

Численный анализ спектра открытого цилиндрического резонатора конечной высоты

И. В. Митина

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

Two approaches to the numerical analysis of the finite-size open cylindrical resonators are suggested in the paper. The analysis of connection with the two-dimensional problem is performed. The results of numerical experiments illustrating possibilities of the methods are obtained.

1. Общая постановка задачи и её актуальность

В рамках проекта UTC (управляемый термоядерный синтез) — ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) предлагается использовать гиротроны для нагрева плазмы в установках с магнитным удержанием. Численный расчет спектров резонаторов, которые являются основной составляющей гиротрона, позволит спроектировать их конструкцию так, чтобы обеспечить требуемую мощность генерируемых электромагнитных волн в заданном диапазоне частот.

2. Истоки исследования и нерешенные проблемы

Традиционные гиротроны с резонатором в виде цилиндрического волновода не могут обеспечить хороших селективных качеств, при генерации сигнала высокой мощности. Поэтому, для подавления паразитных мод необходимо использовать более сложные геометрии [1]. В частности предлагается конструкция резонатора из двух коаксиальных проводников, причем на внутренний проводник нанесены прямоугольные гофры. На конкуренцию мод в таком случае можно влиять, изменяя линейные размеры гофра (высота и ширина), а также соотношение радиусов внешнего и внутреннего проводника. Численно аналитический метод спектрального анализа такого резонатора предложен в [2]. Метод, обладая несомненными вычислительными достоинствами, оказывается ограничен именно такой геометрией резонатора.

3. Цели работы

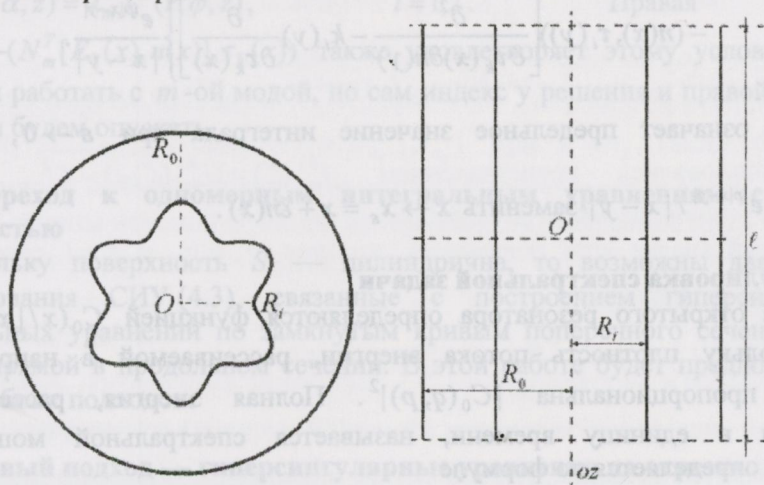
В данной работе предлагается общий подход к спектральному анализу открытых коаксиальных цилиндрических резонаторов конечной высоты с гофрами произвольной формы. Единственным требованием является достаточная гладкость границ таких резонаторов.

4. Постановка задачи

Рассматривается квазистационарная задача дифракции “первичного” поля $E_0(x, t) = E_0(x) \cdot e^{-i\omega t}$ в вакууме на гладкой идеально проводящей поверхности S . “Рассеиватель” S (в дальнейшем называемый резонатором) представляет

собой цилиндрическую структуру из двух коаксиальных идеальных проводников. Продольное и поперечное сечения изображены на рисунке 1.

Выберем цилиндрическую систему координат с началом O и осью oz как показано на рисунке. Тогда радиус внутреннего проводника как функция цилиндрического угла φ запишется в виде $R_i = R_1 + 0.5d \cdot \sin(N\varphi)$, где N — число гофр на внутреннем проводнике, d — высота гофра. Высота резонатора определяется параметром ℓ .



