых пучков отлично от нуля лишь в небольшом интервале изменения значений углов ϑ, φ при $q = s = 0$. При $q \neq 0, s \neq 0$ абсолютные значения спектральных функций

стремятся к нулю $|G_1(\hat{\xi}, \hat{\zeta})| \rightarrow 0$, $|G_2(\hat{\xi}, \hat{\zeta})| \rightarrow 0$ во всем диапазоне изменений их аргументов.

С помощью разработанного алгоритма, было произведено сравнение зависимостей от частоты коэффициентов отражения по интенсивности волнового пучка кругового поперечного сечения, рассчитанного по формуле (10), и плоской волны, падающих нормально на поверхность решетки. На рис. 3 представлены результаты расчетов при следующих параметрах: $a=5\text{мм.}$, $b=1\text{мм.}$, $h=9\text{мм.}$, $d_1 = d_2 = 6\text{мм.}$, $w_1 = 50\text{мм.}$, $w_2 = 50\text{мм.}$, $\varphi_0 = 0^\circ$, $\vartheta_0 = 0^\circ$, $\alpha_0 = 0^\circ$. Из рисунка видно, что зависимости коэффициентов отражения по интенсивности пучка и плоской волны практически совпадают во всем исследуемом частотном диапазоне. Исключение составляет одна точка частотного диапазона, где не наблюдается полное прохождение электромагнитного поля пучка за экран. На этой частоте ($f=48.0769\text{ ГГц.}$) длина основной волны в прямоугольных волноводах приблизительно равна толщине экрана.

Были рассчитаны диаграммы направленности по полю падающего, прошедшего и отраженного пучков в двух ортогональных плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$ при нормальном падении пучка на решетку. Диаграммы направленности рассчитаны на частотах, находящихся вблизи частоты $f=48.0769\text{ ГГц.}$, соответствующей третьему экстремуму функций, представленных на рис. 3. Следует отметить, что при выбранных параметрах пучка и экрана, изменения в формах диаграмм направленностей наблюдались только в плоскости $\varphi = 90^\circ$.

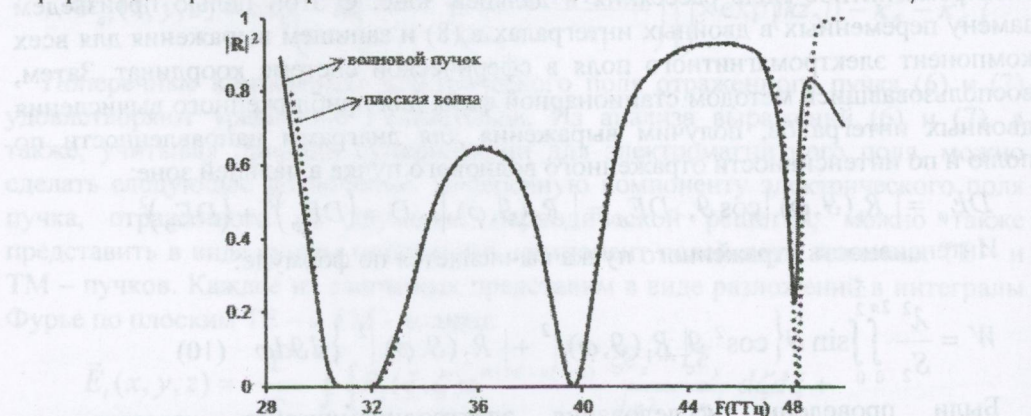


Рис.3. Зависимость коэффициента отражения по интенсивности от частоты.

На рис.4а, рис.4б и рис.4в представлены результаты расчетов диаграмм направленностей по полю для случая нормального падения на решетку с прямоугольной сеткой ($\chi=90^\circ$) волнового пучка с круговой формой поперечного сечения. Параметры экрана и пучка имели такие же значения, как и в предыдущем случае. При выбранной поляризации электромагнитного поля в падающем пучке $\alpha_0 = 0^\circ$ вектор электрического поля ортогонален широким

стенкам волноводных каналов. В этом случае происходит наиболее эффективное возбуждение основной волны в волноводных каналах.

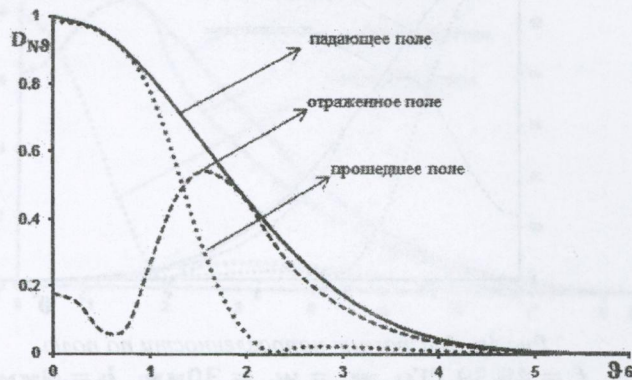


Рис. 4а. Диаграммы направленности по полю.

$f = 48.154 \text{ ГГц}$, $w_1 = w_2 = 50 \text{ мм.}$, $h = 9 \text{ мм.}$

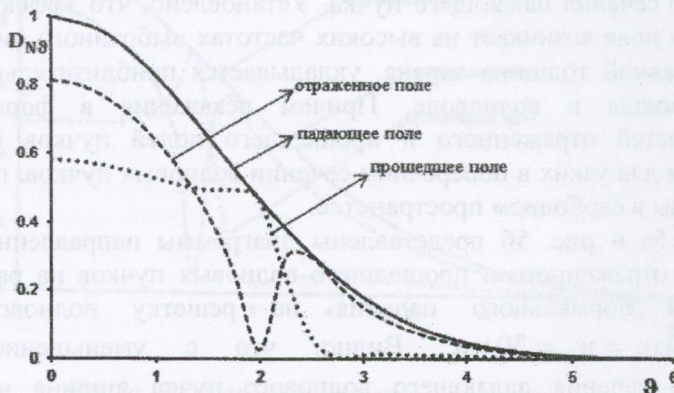


Рис. 4б. Диаграммы направленности по полю.

$f = 47.75 \text{ ГГц}$, $w_1 = w_2 = 50 \text{ мм.}$, $h = 9 \text{ мм.}$

Из рисунков видно, что форма диаграммы направленности отраженного и прошедшего пучков, по сравнению с диаграммой направленности падающего пучка, изменяется в плоскости $\varphi = 90^\circ$. На некоторых частотах происходит сужение диаграмм направленности или фокусировка прошедшего электромагнитного поля, а диаграммы направленности отраженного поля претерпевают искажения.

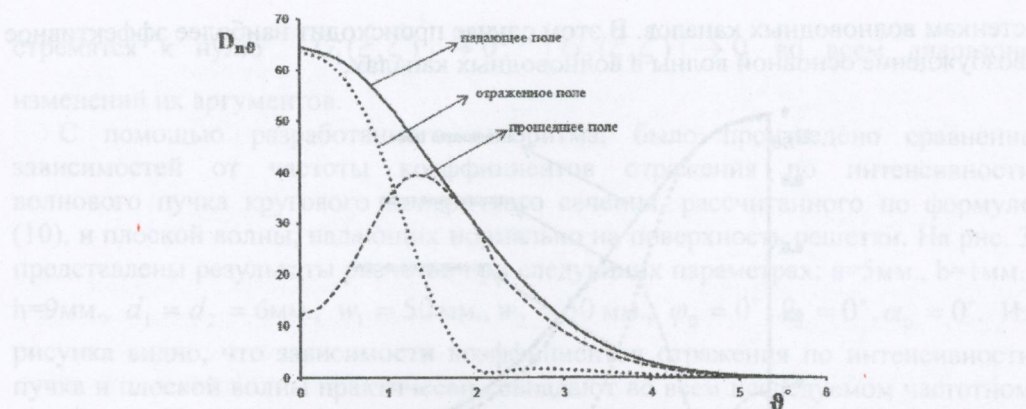


Рис. 4в. Диаграммы направленности по полю.
 $f = 48.39$ ГГц, $w_1 = w_2 = 30$ мм., $h = 9$ мм.

Был произведен анализ зависимостей изменения форм диаграмм направленностей для прошедшего и отраженного полей от размеров поперечного сечения падающего пучка. Установлено, что эффект фокусировки прошедшего поля возникает на высоких частотах выбранного диапазона, когда на длине, равной толщине экрана, укладывается приблизительно одна длина основной волны в волноводе. Причем искажения в формах диаграмм направленностей отраженного и прошедшего полей пучков наиболее ярко проявляются для узких в поперечном сечении волновых пучков, по сравнению с длиной волны в свободном пространстве.

На рис. 5а и рис. 5б представлены диаграммы направленности по полю падающего, отраженного и прошедшего волновых пучков на разных частотах для случая нормального падения на решетку волнового пучка с параметрами $w_1 = w_2 = 30$ мм. Видно, что с уменьшением величины поперечного сечения падающего волнового пучка ширина не искаженной диаграммы направленности электромагнитного поля прошедшего пучка практически не изменилась. То же самое происходит и в случае увеличения поперечных размеров пучка до величины $w_1 = w_2 = 70$ мм., рис. 6. Изменения форм диаграмм направленностей электромагнитного поля прошедшего и отраженного пучков связаны с изменением амплитудно-фазовых распределений электромагнитного поля на поверхностях экрана с двух сторон. Провалы в диаграммах направленности отраженных пучков объясняются, по-видимому, хорошо известным эффектом «ослепления» в фазированных антенных решетках [13].

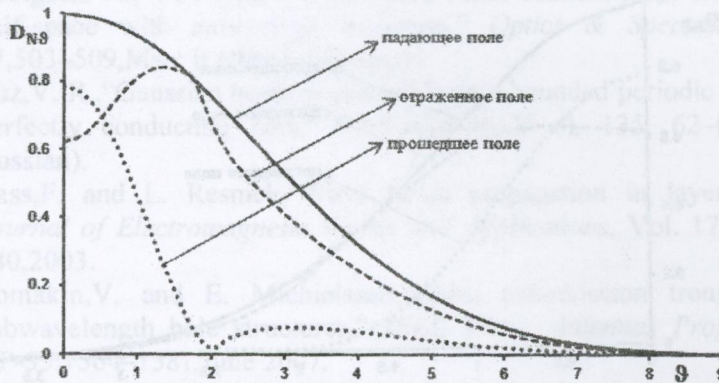


Рис.5а. Диаграммы направленности по полю.
 $f = 48.25$ ГГц, $w_1 = w_2 = 50$ мм., $h = 9$ мм.

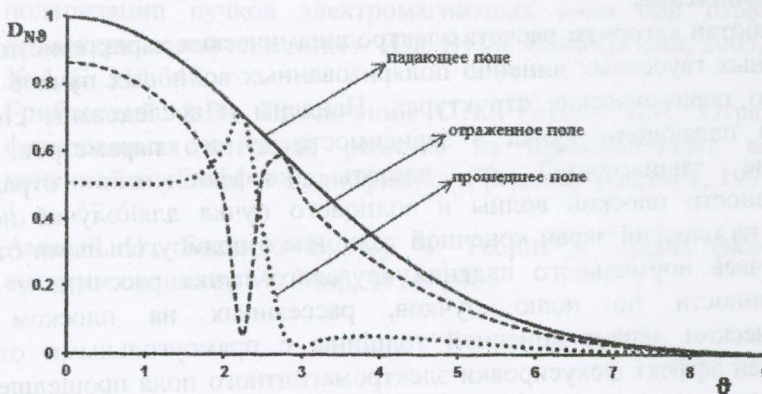


Рис.5а. Диаграммы направленности по полю.
 $f = 47.6$ ГГц, $w_1 = w_2 = 30$ мм., $h = 9$ мм.

Была исследована зависимость форм диаграмм направленности рассеянного экраном поля пучка от толщины экрана. Для данных параметров пучка и выбранного частотного диапазона изменения в форме диаграмм направленностей наблюдаются только в тех случаях, когда по толщине экрана укладывается одна длина основной волны в волновод. Так при толщине экрана 4 мм., и 15 мм. изменений в диаграммах направленности рассеянного поля не наблюдается.

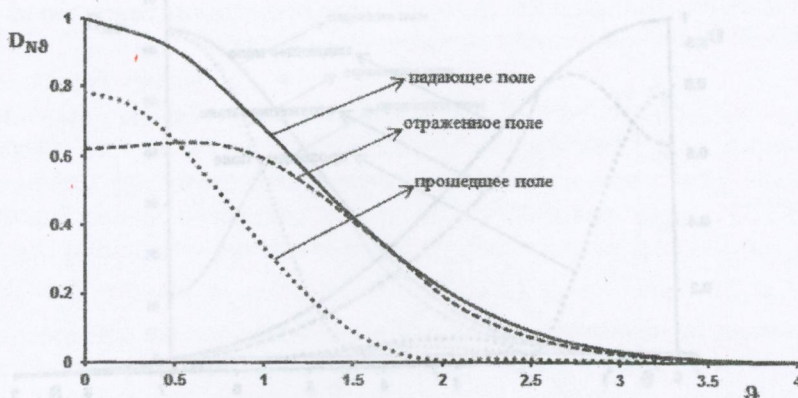


Рис. 6. Диаграммы направленности по полю.
 $f = 48.39$ ГГц, $w_1 = w_2 = 70$ мм., $h = 9$ мм

3. Заключение.

Разработан алгоритм расчета электродинамических характеристик рассеяния трехмерных гауссовых линейно поляризованных волновых пучков на плоских двумерно периодических структурах. Найдены и исследованы спектральные функции падающего пучка в зависимости от его параметров. Проведено сравнение зависимостей от частоты коэффициентов отражения по интенсивности плоской волны и волнового пучка для случая нормального падения на плоский экран конечной толщины с прямоугольными отверстиями. Для случаев нормального падения кругового пучка рассчитаны диаграммы направленности по полю пучков, рассеянных на плоском двумерно периодическом экране конечной толщины с прямоугольными отверстиями. Обнаружен эффект фокусировки электромагнитного поля прошедшего пучка и произведен анализ зависимости степени фокусировки от параметров пучка и решетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tretyakova, S. S., O. A. Tretyakov, V. P. Shestopalov, "Wave beam diffraction on plane periodical structures," *Radiotekhnika & Electronica*, V ol. 17, 1366–1373, July 1972 (in Russian).
2. Shin, S. Y. and L. B. Felsen, "Lateral shift of totally reflected Gaussian beams," *Radio Sci.*, Vol. 12, 551–564, July 1977.
3. Godin, O. A., "Diffraction theory of lateral shift of bounded wave beams during reflection," *Zh. Tekh. Fiz.*, Part 1, V ol. 54, 2094–2104, 1984; Part 2, V ol. 55, 17–25, 1985 (in Russian).
4. Riesz, R. P. and R. Simon, "Reflection of Gaussian beam from a dielectric slab," *J. Opt. Soc. Am. A*, V ol. 2, 1809–1817, 1985.
5. Maciel, J. and L. Felsen, "Gaussian beam analysis of propagation from an extended plane aperture distribution through dielectric layers," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, V ol. AP-38, 1607–1624, October 1990.

6. Shulga, S. N., "Two-dimensional wave beam scattering on an anisotropic half-space with anisotropic inclusion," *Optics & Spectroscopy*, Vol. 87, 503–509, March 1999 (in Russian).
7. Tuz, V. R., "Gaussian beam scattering from a bounded periodic sequence of perfectly conducting bars," *Radiotekhnika*, Vol. 135, 62–67, 2003 (in Russian).
8. Bass, F. and L. Resnick, "Wave beam propagation in layered media," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 17, No. 3, 479–480, 2003.
9. Lomakin, V. and E. Michielssen, "Beam transmission through periodic subwavelength hole structures," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-55, 1564–1581, June 2007.
10. Song Peng and G. Michael Morris Resonant scattering from two-dimensional gratings Vol. 13, No. 5/May 1996/J. Opt. Soc. Am. A PP. 993-1005.
11. Власов С.Н., Копосова Е.В. Векторные волновые пучки. Изменение поляризации пучков электромагнитных волн при отражении от диэлектрической пластины // Изв. Вузов Радиофизика, 2005, т. XLVIII, № 4, С. 340-348.
12. Грибовский А.В., Просвирнин С.Л., Резник И.И. Отражательная фазированная антенная решетка из прямоугольных волноводов конечной глубины // Радиофизика и радиоастрономия, 1997, т. 2, № 1, сс. 52-60.
13. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток М.: Мир, 1974. - 455

УДК 004.942

Об анализе степени упорядоченности динамической пространственной структуры

И. В. Гуцин

Харьковский национальный университет им.В.Н.Каразина, Украина

Обсуждается характер структурных переходов в формировании пространственной структуры конвективных возмущений в модели Проктора – Сивашинского для тонкого слоя жидкости с плохо проводящими границами. В процессе неустойчивости в пространственном спектре развивается режим с обострением, формируя дискретные особенности - узкие спектральные линии. Отмечается корреляция между разными представлениями о дефектности развивающейся структуры.

Ключевые слова: модель Проктора-Сивашинского, структурные переходы, дефектность структуры.

Обговорюється характер структурних переходів у формуванні просторової структури конвективних збурень в моделі Проктора - Сивашинського для тонкого шару рідини з кордонами, які погано проводять. У процесі нестійкості в просторовому спектрі розвивається режим із загостренням, формуючи дискретні особливості - вузькі спектральні лінії. Відзначається кореляція між різними уявленнями про дефектність структури, що розвивається.

Ключові слова: модель Проктора-Сивашинського, структурні переходи, дефектність структури.

Nature of structural transitions in the formation of the spatial structure of convective disturbances in the Proctor-Sivashinsky's model for thin liquid layer with poorly conducting boundaries is considered. Regime with peaking in the process of instability in the spatial spectrum is develops. It forms discrete features-narrow spectral lines. Correlation between the different concepts of structural defects is researched.

Key words: Proctor-Sivashinsky model, structural transition, defectiveness of structure

1. Введение

В ряде задач численного моделирования возникают проблемы с оценкой степени упорядоченности возникающих динамических пространственных структур. Для обсуждения применимости обсуждаемых ниже методов анализа пространственной упорядоченности воспользуемся хорошо известным уравнением Проктора - Сивашинского [1,2], описывающим развитие конвекции в тонком слое жидкости в условиях плохой теплопроводности на границах слоя. Известно, что в такой модели существует несколько состояний, одно из которых (конвективные ячейки) оказалось устойчивым, а второе (конвективные валы) – нестабильным (см., например,[3]). Более детальное изучение модели [4] с использованием многомодового описания позволило выяснить, что сначала возникает квазиустойчивое долгоживущее состояние, которое за достаточно большое время, значительно большее обратного линейного инкремента процесса, переходит в устойчивое состояние.

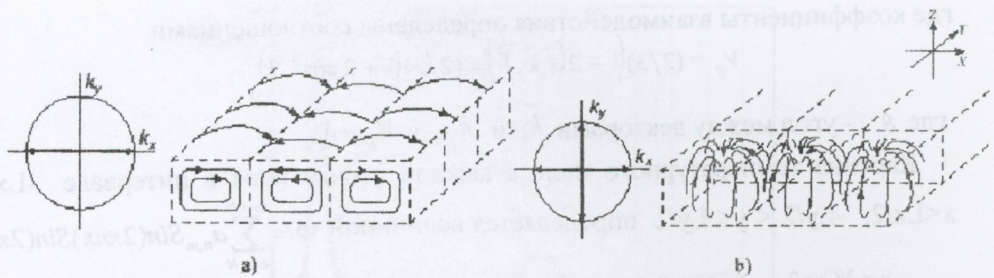


Рис. 1. Конвективные структуры: вали (а) и квадратные ячейки (б).

В последующей работе [5], было показано, что подобные структурные переходы представляют собой фазовые переходы второго рода. Наличие таких явлений представляет интерес не только для изучения конвекции, но и полезно для понимания динамики микроструктуры системы при фазовых переходах, описание которых больше основано на феноменологиях. Вообще говоря, в данной модели ширина интервала неустойчивости в k - пространстве представляет собой кольцо - средний радиус которого равен единице, а ширина порядка величины относительной надпороговости $\varepsilon \ll 1$. В процессе неустойчивости в пространственном спектре развивается режим с обострением, формируя дискретные особенности - узкие спектральные линии. Последняя стадия этого процесса, обеспечивающая реализацию пространственной структуры, и является предметом рассмотрения в данной работе.