а) поперечное сечение при $N = 6$

б) продольное сечение

Рис.1. Сечения резонатора

В работе [3] искомое возмущение электрического поля $E_1(x)$, являющееся решением такой краевой задачи

$$\begin{cases} \Delta E_1(x) + p^2 E_1(x) = 0, & x \in \mathbb{R}^3 \setminus S, \quad p = \omega/c \\ (\nabla, E_1(x)) = 0, & x \in \mathbb{R}^3 \setminus S, \\ E_1(x) \times n(x) = -E_0(x) \times n(x), & x \in S \\ E_1(x) = \frac{e^{ip|x|}}{|x|} \left(C_0 \left(\frac{x}{|x|} \right) + O\left(\frac{1}{|x|} \right) \right), & |x| \rightarrow \infty \end{cases} \quad (4.1)$$

предлагается искать в виде

$$E_1(x) = \nabla \times A(x), \quad (4.2)$$

где

$$A(x) = \int_S \left[j(y) \frac{\partial}{\partial n(y)} - Kj(y) \right] \frac{e^{ip|x-y|}}{|x-y|} dS_y$$

Здесь $j(y) = j_1(y)\tau_1(y) + j_2(y)\tau_2(y)$, $Kj(y) = k_1(y)j_1(y)\tau_1(y) + k_2(y)j_2(y)\tau_2(y)$, $\tau_i(y)$ — орт главного направления, отвечающего главной кривизне $k_i(y)$ поверхности S в точке y , $n(x)$ — внешняя нормаль к S , c — скорость света в вакууме.

Поле (4.2) автоматически удовлетворяет всем условиям краевой задачи (4.1) кроме третьего. Третье условие порождает псевдодифференциальное уравнение

$$\sum_{i=1}^2 \int_S^* j_i(y) A_{ki}(x, y) dS_y = F_k(x), \quad x \in S, \quad k=1,2, \quad (4.3)$$

где правая часть $F_k(x) = -(E_0(x) \times n(x), \tau_k(x))$, а ядро

$$A_{ki}(x, y) = \left\{ (\tau_i(y), \tau_k(x)) \left[\frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} - k_i(y) \frac{\partial}{\partial n(x)} \right] - \right. \\ \left. - (n(x), \tau_i(y)) \left[\frac{\partial^2}{\partial \tau_k(x) \partial n(y)} - k_i(y) \frac{\partial}{\partial \tau_k(x)} \right] \right\} \frac{e^{ip|x-y|}}{|x-y|}.$$

Символ $\int^*$ означает предельное значение интеграла при $\varepsilon \rightarrow 0$, если в выражении $e^{ip|x-y|}/|x-y|$ заменить $x \rightarrow x_\varepsilon = x + \varepsilon n(x)$.

5. Формулировка спектральной задачи

Свойства открытого резонатора определяются функцией $C_0(x/|x|, p)$ из (4.1), поскольку плотность потока энергии, рассеиваемой в направлении $q = x/|x|$, пропорциональна $|C_0(q, p)|^2$. Полная энергия, рассеиваемая резонатором в единицу времени, называется спектральной мощностью излучения и определяется по формуле

$$N(p) = \int_{|q|=1} |C_0(q, p)|^2 dS_q$$

Частоты $\omega = pc$, отвечающие локальным максимумам функции $N(p)$, называются резонансными.

6. Квазипериодичность

Исследуемый резонатор обладает свойством симметрии, связанным с идентичностью гофр на внутреннем проводнике. А именно $P_\alpha S = S$, где P_α — оператор поворота вокруг оси oz на угол $\alpha = 2\pi/N$ против часовой стрелки. Введем унитарный оператор T , действие которого на вектор-функции задается равенством $TE(r, \varphi, z) = P_{-\alpha}E(r, \varphi + \alpha, z)$. Собственными числами оператора T будут $\lambda_m = e^{im\alpha}$, $m = 0, \dots, N-1$. Можно показать что

$$I = \sum_{m=0}^{N-1} N_m^T,$$

где

$$N_m^T = \frac{\prod_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} (T - \lambda_k I)}{\prod_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} (\lambda_m - \lambda_k)}$$

— оператор проектирования на собственное подпространство оператора T , отвечающее собственному значению λ_m , I — единичный оператор.

Это позволяет решение исходной задачи разбить на отдельные моды с номерами $m=0, \dots, N-1$. Для моды с номером m решение уравнения (4.3) ищется в виде собственной функции оператора T : $Tj^m(y) = \lambda_m j^m(y)$, что дает для компонент решения свойство квазипериодичности $j_i^m(r, \varphi + \alpha, z) = \lambda_m j_i^m(r, \varphi, z)$, $i=1, 2$. Правая часть $F_k^m(x) = -(N_m^T[E_0(x), n(x)], \tau_k(x))$ также удовлетворяет этому условию. Далее мы будем работать с m -ой модой, но сам индекс у решения и правой части для краткости будем опускать.