В настоящей работе рассмотрим процесс формирования устойчивого состояния (конвективные ячейки) и обсудим возможные методы анализа степени упорядоченности формируемой структуры.

2. Постановка задачи и математическая модель

Если число Релея Ra превышает критическое значение Ra_{thr} , то есть $Ra = Ra_{thr}(1 + \varepsilon)$, в слое жидкости между плохо проводящими тепло горизонтальными поверхностями (вдоль оси z) возникает трехмерная конвекция (см., например, [5]), описываемая уравнением Проктора – Сивашинского [1,2], которое определяет динамику температурного поля этого процесса в горизонтальной плоскости (x, y) :

$$\Phi = \varepsilon^2 \Phi - (1 - \nabla^2)^2 \Phi + \frac{1}{3} \nabla (\nabla \Phi |\Phi|^2) + \varepsilon^2 f, \quad (1)$$

где f - внешний аддитивный шум, ε , определяющая превышение порога развития конвекции, считается достаточно малой и положительно определенной величиной. В этих условиях решение можно искать в форме

$$\Phi = \varepsilon \sum_j a_j \exp(i \vec{k}_j \vec{r}) \quad (2)$$

где $|\vec{k}_j| = 1$. Перенормируя единицу времени $\propto \varepsilon^2$, для медленных амплитуд a_j получим эволюционное уравнение [3]:

$$\dot{a}_j = a_j - \sum_{i=1}^N V_{ij} |a_i|^2 a_j + f \quad (3)$$

где коэффициенты взаимодействия определены соотношениями

$$V_{ij} = (2/3)(1 - 2(\vec{k}_i, \vec{k}_j)^2) = (2/3)(1 + 2 \cos^2 \vartheta), \quad (4)$$

где ϑ - угол между векторами $\vec{k}_i$ и $\vec{k}_j$, а $V_{jj} = 1$.

Картина температурного поля в каждой точке поля в интервале $-Lx/2 < x < Lx/2$, $-Ly/2 < y < Ly/2$ определяется величиной $\Phi = \sum_{n=-N}^{n=N} a_{n,m} \sin(2\pi nx) \sin(2\pi my)$, где $n = N \cos \vartheta_s$, $m = N \sin \vartheta_s$ - целые числа, причем $N^2 = n^2 + m^2$.

3. Результаты численного моделирования

Численный анализ уравнения (3) показывает, как происходит развитие возмущений в системе [4,6]. Из начальных флуктуаций быстро возбуждается широкий спектр по ϑ . Значение квадратичной формы этого спектра $I = \sum_j a_j^2$ можно оценить, приравняв правую часть (3) нулю, при этом получим значение близкое к 0,75.

В случае большого числа мод при высокой точности расчетов система задерживается в своем развитии, оставаясь в динамическом равновесии [4, 7]. Для дальнейшего развития - «кристаллизации», одна из мод должна получить порцию энергии, превышающую некоторый порог. В этих условиях необходимо наличие определенного уровня шума - флуктуаций. Это достигается при конечном значении шума $f \neq 0$, или при уменьшении точности расчетов, что, как отмечается в [7], эквивалентно.

При получении одной из мод получает нужной порции энергии, развивается процесс формирования простейшей конвективной структуры - валов. Величина I при этом достигает значений близких к единице ($I \rightarrow 1$). Однако это состояние не является устойчивым и наблюдается структурный переход: конвективные валы испытывают модуляцию вдоль оси вращения жидкости, характерный размер которой сокращается. В этом переходном состоянии система находится достаточно большое время, причем при этом сохраняется значение $I \approx 1.07$. Спустя достаточно большое время, в десятки раз превосходящее обратный инкремент начальной линейной неустойчивости, из вновь образованного "бокового" спектра "выживает" лишь одна мода, амплитуда которой сравнивается с амплитудой первоначальной лидирующей моды (рис.2).

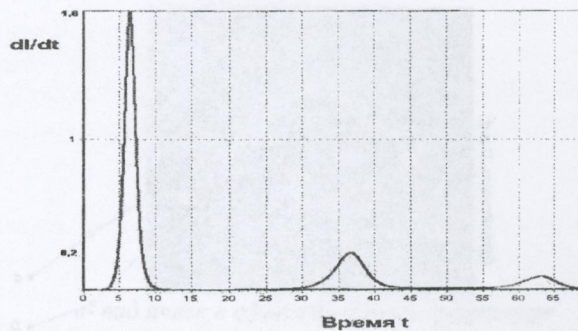


Рис.2. Поведение производной $\partial I / \partial t$ интегральной квадратичной формы $I = \sum_j a_j^2$ со временем.

В конечном итоге формируются устойчивая конвективная структура - квадратные ячейки, при которой квадратичная форма системы достигает значения $I = 1.2$. Дальнейшие исследования процесса обнаружили следующую динамику изменения интегральной квадратичной формы $I = \sum_j a_j^2$ со временем.

Именно после первого всплеска производной формируется метастабильная структура - система конвективных валов, причем, вплоть до второго всплеска величина $I \approx 1$ не изменяется. Следующий всплеск $\partial I / \partial t$ сигнализирует о появлении вторичной метастабильной структуры с новым значением $I \approx 1.07$. После второго всплеска производной квадратичной формы начинает формироваться стабильная структура конвективных ячеек. Подобное поведение системы убеждает в существовании структурно-фазовых переходов в данной системе.

4. Анализ дефектности структуры

Проанализируем степень упорядоченности структуры. Рассмотрим более подробно формирование стабильной структуры конвективных ячеек. Обозначим амплитуды мод, формирующих в каждой реализации пространственную структуру квадратных конвективных ячеек, как a_1 и a_2 . На интервале между вторым и третьим всплеском производной квадратичной формы (см. рис.2) изучим динамику «спектральной дефектности» структуры

$$D = \sum_{j \neq 1,2} a_j^2 / \sum_j a_j^2, \quad (5)$$

основанной на отношении квадратов амплитуд мод спектра, не отвечающего системе квадратных ячеек к полной сумме квадратов мод, а также так называемую «визуальную дефектность» $d = N_{def} / N$, где N_{def} - число дефектных пространственных ячеек (площадь структуры, занятая нерегулярными ячейками) и N - число ячеек в идеальной регулярной структуре (полная площадь структуры).

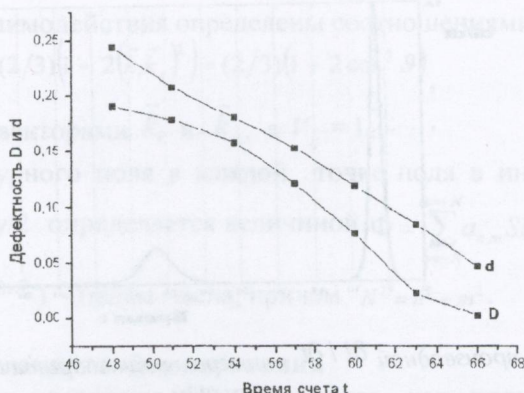
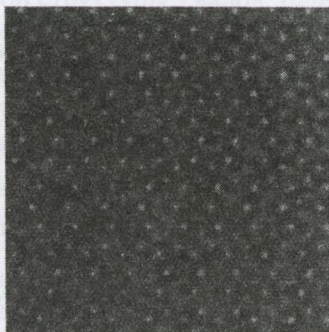
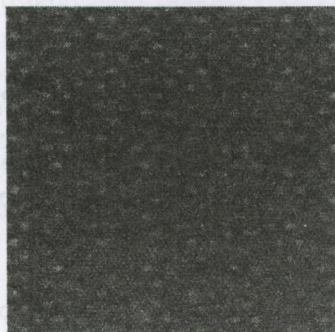


Рис 3. Сравнительный анализ спектральной и визуальной дефектности. Число мод -50.

Разработана компьютерная методика обработки изображения, позволяющая выделить дефектные ячейки. Критерии, по каким считать ячейку правильной и метод, позволяющий подсчитать число этих ячеек, следующие. Полученная картина (рис.3а) для поля переводится в режим 8 битного изображения (рис.3б). При увеличении подобного изображения можно достаточно явно различить, какая из структурных единиц является необходимой нам правильной ячейкой, а какая — нет. Правильная ячейка имеет правильную геометрическую форму с равномерно темным центром и соизмеримыми с центром по размеру четырьмя возвышенностями более светлого равномерного окраса (рис.3в).



а — оригинальная картина поля

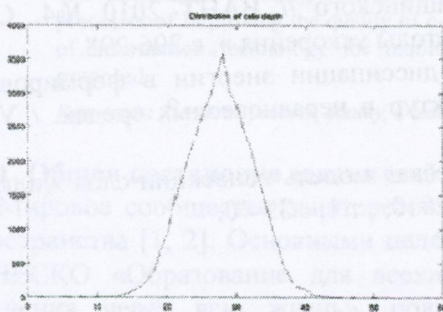
б — обработанная картина поля



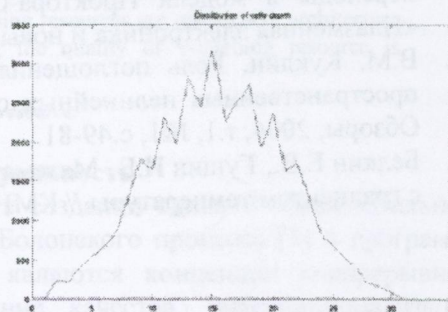
в- вид ячеек в сформированной структуре

Рис 3. Выделение структурных ячеек в картине температурного поля Φ

Несмотря на качественный характер описания величин, характеризующих спектральную и визуальную дефектность структуры, можно отметить подобное их поведение (см. рис.2) при приближении к завершению структурного перехода. Диаграмму частоты точек определенной интенсивности Φ (глубины трехмерного рельефа графического представления) определим как характеристику распределения уровня.



а - несовершенная структура



б- регулярная структура

Рис 4. Характеристика распределения уровня температурного поля Φ

На рис.4 показан график, на котором показана зависимость количества всех имеющихся в момент времени уровней и количество точек, имеющих этот уровень. Анализ этого распределения (наличие локальных максимумов и минимумов, их положение) позволяет получить представление о характере регулярности структуры, исследовать ее дефектность, выделить топологические особенности.