7. Переход к одномерным интегральным уравнениям с сильной особенностью

Поскольку поверхность S — цилиндрична, то возможны два варианта преобразования СИУ (4.3), связанные с построением гиперсингулярных интегральных уравнений по замкнутым кривым поперечного сечения или по отрезку прямой в продольном сечении. В этой работе будет предложен некий вариант обоих подходов.

8. Первый подход — гиперсингулярные уравнения на отрезке

Поверхность S состоит из двух кусков $S = S_0 \cup S_1$, где S_0 — внешний проводник, а S_1 — внутренний гофрированный. Обозначим символом g_y номер поверхности, на которой лежит точка y . Уравнение (4.3) перепишем в виде

$$\sum_{g_y=0}^1 \sum_{i=1}^2 \int_{S_{g_y}} j_i^{g_y}(y) \cdot A_{ki}^{g_x g_y}(x, y) dS_y = F_k^{g_x}(x), \quad x \in S_{g_x}, \quad k=1, 2, g=0, 1. \quad (8.1)$$

Точки на поверхности S задаются векторным полем $x = \hat{x} + aze_3$, где $\hat{x} = r(\varphi) \cos(\varphi)e_1 + r(\varphi) \sin(\varphi)e_2$ — проекция на плоскость поперечного сечения, $a = \ell/2$ — полувысота, $\varphi \in [0, 2\pi]$, $z \in [-1, 1]$. Для поверхностных координат точки x будем использовать обозначение (φ, z) , точки y — (ψ, ζ) . Далее, переходя к двойным интегралам в (8.1), множитель $|\hat{y}'_\psi(\psi)|$ из dS_y будем присоединять к решению $j(y)$.

Воспользуемся Фурье представлением для квазипериодической функции и заменим с достаточной степенью точности

$$j_i^{g_y}(\psi, \zeta) \approx \sum_{n=-n_{g_y}}^{n_{g_y}} j_{in}^{g_y}(\zeta) \cdot e^{i(m+nN)\psi}, \quad (8.2)$$

$$F_k^{g_x}(\varphi, z) \approx \sum_{f=-n_{g_x}}^{n_{g_x}} F_{kf}^{g_x}(z) \cdot e^{i(m+fN)\varphi}.$$

Домножим обе части равенства (8.1) на $e^{-i(m+fN)\varphi}$ и проинтегрируем по φ в пределах от 0 до α . В результате получим такую систему интегральных уравнений

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{g_y=0}^1 \sum_{n=-n_{g_y}}^{n_{g_y}} \int_{-1}^1 U_{in}^{g_y}(\zeta) \cdot K_{ki,nf}^{g_x g_y}(z, \zeta) \sqrt{1-\zeta^2} d\zeta = \alpha F_{kf}^{g_x}(z), \quad z \in [-1, 1] \quad (8.3)$$

$$f = -n_{g_x}, \dots, n_{g_x}, \quad k = 1, 2, \quad g_x = 0, 1,$$

ядро

$$K_{ki,nf}^{g_x g_y}(z, \zeta) = \int_0^\alpha e^{-i(m+fN)\varphi} d\varphi \int_0^{2\pi} e^{i(m+nN)\psi} d\psi A_{ki}^{g_x g_y}(\varphi, \psi; z, \zeta).$$

Мы воспользовались представлением $j_{in}^{g_y}(\zeta) = U_{in}^{g_y}(\zeta) \sqrt{1-\zeta^2}$, которое вытекает из условий Мейкснера на ребре.