5. Заключение

В работе для данной математической модели были предложены разные способы оценки дефектности формируемой пространственной структуры. Получено приближенное соответствие поведения различных метрик дефектности. Рассмотрен способ анализа структуры, позволяющий делать выводы о наличии или отсутствия регулярности структуры и позволяющий учесть влияние шума на формирование дефектов структуры.

Проанализировано поведение пространственных спектров дефектных структур и найдено соответствие между относительным количеством дефектов и спектральными характеристиками структуры.

Автор выражает благодарность В. М. Куклину за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chapman, J. and Proctor, M.R.E., Nonlinear Rayleigh-Bénard convection between poorly conducting boundaries, // J. Fluid Mech., 1980, No 101, p.759-765.
2. Gertsberg, V. and Sivashinsky, G.E., Large cells in nonlinear Rayleigh-Bénard convection // Prog. Theor. Phys., 1981, No 66, p. 1219-1229.
3. Маломед Б. А., Непомнящий А.А., Трибельский М.П. Двумерные квазипериодические структуры в неравновесных системах // ЖЭТФ, 1989, Т.96, с. 684-699.
4. Kirichok A.V. and Kuklin V.M. Allocated Imperfections of Developed Convective Structures. // Physics and Chemistry of the Earth Part A, 1999, № 6, pp. 533-538.
5. Белкин Е.В., Гушин И.В., Киричок А.В., Ку克林 В.М. Структурные переходы в модели Проктора-Сивашинского // ВАНТ 2010 №4. Серия «Плазменная электроника и новые методы ускорения», с.296-298.
6. В.М. Ку克林. Роль поглощения и диссипации энергии в формировании пространственных нелинейных структур в неравновесных средах. / УФЖ, Обзоры, 2004, т.1, №1, с.49-81.
7. Белкин Е.В., Гушин И.В. Математическая модель конвекции слоя жидкости с градиентом температуры // КМНТ, 2010, , т.1, с.39-40.

УДК 004.048

Разработка архитектуры информационной технологии мониторинга качества электронных образовательных ресурсов

А. Л. Данченко

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Украина

Рассмотрены преимущества использования RFDQ-модели стандарта ISO/IEC-1976-1 для описания процессов совершенствования качества электронных образовательных ресурсов в системах дистанционного обучения, предложена архитектура информационной технологии мониторинга качества образовательных ресурсов систем дистанционного обучения.

Ключевые слова: Стандарт, процесс, качество, e-learning, образовательный ресурс.

Розглянуто переваги застосування RFDQ-моделі стандарту ISO/IEC-1976-1 для опису процесів вдосконалення якості електронних освітніх ресурсів в системах дистанційного навчання, запропонована архітектура інформаційної технології моніторингу якості освітніх ресурсів систем дистанційного навчання.

Ключові слова: Стандарт, процес, якість, e-learning, освітній ресурс.

The advantages of using RFDQ-model standard ISO/IEC-1976-1 to describe the processes of improving the quality of e-learning resources are researched, architecture of information technology for monitoring the quality of e-learning resource is proposed.

Key words: Standard, process, quality, e-learning resource.

1. Общая постановка задачи и её актуальность

Мировое сообщество заинтересовано в создании единого образовательного пространства [1, 2]. Основными целями Болонского процесса [3] и программы ЮНЕСКО «Образование для всех» [4] являются концепция «непрерывного обучения через всю жизнь», повышение качества, интернационализации, доступности образования, разработка стандартов образования. E-learning – электронное обучение с помощью Интернет и мультимедиа – занимает важное место в решении задачи индивидуализации обучения при массовости образования. В связи с этими событиями в сфере образования Украины проводится ряд реформ по развитию e-learning как перспективной формы обучения [5-7]. Концепции развития ведущих высших учебных учреждений страны предполагают внедрение инновационных технологий обучения в учебный процесс [8], как один из способов достижения непрерывного усовершенствования и повышения качества образовательных услуг.

Качество образовательных электронных ресурсов (КОЭР) во многом определяет эффективность электронного обучения, поэтому непрерывное совершенствование КОЭР является важнейшей задачей современного образования, решение которой невозможно без организации мониторинга с применением новых информационных технологий. Анализ научных работ и технических решений в области информационных технологий мониторинга (ИТМ КОЭР) [9-18, 21, 22] показал, что проблема совершенствования КОЭР недостаточно изучена и имеет такие особенности:

1. Понятие «качества» неоднозначно.
2. Критерии качества должны учитывать требования всех заинтересованных сторон, процессов и подзадач.
3. Существующие методы оценки КОЭР не учитывают особенности взаимодействия обучаемых с ОЭР в ходе учебного процесса и результаты образования [18, 19].
4. Нестандартные подходы к описанию модели качества, основных и дополнительных процессов, задач и аспектов затрудняют дальнейшую модификацию и гармонизацию модели КОЭР с другими системами и стандартами.

Таким образом, целью исследования является разработка архитектуры процессов ИТМ КОЭР систем дистанционного образования. Требования к архитектуре:

- Возможность внедрения ИТМ КОЭР в учебный процесс систем дистанционного обучения.
- Возможность быстрой модификации и гармонизации с другими системами и стандартами.

Возможность применения комплексного подхода к оценке КОЭР, основанного на результатах экспертной оценки КОЭР преподавателей и обучаемых, результатах анализа протоколов взаимодействия обучаемых с ОЭР в ходе учебного процесса, результатах образования.

2. Описание подходов к обеспечению качества образования, обучения и профессиональной подготовки

Понятие «качества» в области образования неоднозначно и требует адаптации к требованиям организации в каждом конкретном случае. Передовые практики университетов Германии, Франции, США, Канады, Китая подтверждают целесообразность использования международного стандарта ISO/IEC 19796-1 для описания подходов к обеспечению качества образования, обучения и профессиональной подготовке [19]. Стандарт основан на принципах Всеобщего менеджмента качества (TQM), положениях стандартов серии ISO 9000, ряде других стандартов и нормативных документов, отражающих специфику предметной области электронного обучения [20-24]. Стандарт является инструментом для разработки модели совершенствования качества образовательных услуг, адаптированной к требованиям и возможностям организации. Полученная система повышения качества распространяется на все процессы планирования, анализа, проектирования, реализации, оценивания и непрерывного совершенствования в электронном образовании [21, 22], подробное документирование всех процессов прозрачно определяет требования к процессу, критерии качества и методы повышения качества продукта или услуги, при этом документация одновременно является руководством к действию для участников процесса.

Основой стандарта является эталонная структура описания подходов к качеству (RFDQ), которая объединяет в себе две эталонные модели [21, 22]:

- Общая модель процессов.

- Общая модель описания процесса.

На основе RFDQ-модели стандарта ISO/IEC-1976-1 рассмотрим процессы совершенствования КОЭР в системах дистанционного обучения (в данной статье под системой дистанционного обучения подразумевается система управления обучением – LMS).

1.1. Процессы совершенствования КОЭР в LMS

Качество ОЭР может быть определено триадой качества Донабендиана [21, 22, 23]:

- Качество ресурсов.
- Качество процесса.
- Качество результатов.

Рассмотрим процесс совершенствования КОЭР в LMS в виде модели «Ресурсы-Процесс-Результат». Процессы взаимодействия преподавателя с LMS представлены на рис. 1. Преподаватель размещает ресурсы в LMS, при этом выполняются процессы реализации дидактические концепций и методик (реализация педагогического дизайна), тестирования работоспособности ОЭР в LMS и адаптация ОЭР к требованиям LMS. Учебный процесс происходит в виде деятельности ученика, который взаимодействует с LMS. В зависимости от технического исполнения ресурсов и возможностей LMS выполняется (не выполняется) адаптация к обучаемому, а также ведется протоколирование учебного процесса в журналах LMS. По результатам итогового и (или) промежуточного контроля, данных журналов LMS преподаватель-разработчик выполняет анализ результатов, оценку КОЭР, после чего выполняется процесс оптимизации ОЭР.

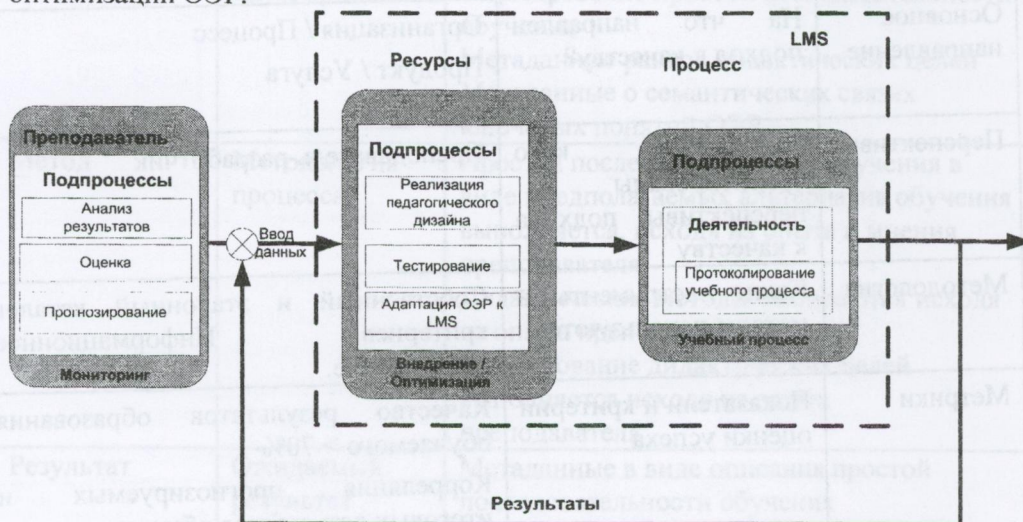


Рис. 1. Модель совершенствования КОЭР

Таким образом, анализ и оценивание КОЭР выполняются преподавателем вручную. Результаты итогового контроля скрывают особенности взаимодействия обучаемых с ОЭР и не позволяют сделать своевременные

выводы о причинах неудовлетворительных результатов обучения. Внедрение ИТМ КОЭР в учебный процесс LMS позволяет автоматизировать процессы анализа и оценки ОЭР для принятия преподавателем своевременного решения по оптимизации КОЭР.