Детальный анализ ядра показывает, что при $g_x = g_y$ и $k = i$ справедливо следующее представление

$$K_{ki,nf}^{g_x g_y}(z, \zeta) = \frac{C_{nf}^H}{(z-\zeta)^2} - C_{nf}^{\log} \ln |z-\zeta| + O(z-\zeta). \quad (8.4)$$

C_{nf}^H и $C_{nf}^{\log}$ — некоторые константы. При $g_x \neq g_y$ или $k \neq i$ ядро представляет собой регулярную функцию. В этом случае возможен предельный переход под знаком соответствующего интеграла в сумме (8.3) и звездочка над интегралом пропадает. В случае же, когда $g_x = g_y$ и $k = i$, мы имеем дело с интегралом вида

$$\int_{-1}^1 \frac{L(z, \zeta)}{(z-\zeta)^2} \sqrt{1-\zeta^2} d\zeta,$$

который нужно понимать в смысле конечной части по Адамару.

Переход к дискретному аналогу уравнения (8.3), т.е. к СЛАУ, осуществляется с помощью квадратурных формул [4], построенных на основе интерполяции многочленами Чебышева первого рода. Для вычисления ядра можно использовать следующую квадратуру, построенную на основе тригонометрической интерполяции

$$\begin{aligned} & \int_0^\alpha e^{-i(m+fN)\varphi} d\varphi \int_0^{2\pi} e^{i(m+nN)\psi} d\psi M(\varphi, \psi; z, \zeta) \approx \\ & \approx \left(\frac{\alpha}{2n_\varphi + 1} \right)^2 \sum_{l=0}^{2n_\varphi} \sum_{s=0}^{2n_\varphi} \left(\sum_{j=0}^{N-1} M(\varphi_l^{n_\varphi} - \alpha j, \varphi_{0s}^{n_\varphi}; z, \zeta) e^{im\alpha j} \right) \times \\ & \times e^{i(m+nN)\varphi_{0s}^{n_\varphi}} e^{-i(m+fN)\varphi_l^{n_\varphi}}, \end{aligned} \quad (8.5)$$

где $\varphi_l^{n_\varphi} = l\alpha / (2n_\varphi + 1)$, $\varphi_{0s}^{n_\varphi} = (s + 0.5)\alpha / (2n_\varphi + 1)$.

9. Второй подход к решению — гиперсингулярные интегралы по замкнутым кривым

В этом подходе вместо функции U_{in}^{gy} используется j_{in}^{gy} , для которой строится кусочно-полиномиальный интерполянт. На отрезке $[-1,1]$ выбираются две равномерные сетки с перемежающимися узлами

$$a_k = -1 + kh, \quad k = 0, \dots, n_z,$$

$$t_k = a_k - h/2, \quad k = 1, \dots, n_z,$$

$h = 2/n_z$, n_z — объем сеток. Для функции j_{in}^{gy} на отрезке $[a_{k-1}, a_k]$ строится интерполяционный полином Лагранжа с узлами $\{t_{k-1}, t_k, t_{k+1}\}$ при $k = 2, \dots, n_z - 1$; $\{t_1, t_2\}$ при $k = 1$ и $\{t_{n_z-1}, t_{n_z}\}$ при $k = n_z$. Таким образом, для аппроксимации используются многочлены не выше второго порядка.

После замены искомой функции интерполянтом, уравнение (8.3), записанное в узлах $z \in \{t_i\}_{i=1}^{n_z}$ даст СЛАУ. Элементы матрицы будут содержать гиперсингулярные интегралы. Чтобы их хорошо посчитать предлагается следующая методика.

Во-первых, договоримся множитель $|\hat{y}'_\psi(\psi)|$ вносить не в решение j_{in}^{gy} как ранее, а присоединять к ядру. Тогда для ядра при $g_x = g_y$ и $k = i$ можно записать представление

$$A_{ki}^{g_x g_y}(x, y) = \frac{|\hat{x}'(\psi)|}{|x - y|^3} + \frac{B(\varphi)}{|x - y|} + f(x, y),$$

где $f(x, y)$ — регулярная добавка. В содержащем ее интеграле можно будет перейти к пределу и снять звездочку с интеграла. Что касается первых двух слагаемых, то они имеют особенность (второе слагаемое — интегрируемую особенность), на их вычислении мы остановимся отдельно.

Поскольку у нас цилиндрический случай, то $|x - y|^2 = a^2(z - \zeta)^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2$. Основная проблема, таким образом, заключается в том, чтобы посчитать интегралы

$$\int_0^\alpha e^{-i(m+fN)\varphi} d\varphi \int_0^{2\pi} e^{i(m+nN)\psi} d\psi \left[|\hat{x}'(\psi)| \int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \frac{ds}{\{a^2(s - d_{ik})^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2\}^{3/2}} + \right. \\ \left. + B(\varphi) \int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \frac{ds}{\sqrt{a^2(s - d_{ik})^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2}} \right].$$

Здесь $d_{ik} = t_i - t_k$, $m_0 = 0, 1, 2$. Поскольку сетка равномерная, то достаточно рассмотреть лишь случай $d_{ik} = d_{1k}$.

Идея метода состоит в том, чтобы посчитать интегралы по переменной s аналитически, после этого проанализировать полученную функцию при $\psi = \varphi$, выделить особенность в отдельное слагаемое и считать интегралы по $d\psi$ и $d\varphi$.

с учетом этой особенности. Несложно проверить, что справедливо следующее представление

$$\int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \left[\frac{|\hat{x}'(\psi)|}{\{a^2(s-d_{1k})^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2\}^{3/2}} + \frac{B(\varphi)}{\sqrt{a^2(s-d_{1k})^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2}} \right] ds = \\ = \delta_{1k} \left[C |\hat{x}'(\psi)| \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \ln |\hat{x} - \hat{y}|^2 + \hat{C} \ln \left| \sin \frac{\psi - \varphi}{2} \right| \right] + O \left(\sin \frac{\psi - \varphi}{2} \right),$$

δ_{1k} — символ Кронекера, C и $\hat{C}$ — некоторые константы. Со второй производной от логарифма мы поступим аналогично [5] в двумерном случае, а именно

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^{2\pi} f(\psi) |\hat{x}'(\psi)| \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \ln |\hat{x}_\varepsilon - \hat{y}|^2 d\psi = \\ = -\frac{1}{|\hat{x}'(\varphi)|} \int_0^{2\pi} \frac{f(\psi)}{2 \sin^2((\psi - \varphi)/2)} d\psi + \\ + \int_0^{2\pi} f(\psi) \left\{ |\hat{x}'(\psi)| \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \ln |\hat{x} - \hat{y}|^2 + \frac{1}{|\hat{x}'(\varphi)|} \cdot \frac{1}{2 \sin^2((\psi - \varphi)/2)} \right\} d\psi, \quad (9.1)$$

где первый интеграл в правой части равенства надо понимать как гиперсингулярный в смысле конечной части по Адамару, второй интеграл не имеет особенностей.

Используя квадратурные формулы [4], построенные на основе тригонометрического интерполирования, а также формулу (8.5) элементы матрицы СЛАУ можно посчитать с любой степенью точности.

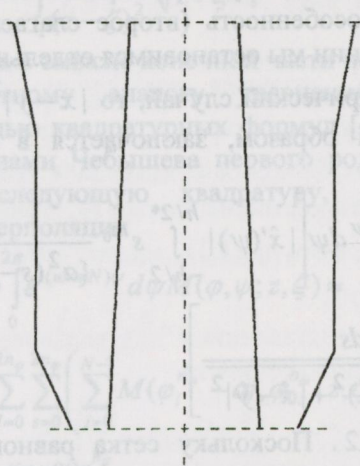


Рис. 2. Продольный срез резонатора со скосами

Изложенный метод существенно использует цилиндричность ситуации, однако его с небольшими видоизменениями можно применять и в случае конусов, т.е. когда продольное сечение резонатора имеет скосы как, например,

на рисунке 2. Такое применение становится возможным, поскольку интегралы вида

$$\int_a^b \frac{s^{m_0} ds}{(D + Cs + As^2)^q}$$

где $q = 1/2, 3/2$, $m_0 = 0, 1, 2$ также можно вычислить аналитически.