1.2. Архитектура ИТМ КОЭР на основе RFDQ-модели

Основные концепции модели подходов к качеству в ИТМ КОЭР представлены в Табл. 1.

Табл. 1. Концепции модели подходов к КОЭР

Название	Описание	Значение
Сфера деятельности	Где планируется использовать модель?	Условия смешанного обучения и дистанционного обучения в ВУЗе
	Какие процессы затрагивает разрабатываемая модель (проектирование, разработка, реализация)?	Разработка, внедрение, реализация, оптимизация ОЭР в смешанном и дистанционном учебном процессе
Цели	Какие цели достигаются в результате подхода?	Сокращение временных затрат преподавателя на коррекцию знаний обучаемого при максимально высоких результатах обучения
Основное направление	На что направлен подход к качеству?	Организация / Процесс Продукт / Услуга
Перспективы	На кого ориентированы перспективы подхода к качеству	Преподаватель-разработчик
Методология	Какие инструменты и методы используются	Собственный и эталонный каталог критериев. Информационное обеспечение.
Метрики	Показатели и критерии оценки успеха	Качество результатов образования обучаемого > 70% Корреляция прогнозируемых и итоговых результатов обучения Валидность элементов курса

Внедрение ИТМ КОЭР в учебный процесс позволяет получать промежуточные и итоговые результаты учебного процесса в виде протокола взаимодействия обучаемых с ОЭР. Интеграция ИТМ КОЭР с LMS представлена

на рис. 2. Описание модели процесса реализации обучающего сценария представлено в Табл. 2.

Табл. 2. Описание процесса реализации обучающего сценария

Атрибут	Описание	Пример
ID	Уникальный идентификатор	DP2
Категория	Основной процесс	Реализация педагогического дизайна
Название	Название процесса	Реализация обучающего сценария
Описание	Описание процесса	«В этом процессе оцениваются ранги дидактических целей, выполняется описание простой последовательности обучения»
Связи	Связь с другими процессами	«Перед выбором метода должен быть выполнен анализ целевой группы, разработка и реализации концепции, структуры и содержимого ОЭР»
Подпроцессы / Под-аспекты	Подпроцессы / Под-аспекты / Задачи	Ранжирование дидактических целей Идентификация метода Альтернативы метода Приоритет метода Семантическая разметка понятий
Цель	Цели процесса	Формирование простой последовательности обучения Метаданные рангов дидактических целей Метаданные о семантических связях ключевых понятий ОЭР
Метод	Методология процесса	Простая последовательность обучения в виде предполагаемых альтернатив обучения выполняется, исходя из опыта и мнения преподавателя. Дидактические методы выбираются исходя из опыта преподавателей Ранжирование дидактических целей выполняется исходя из опыта преподавателя
Результат	Ожидаемый результат процесса	Метаданные в виде описания простой последовательности обучения Метаданные в виде рангов дидактических целей
Действующие субъекты	Ответственные /участвующие субъекты	Преподаватель-разработчик

Метрики / Критерии	Оценка и метрика процесса	Ранг цели ОЭР в виде ожидаемого эффекта Рассмотрение рекомендация по оптимизации
Стандарты	Используемые стандарты	DIN EN ISO 9241, LOM, IMS LDS

Преимущества внедрения ИТМ КОЭР в учебный процесс:

Автоматизация сбора информации и анализа подробных протоколов взаимодействия обучаемых с ОЭР и мероприятий по обеспечению отказоустойчивости, результатов текущего, промежуточного, входного и итогового контроля, результатов экспертной оценки КОЭР учениками.

1. Автоматизированная оценка качественных параметров ОЭР (методы автоматизированной оценки КОЭР на основе ранжирования дидактических целей и согласованности элементов курса ранее были рассмотрены в [25]).

2. Возможность прогнозирования результатов применения ОЭР в учебном процессе в процессе внедрения и оптимизации ОЭР.

3. Автоматизированное формирование рекомендаций позволяют преподавателю принять точное и своевременное решение по оптимизации ОЭР.

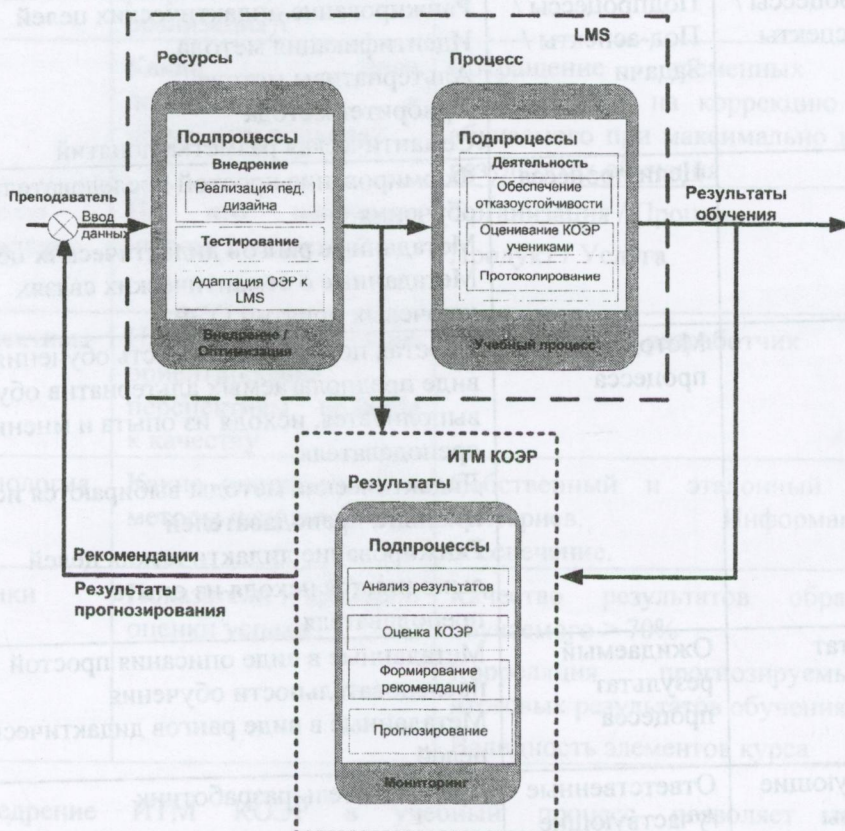


Рис. 2. Архитектура ИТМ КОЭР

5. Выводы

Анализ процессов совершенствования качества в LMS показал, что такие трудоемкие процессы как анализ и оценка КОЭР выполняются преподавателем-разработчиком вручную. Результаты промежуточного и итогового контроля скрывают особенности взаимодействия обучаемых с ОЭР.

Описание процессов архитектуры ИТМ КОЭР на основе RFDQ-модели позволяет учитывать влияние каждого процесса на КОЭР, связи процессов, упрощает интеграцию архитектуры с другими системами и моделями качества образования.

Внедрение ИТМ КОЭР в учебный процесс с LMS обеспечивает автоматизацию таких процессов мониторинга КОЭР, как сбор и анализ подробной информации о ходе обучения, прогнозирование и формирование рекомендаций по оптимизации КОЭР, что позволяет преподавателю принять точное и своевременное решение по оптимизации ОЭР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Темы. Образование. [Электронный ресурс]/ЮНЕСКО 1995-2010. – 2010. – Режим доступа: <http://www.unesco.org/new/ru/unesco/themes/major-programmes/education/ed/>.
2. About Bologna Process [Электронный ресурс]/ The official Bologna Process website 2010-2012. – 2010. – Access mode: <http://www.ehea.info/>.
3. Budapest-Vienna Declaration on the European Higher Education Area [Electronic resource]/ European Higher Education Area. – March 12, 2010. – Access mode: http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/2010_conference/index.htm/.
4. Education for All International Coordination [Electronic resource]/ UNESCO 1995-2010. – 2010. – Access mode: <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-all-international-coordination/>.
5. Постанова Верховної Ради України від 06.07.2000р. № 1851-III "Про затвердження Завдань Національної програми інформатизації на 2000-2002 роки.
6. Указ Президента України від 31.07.2000 року № 928/2000 "Про заходи щодо розвитку національної складової глобальної інформаційної мережі Інтернет та забезпечення широкого доступу до цієї мережі в Україні".
7. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні від 20 грудня 2000 року [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osvita.org.ua/distance/pravo/00.html>. - Назва з екрана.
8. Концепція забезпечення якості освіти у Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля відповідно до стандартів та норм Європейського простору вищої освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.snu.edu.ua/index.php?mode=257>. – Назва з екрана.
9. Білик О. О. Інформаційна технологія моніторингу якості загальноосвітніх навчальних закладів [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Черкаський держ. технологічний ун-т. — Черкаси, 2009. — 19с.

10. Лужецький В.А. Підходи щодо проектування автоматизованих систем моніторингу загальноосвітніх навчальних закладів [Текст]/ Лужецький В.А., Білик О.О. //Вісник ЧДТУ. – 2007. - №3-4. – с. 107-114.
11. Майоров Алексей Николаевич. Мониторинг в системе информационного обеспечения управления образованием [Текст]: дис. д-ра пед. наук : 13.00.01: Санкт-Петербург, 2003. – 356 с.
12. Серкова Любов Едуардівна. Інформаційна технологія моніторингу організації учбового процесу вищого навчального закладу [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Черкаський держ. технологічний ун-т. — Черкаси, 2006. — 19с.
13. Товбис Елена Михайловна. Информационная система автоматизированного мониторинга самостоятельной работы студентов [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.01 / Сибирский государственный технологический университет. – Красноярск, 2009. – 20с.
14. Лужецький В.А. Квалітивні моделі загальноосвітнього навчального закладу [Текст]/ Лужецький В.А., Білик О.О., Заячковський В.М. //Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. - №1(8). – с. 153-163.
15. Штангей С. В. Моделі і інформаційні технології контролю знань в системі дистанційного навчання [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 15.13.06 / Харківський національний університет радіоелектроніки – Харків., 2009. – 24 с.
16. Федорук П. І. Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних інтернет-технологій [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Національна медична академія післядипломної освіти ім. П.Л.Шупика. – К., 2009. – 35 с.
17. Боцула М. П. О проблеме экспертизы качества материалов дистанционных курсов. [Електронний ресурс]/ М. П. Боцула, к. т. н., доц.; И. А. Моргун// Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 4.- с. 1-6. – [Режим доступу]: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-4/2008-4_ru.files/ru/08mpbcme_ru.pdf.
18. Келеберда И.Н. Перспектива реализации индивидуальной траектории обучения для хранилищ с SCORM-курсами [Електронний ресурс]/ И.Н.Келеберда, Д.С. Негурица, В.В.Сокол // Educational Technology & Society. – 2008. – №11(3). – ISSN 1436-4522. – [Режим доступу]: http://ifets.ieee.org/russian/depositary/v11_i3/html/10.htm.
19. ISO/IEC JTC1 SC36 WG5: Quality management, assurance, and metrics – Part 4 – Code of practice for implementation and adaptation of ISO 19796-1 [Text]: ISO, Working Draft. Version 1.0. – 2005. – p. 10.
20. ISO/IEC 2382-36. Information technology – Vocabulary – Part 36: Learning, education and training [Electronic resource]/ ISO/IEC 2008. – 2008. – p. 14. – Режим доступу: <http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/index.html>.
21. Pawlowski J. M. The Quality Adaptation Model: Adaptation and Adoption of the Quality Standard ISO/IEC 19796-1 for Learning, Education, and Training. [Electronic resource]/ J. M. Pawlowski // Educational Technology & Society. –

2010. №10 (2). p. 3-16. – [Access mode]: http://www.ifets.info/journals/10_2/2.pdf.
22. Ehlers U. Handbook on Quality and Standartization in E-Learning [Electronic resource]/ U. D. Ehlers, J. M. Pawlowski. – Heidelberg: Springer Berlin. – 2006. – 580 p. – ISBN – 10 3-540-32787-8, ISBN – 978-3-540-32787-5.
23. Donabedian A. Explorations in Quality Assessment and Monitoring. Vol. 1. The Definition of Quality and Approaches to Its Assessment [Electronic resource]/ Ann Arbor, MI: Health Administration Press. – 1980. – 203 p. – ISBN 10-0914904477.
24. Позднеев Б. М. Разработка международных стандартов по информационным технологиям в обучении, образовании и подготовке [Электронный ресурс]/ Б.М. Позднеев, М.В. Сутягин // Вестник МГТУ «Станкин». – М.: МГТУ «Станкин». – 2009. №2(6). – с. 18-21. – [Режим доступа]: <http://www.stankin.ru/vestnik-magazin/magazin-may-2009.pdf>
25. Данченко А.Л. Определение качества и эффективности учебных материалов обучающих систем [Электронный ресурс]/ А.Л. Данченко, В.А. Ульшин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. - №6/2 (48). – с. 51-57. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Vejpt/2010_6_2/EEJET_6_2_2010_51-56.pdf.

UDC 004.655.2:519.76(6.2+7.4)

About language for data structures modeling

A. G. Zhytaruk, G. N. Zholtkevych

V.N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Sqr., Kharkiv, 61077, Ukraine

The pre-scheme theory for data models description and data structure model by means of concept samples is considered. A representation of samples by means of acyclic graph within of pre-scheme theory is suggested. Language for description of structural constraints for samples is offered. Method of their verification is developed.

Key words: *pre-scheme, acyclic graph, sample of concept, labeled tree, constrained sample, free sample, interoperability.*

Для описания моделей данных в работе предложена теория предсхем и образцы концептов как модель структуры данных. В рамках этой теории предложена структура данных – ациклический граф как способ задания образцов. Также предложен язык описания структурных ограничений для образцов и разработан метод проверки выполнимости такого рода ограничений.

Ключевые слова: *предсхема, ациклический граф, образец концепта, маркированное дерево, образец со связями, свободный образец, интероперабельность.*

В роботі запропонована теорія предсхем для описання моделей даних та зразків концептів як моделей структур даних. В межах цієї теорії запропонована структура даних – ациклічний граф для визначення зразків концептів. Також запропонована мова описання структурних обмежень для зразків концептів та метод перевірки такого роду обмежень.

Ключеві слова: *предсхема, ациклічний граф, зразок концепту, маркіроване дерево, зразок зі зв'язками, вільний зразок.*

Introduction

One of the important requirements to modern information systems is ability to enhance their capabilities due to the use of the software components. This property of system is called interoperability [3].

There is a class of problems such as data exchange between applications or data management or storing semi-structured data and so on [2, 1]. All the tasks within each of these problems require a common semantic model.

In most cases, a data model and a data scheme are fixed at the design stage of the information system development. It is necessary to develop a high-level data model for providing semantic interoperability that allows carrying out data transformation. There are three classic models of data. They are hierarchical, network and relational.

A hierarchical data model is a data model in which the data is organized into a tree-like structure. Not tree-like structures of data lead to the problems of the creation of data model and data processing.

The network model is an improvement of a hierarchical model in which every record in network node has relationship with other nodes. This model allows to increase the time of data access but to decrease the time of change of the data model.

The relational model used the basic concept of a relation to provide a declarative method for specifying data and queries. However, it is not possible to explicitly describe the recursive structures. There are two levels of data representation according to relational model; they are data and metadata. A metadata must be static.

Thus, among the existent models of data there is not a common high-level data model providing possibility of data verification, management by metadata and tools of design of the known data structures.

A rigorous mathematical language of data modeling will be offered in this paper. The proposed language is simple and has large expressive possibilities.

1 Preliminaries

In this context, pre-schemes can be considered as models of data. The pre-schemes theory permits to describe the arbitrary structures of data but also has mechanisms of verification of data structures. A pre-scheme templates allow to describe the known structures of data such as lists, arrays etc.

Definition 1.

We shall say that the pre-scheme of subject domain is three unitary predicate $C(x)$, $R(x)$ and $Q(x)$, binary predicate $D(x, y)$ and triadic predicate $M(x, y, z)$ if the following conditions are satisfied:

1. $(\forall x, y) D(x, y) \rightarrow C(x) \wedge Q(y)$
2. $(\forall x, y, z) M(x, y, z) \rightarrow Q(x) \wedge R(y) \wedge C(z)$.

$C(x)$ is true if x is a concept. $R(x)$ is true if x is a role. $Q(x)$ is true if x is a qualifier. $D(x, y)$ is true if y is a qualifier of concept x . $M(x, y, z)$ is true if y is a role from qualifier domain x and concept z is a value of role y .

Let W be a set of names of subject domain. Every pre-scheme has to satisfy the following conditions:

1. Condition of names not intersection

$$(\forall x \in W) C(x) \rightarrow \neg(R(x) \vee Q(x)) \quad (1)$$

$$(\forall x \in W) R(x) \rightarrow \neg(C(x) \vee Q(x)) \quad (2)$$

$$(\forall x \in W) Q(x) \rightarrow \neg(C(x) \vee R(x)) \quad (3)$$

In other words, any name cannot be concurrently used as a name of a concept or a name of a role or a qualifier.

2. Completeness condition

$$(\forall x \in W) (C(x) \vee R(x) \vee Q(x)) \quad (4)$$

In other words, every name from subject domain is either a name of a concept or a name of a role or a name of a qualifier and nothing else.

3. Condition of qualifiers completeness

$$(\forall y)(\exists x, q, z : Q(y) \rightarrow D(x, y) \wedge M(y, q, z)) \quad (5)$$

In other words, every qualifier has a non-empty domain.

4. Condition of unambiguous roles definition

$$(\forall x)(\forall y, q, z)((q \neq z) \wedge \neg(M(x, y, q) \wedge M(x, y, z))) \quad (6)$$

5. Condition of unambiguous concepts definition

We introduce the following auxiliary predicate $T(x, y, z)$. It can be done as follows

$$T(x, y, z) \equiv C(x) \wedge R(y) \wedge C(z) \wedge (\exists u)(Q(u) \wedge D(x, u) \wedge M(u, y, z))$$

$$(\forall x, y)(T(x, y, z) \wedge T(x, y, z')) \rightarrow (z = z') \quad (7)$$

6. Condition of unambiguous qualifiers definition

$$(\forall x_1, x_2)((\forall y, z)(M(x_1, y, z) \leftrightarrow M(x_2, y, z)) \rightarrow (x_1 = x_2)) \quad (8)$$

Definition 2.

A concept x is called a basic concept if

$$C(x) \wedge (\forall y) \neg D(x, y) \quad (9)$$

The set of all basic concepts is denoted by N_0 .

Definition 3.

Let sample be an acyclic graph with the following properties:

- a) every non-leaf node is marked by the selected qualifier
- b) every leaf node is marked by a concept from N_0
- c) every edge is marked by a role name

2 Methods of pre-scheme definition

Description of pre-scheme by means of predicates (as discussed above) is a non-trivial task. Any pre-scheme can be described by means of the predicates. But this description is difficult for users without the special mathematical experience. Therefore, a task of development of simple language with the same expressive possibilities is actual.

2.1 Graphic Method

The following graphic notation for pre-schemes representation has been suggested in paper [4].

1. A circle represents a qualifier.
2. A rectangle represents a concept.
3. A rectangle and a circle are joined with each other by a line if:
 - a. a qualifier is associated with the concept (straight line).
 - b. a qualifier is associated with the concept (straight line).
 - c. a concept is used inside a qualifier (arrowed line directed from qualifier to the concept).

Pre-scheme of polyline is a simple picture, as the following example shows.

Example 1.

$W = \{ \text{polyline; segment; point; list; null; Real; head; tail; begin; end; nothing; } \\ x; y; \text{broken; structure; empty; coordinates} \}$

$D(x; y) = \{ (\text{polyline; broken}); (\text{list; broken}); (\text{list; empty}); \\ (\text{segment; structure}); (\text{point; coordinates}) \}$

$M(x; y; z) = \{ (\text{broken; head; segment}); (\text{broken; tail; list}); \\ (\text{structure; begin; point}); (\text{structure; end; point}); \\ (\text{coordinates; x; Real}); (\text{coordinates; y; Real}); \\ (\text{empty; nothing; null}) \}$

$C(x) = \{ \text{polyline; segment; point; list; null; Real} \}$

$R(x) = \{ \text{head; tail; begin; end; nothing; x; y} \}$

$Q(x) = \{ \text{broken; structure; empty; coordinates} \}$

An example of the pre-scheme is given in Figure 1.

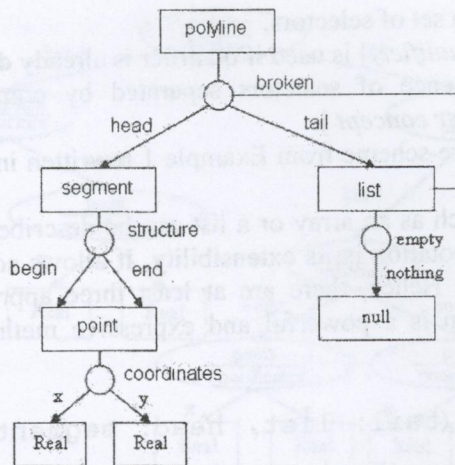


Fig. 1. Graphic method of pre-schemes

The graphic method allows good visual representation. However, there is a risk of construction of inconsistent logical model. Therefore, the task of verification of logical model is important. Algorithms of verification for logical model do not exist in case of a graphic method. Thus, graphic method is useless for real subject domains.

2.2 Relation Method

The method of presentation of pre-schemes with relational databases in the form of two relations has been proposed in paper [7]. This method allows describing some algorithms for pre-scheme verification. However, there is no pure relational query to identify a concept that has no sample. Thus, in general it is not possible to verify a given model by means of relational approach.

2.3 SDL notation

The method of presentation of pre-schemes with SDL notation has been proposed in paper [9]. Let us define SDL notation.

SDL notation is a text document containing a description of the pre-scheme. The pre-scheme is a set of items.

The item can have the following forms:

1. [**define** *identifier* (*selectors*)] defines a complex qualifier where
 - (a) **define** is a keyword.
 - (b) *identifier* is an ID of the qualifier.
 - (c) *selectors* is a set of selectors.
2. [*identifier* = *definitions*] defines a concept and associated qualifiers where
 - (a) *identifier* is a concept identifier.
 - (b) *definitions* is a set of concept qualifiers.
3. [*identifier* **is atomic**] defines a basic concept where
 - (a) *identifier* is a concept identifier .
 - (b) **is atomic** is a keyword.

The qualifier can have the following forms:

4. [*identifier* (*selectors*)] defines a simple qualifier where
 - (a) *identifier* is an ID of the qualifier,

(b) *selectors* is a set of selectors.

3. [*identifier (ID qualifier)*] is used if qualifier is already defined.

Selectors is a sequence of selectors separated by commas. Each selector is [*identifier role : identifier concept*].

The description of pre-scheme from Example 1 rewritten in terms of SDL notation is given in Figure 2.

Pattern structures such as an array or a list can be described using SDL- notation. An advantage of SDL-notation is its extensibility. It allows adding new elements for pre-scheme description. Hence, there are at least three approaches for pre-scheme definition. SDL notation is a powerful and expressive method for describing pre-schemes.

```

define broken (tail: list, head: segment)
define structure (begin: point, end : point)
define coordinates (x : Real, y : Real)
polyline = broken
list = broken; empty(nothing : null)
segment = structure
point = coordinates
Real is_atomic
null is_atomic

```

Fig. 2. SDL notation for a pre-scheme of the polyline.

3 A review of data structure model descriptions

As mentioned above, pre-scheme represents the data model. Then concept samples are the data structure models. Below there are several methods for sample description.

3.1 Labeled trees

The method of presentation of the sample with labeled trees has been proposed in paper [5]. For example, the labeled tree of pre-scheme sample from Example 1 is given in Figure 3.

However, the set of all pre-scheme samples containing one or more recursively defined concepts can be cumbersome. This is a considerable disadvantage regarding problems of information storing and processing. It is necessary to reduce the set of all samples to a set of samples allowed in the semantics of a subject domain.

Polyline sample is the set of all samples that comply with the following condition.

Every end of the segment has to coincide with the beginning of the next segment. (10)

It leads to the concatenation of two nodes into one in a labeled tree. As a result, the data structure obtained will contradict to the definition of a labeled tree. Thus, labeled trees cannot store samples with structural constraints. Therefore, it is necessary to improve the sample description theory so it can take that kind of constraints into account.

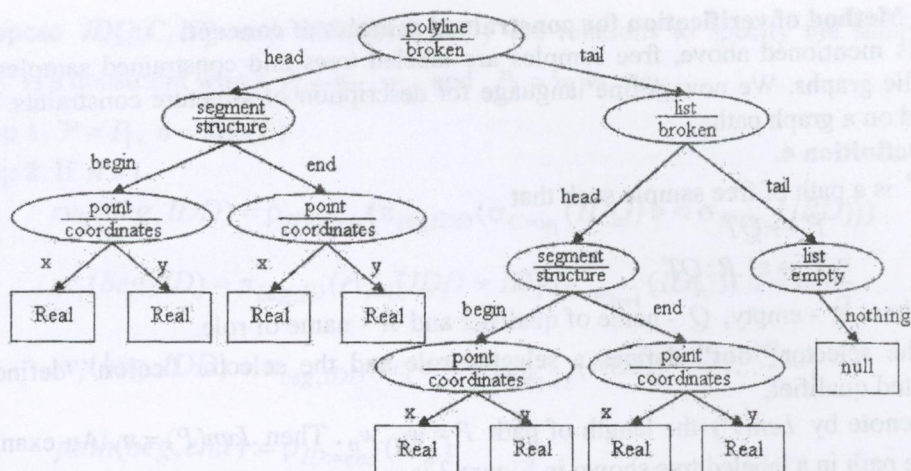


Fig. 3. A sample of the polyline concept as a labeled tree.

3.2 Acyclic graph

We now define free samples to be a labeled tree and constrained samples to be a free sample satisfying some structure constraints. The model of a constrained sample for a pre-scheme is an acyclic graph where unique id corresponds to each vertex, denoted by the qualifier name from $Q(x)$.

The sample of the polyline, satisfying 10 presented as an acyclic graph is shown in Figure 4.

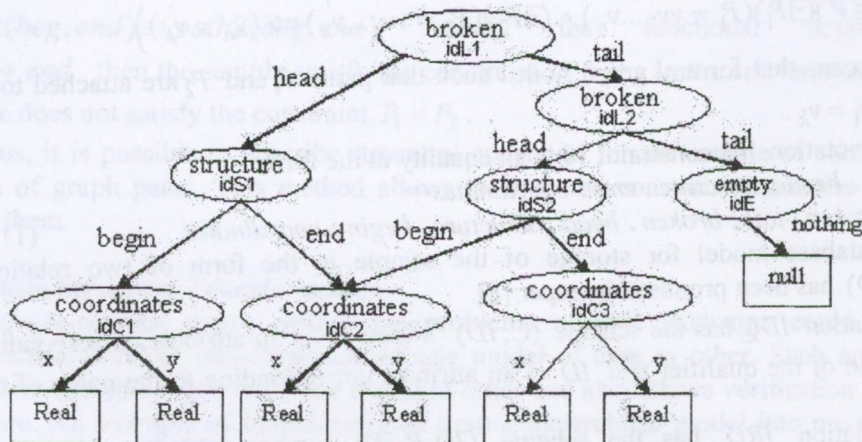


Fig. 4. An acyclic graph of a polyline concept.

We can see from Figure 4 that constraint 10 corresponds to merging of two nodes into one marked by a tuple $(coordinates; idC2)$.

So, we will use labeled trees for presenting free samples and acyclic graphs for presenting constrained samples.

4 Method of verification for constrained samples of concept.

As mentioned above, free samples are labeled trees and constrained samples are acyclic graphs. We now define language for description of structure constraints. It is based on a graph path.

Definition 4.

P is a path of free sample such that

$$P \rightarrow QT$$

$$T \rightarrow \varepsilon | R : QT,$$

where ε - empty, Q - name of qualifier and R - name of role.

The selector "dot" defines a selected role and the selector "colon" defines a selected qualifier.

Denote by $Len(P)$ the length of path $P = w_1 \dots w_n$. Then $Len(P) = n$. An example of the path in a labeled tree shown in Figure 3 is

broken . head : structure . end : coordinates

Definition 5.

Suppose

$$AG = (V, E, L \cup N_0, R, beg : E \rightarrow V, end : E \rightarrow V, m_v : V \rightarrow L \cup N_0, m_e : E \rightarrow R)$$

is an acyclic graph and $P = v_1 \dots v_n$ is a path in it. We say that P is attached to the node v , if $v = v_1$ and P is defined.

Definition 6.

The sample defined as the acyclic graph satisfies the structural constraint $P_1 = P_2$, if the following condition holds.

$$((\forall v \in V)(\exists P_1)(P_1 = vv_2 \dots v_n) \wedge (\exists P_2)(P_2 = vv'_2 \dots v'_k) \Rightarrow (v_n = v'_k))$$

This means that for any graph node v such that paths P_1 and P_2 are attached to it, we have $v_1 = v_k$.

In this notation, the constraint 10 is an equality in the form:

broken . head : structure . end : coordinates =

$$broken . tail : broken . head : structure . begin : coordinates \quad (11)$$

The database model for storage of the sample in the form of two relations (IDQ, IRD) has been proposed in paper [8].

The relation IDQ has the scheme (C, ID) where C is an attribute corresponding to the name of the qualifier and ID is an attribute corresponding to the name of the identifier.

The relation IRD has the scheme (ID, R, IDD) where ID is an attribute corresponding to the name of the identifier, R is an attribute corresponding to the name of the role and IDD is an attribute corresponding to the name of the identifier. The axioms for database model for storage of the sample have been formulated in paper [8].

Now we introduce the following algorithm of method of structural constraint checking. This algorithm is described by means of relational algebra.

Suppose $IDQ(C, ID)$ and $IRD(ID, R, IDD)$ are relations to specify the sample. $P_1 = P_2$ is a constraint where $P_1 = w_1 \dots w_{n_1}$ and $P_2 = w_1' w_2' \dots w_{n_2}'$

Step 1. $P = P_1$, $n = Len(P)$

Step 2. If $n > 1$

$$rv_0(beg, IDD) = \rho_{ID:=beg}(\pi_{ID, IDD}(\sigma_{C=w_1}(IDQ) \triangleright \triangleleft \sigma_{R=w_2}(IRD)))$$

$$rc_i(beg, ID) = \pi_{beg, ID}(rv_{i-1}[IDD = ID] \sigma_{C=w_{2i+1}}(IDQ)) \quad i = 1 \dots \frac{n}{2}$$

$$rv_i(beg, IDD) = \pi_{beg, IDD}(rc_i \triangleright \triangleleft \sigma_{R=w_{2i+2}}(IRD)) \quad i = 1 \dots \frac{n}{2} - 1$$

$$path(beg, end) := \rho_{ID:=end}(rc_{\frac{n}{2}})$$

If $n = 1$, i.e. $P = w$

$$rc(beg) = \rho_{ID:=beg}(\pi_{ID}(\sigma_{C=w}(IDQ)))$$

$$path(beg, end) := rc[beg = end] \rho_{beg:=end}(rc)$$

Go to the step 4.

Step 3. Similarly, $P = P_2$, $n = Len(P)$ and go to the Step 2.

Step 4. Denote $path(beg, end)$ by $path1(beg, end)$ for P_1 and denote $path(beg, end)$ by $path2(beg, end)$ for P_2 . If the relation $path1(beg, end) \cup path2(beg, end)$ satisfy the functional dependence $beg \rightarrow end$, then the sample satisfy the constraint $P_1 = P_2$. In the converse case, the sample does not satisfy the constraint $P_1 = P_2$.

Thus, it is possible to describe structural constraint for the sample of concept by means of graph paths. This method allows to store the constrained samples and to check them.

5 Data Structure Transformation

The pre-scheme theory within the problems of data exchange could be an intermediate level of transformation of one model of data to other. Such approach allows transforming data from one model to other and also allows verification of data structure. An example of transformations from a hierarchical model into pre-scheme and pre-scheme into relational model is given in figures 5, 6, 7.

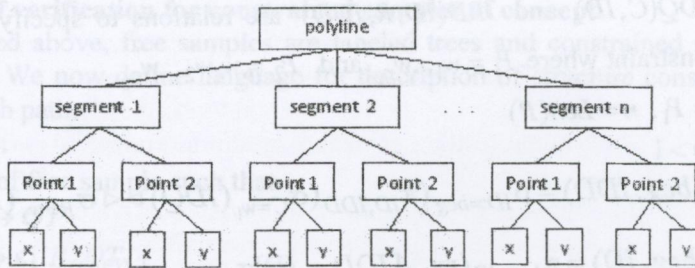


Fig. 5. A hierarchical data model.

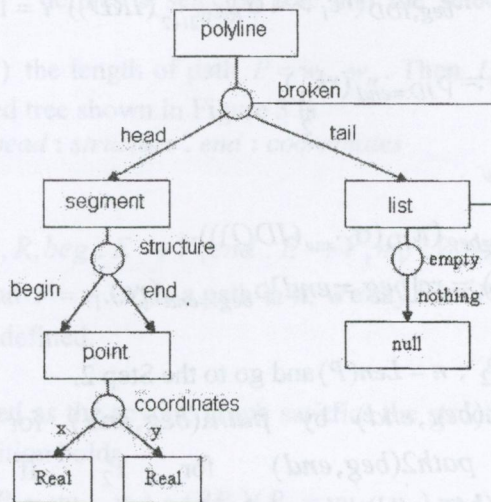


Fig. 6. A pre-scheme.

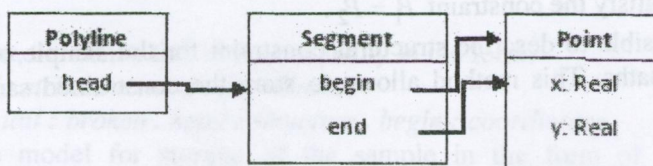


Fig. 7. A relational data model.

Conclusion

Thus, the theory of pre-schemes for presentation of data model is offered in this paper. Under this theory a sample as structure of data is the model of data schema. Description of concept samples by means of labeled trees allowed to describe arbitrary data schema. The acyclic graph for presentation of data schema that satisfies of the set of structural constraints was suggested.

As a result, the acyclic graph can be regarded as a method of defining the constrained samples. Database model for storage and deserialization of the constrained samples was constructed.

In present paper a method of specifying the structural constraints for samples of concepts in terms of the graph paths had been developed.

The method of verification of accordance of sample to the set of the structural constraints was developed for the samples of concepts defined as acyclic graphs. This method allows to check acceptability of data structure defined as a sample of concept within the bounds of the semantics of subject domain. Also the algorithm for checking the accordance of the sample to the set of the structural constraints was developed. This algorithm was described by means of relational algebra.

Consequently, the obtained results will allow to create an intermediate level for transforming data from one data model to other, that will allow to provide semantic interoperability. The description of model of the data structures by means of the acyclic graphs will allow to provide the control of input data at conceptual level.

REFERENCES

1. Clark, J., DeRose, S.: XML Path Language (XPath) Version 1.0, W3C Recommendation, November (1999)
2. Chamberlin, D., Clark, J., Florescu, D., Robie, J., Simeon, J., Stefanescu, M.: XQuery 1.0: An XML Query Language. W3C Working Draft (2002)
3. Lambert, M., Mariani, T., Susan, F.: Semantic Interoperability. Betascript Publishing (2010)
4. Semenova, T.: Use of Semi-scheme Templates in the Construction of the Logical Model of Subject Domain. Bulletin of NTU "KhPI", Kharkov, 19. (2006) 77{86[in Russian]
5. Zholtkevych G., Ahmad Yusef Ebrahim Ebrahim: On the Opportunity for Marked Tree Representation of Semi-scheme Notion Samples. Systems of information processing. - Kharkiv: KhUAF, Vol. 2(51) (2006) 20{26 [in Russian]
6. Zholtkevych, G., Semenova, T.: To the problem of formalization of information system design. Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, 605. Series "Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems", Issue 2 (2003) 33{42 [in Russian]
7. Zholtkevych, G., Semenova, T., Fedorchenko, K.: Representation of Information System Domain Semi-schemes To the Relational Databases. Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, 629. Series "Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems", Issue 3. (2004) 11{24 [in Russian]
8. Zhytaruk, A., Zholtkevych, G.: Representation of the Concept Samples of the Information Systems by Means of Acyclic Graph. Systems of information processing. Kharkiv: KhUAF, Vol. 6(87). (2010) 215{219 [in Russian]
9. Zhytaruk, A., Zholtkevych, G.: Translation and Verification of SDL-notation by Means of PROLOG Language. Bulletin of KNTU. 2(35). (2009) 200{208 [in Russian]

CONTENTS

▪ A. A. Artiukh, A. A. Ploliakov, E. G. Tolstolujskaiia.	5
Formal Method of Synthesis Majorized C - Programs	
▪ O. U. Baiev.	14
Training of neural network for parametric reconstruction of electron beam spectrum	
▪ I. A. Baranov.	25
Boundary value problems basis for wide class of boundary conditions for variation methods use	
▪ T. A. Baranova, O. M. Lytvyn, K. V. Nosov,	35
Computing Schema of the Finite Element Method with the Calculation of Optimal Coordinate Functions	
▪ A. Ya. Bomba, Ye. V. Saviuk, A. V. Terebus.	50
Quasiconformal mappings method for liquid motion processes modeling in reservoirs taking into account spatial perturbations	
▪ A. I. Brunetkin, M. V. Maksimov.	60
Determination of the natural frequency of fluid using the method of integral coefficients	
▪ S. V. Volkotrub.	66
About one approach to the construction of asset and liability management models (ALM)	
▪ L. S. Globa, D. S. Lysenko.	74
Schedule design for multiprocessor systems in online and offline modes	
▪ L. S. Globa, R. L. Novogrudscaya.	95
Systematization of informational recourses on the Internet-portal "Strength of materials"	
▪ I. M. Glushko.	106
To a question on creation of query languages: generalized table algebra, generalized relation calculi	
▪ V. I. Gnitko, U. E. Marchenko, E. A. Strelnikova.	115
Discrete singularity method in problems of forced vibration of cylindrical tanks partially filled with the liquid	
▪ N. B. Golovin, A. I. Somyk.	127
Learning Informatics with conceptual construction of hierarchical structures	
▪ A. V. Gribovsky, O. A. Yeliseyev.	135
The algorithm for the electromagnetic characteristics calculating of the three-dimensional gaussian wave beams scattering on the flat screens	
▪ I. V. Gushchin.	148
About analysis of the degree of ordering of the dynamic spatial structure	
▪ A. L. Danchenko.	155
The development of information technology architecture for monitoring the quality of electronic learning resources	
▪ A. G. Zhytaruk, G. N. Zholtkevych.	164
About language for data structures modeling	
▪ CONTENTS.	174

**ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗИНА**

**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, враховуючи технології створення програмної продукції. Приймаються роботи, що відносяться до напрямів фізико-математичних і технічних наук (бажаний об'єм 6-18 сторінок). Рукописи рецензуються.

Офіційний сайт <http://mia.univer.kharkov.ua>

**ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ В. Н. КАРАЗИНА**

**Серия «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, наукоемких технологиях, включая технологии создания программной продукции. Принимаются работы, относящиеся к направлениям физико-математических и технических наук (желательный объем 6-18 страниц). Рукописи рецензируются.

Официальный сайт <http://mia.univer.kharkov.ua>

**BULLETIN OF V. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY
Series «Mathematical Modelling. Information Technology.
Automated Control Systems»**

Webpage <http://mia.univer.kharkov.ua>

Наукове видання

Вісник Харківського національного університету №977

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

Випуск 17.

Збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Комп'ютерне верстання О.О. Афанасьєва

Підписано до друку 11.11.2011 р.

Формат 70×108/16. Папір офсетний. Друк ризограф.

Ум. друк. арк. – 13,1

Обл. – вид. арк. – 15,3

Тираж 100 пр.

Ціна договірна

11-09

61022, м. Харків, пл. Свободи, 4

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Надруковано: ХНУ імені В.Н.Каразіна

61022 м. Харків, пл. Свободи, 4

Тел.: 362-01-52

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3367 від 13.01.09