Возможна некоторая модификация описанного метода, позволяющая построить более качественную аппроксимацию для элементов матрицы СЛАУ. Область применимости этой модификации, однако, ограничивается цилиндрическими резонаторными структурами, поскольку в этом случае вектора $n(y)$, $\tau_k(y)$ не зависят от координаты ζ , а только от угла ψ и поэтому могут быть вынесены за знак интеграла по ζ . Разберем необходимые действия на примере части ядра в (4.3). Запишем такое представление

$$\frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \frac{e^{ipt}}{t} = \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \left\{ \frac{1}{t} - \frac{p^2}{2!} t + \frac{p^4}{4!} t^3 \right\} + M(x, y).$$

Здесь обозначено $t = |x - y|$ и

$$M(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \left\{ ip - i \frac{p^3}{3!} t^2 + \frac{e^{ipt} - 1 - ipt + \frac{p^2}{2!} t^2 + i \frac{p^3}{3!} t^3 - \frac{p^4}{4!} t^4}{t} \right\}$$

— очень гладкая, хорошая для расчетов функция.

Неизвестную функцию j_{in}^{gy} аппроксимируем также как и ранее. И будем считать интегралы

$$\int_0^\alpha e^{-i(m+fN)\varphi} d\varphi \int_0^{2\pi} e^{i(m+nN)\psi} d\psi \int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \frac{e^{ip|x-y|}}{|x-y|} ds |\hat{y}'(\psi)|, \quad (9.2)$$

используя равенство

$$\int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \frac{e^{ip|x-y|}}{|x-y|} ds |\hat{y}'(\psi)| = \int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} M(x, y) |\hat{y}'(\psi)| ds + \hat{f}(\psi, \varphi),$$

где

$$\begin{aligned} \hat{f}(\psi, \varphi) = & |\hat{y}'(\psi)| \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \int_{-h/2}^{h/2} s^{m_0} \left\{ \frac{1}{\sqrt{a^2(s-d_{1k})^2 + b^2}} - \right. \\ & \left. - \frac{p^2}{2!} \sqrt{a^2(s-d_{1k})^2 + b^2} + \frac{p^4}{4!} \{a^2(s-d_{1k})^2 + b^2\}^{3/2} \right\} ds, \quad b = |\hat{x} - \hat{y}|. \end{aligned}$$

Интеграл по s вычисляется аналитически, после чего полученное выражение дифференцируется дважды по нормали и результат анализируется при $\psi = \varphi$.

Путем указанных операций получаем представление

$$\hat{f}(x, y) = C_0 |\hat{x}'(\psi)| \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \ln |\hat{x} - \hat{y}|^2 + C_1 \ln \left| \sin \frac{\psi - \varphi}{2} \right| + Q \left(\sin \frac{\psi - \varphi}{2} \right).$$

C_0 и C_1 — константы. Поэтому интеграл по ψ в (9.2) берется с учетом этого разложения и правила (9.1).

Это более громоздкий способ, но он обеспечивает хорошую точность для элементов матрицы СЛАУ при гораздо меньших объемах сеток по φ и ψ .

10. Связь с двумерным случаем

Если в уравнении (4.3) положить $j_1(y) \equiv 0, y \in S$ и устремить высоту резонатора $\ell \rightarrow \infty$, считая при этом $j_2(\psi, \zeta) = j_2(\psi)$, то получится уравнение вида

$$\int_L^* U(\hat{y}) \frac{\partial^2}{\partial n(x) \partial n(y)} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(ip\sqrt{z^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2})}{\sqrt{z^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2}} dz dS_y = 0, \quad \hat{x} \in L,$$

где L — совокупность замкнутых кривых в поперечном сечении резонатора (рис. 1). В правой части стоит ноль, поскольку падающее поле, также не зависящее от переменной z , на бесконечности должно исчезнуть. Путем простых преобразований получим представление для ядра

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(ip\sqrt{z^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2})}{\sqrt{z^2 + |\hat{x} - \hat{y}|^2}} dz = -\frac{\pi}{i} H_0^{(1)}(p|\hat{x} - \hat{y}|).$$

$H_0^{(1)}$ — функция Ханкеля первого рода нулевого порядка.

Такое же уравнение было получено при решении плоской задачи [6] (при условии, что в качестве фундаментального решения берется функция Ханкеля — такая замена устраняет внешние паразитные спектральные числа). Следует также заметить, что в результате проведения численных экспериментов, было обнаружено, что свойство $j_1(y) \equiv 0, y \in S$ будет выполнено, если брать падающее поле $F_1(x) \equiv 0, x \in S$. Таким образом, предельным случаем нашей трехмерной задачи при бесконечном увеличении высоты резонатора является плоская спектральная задача.

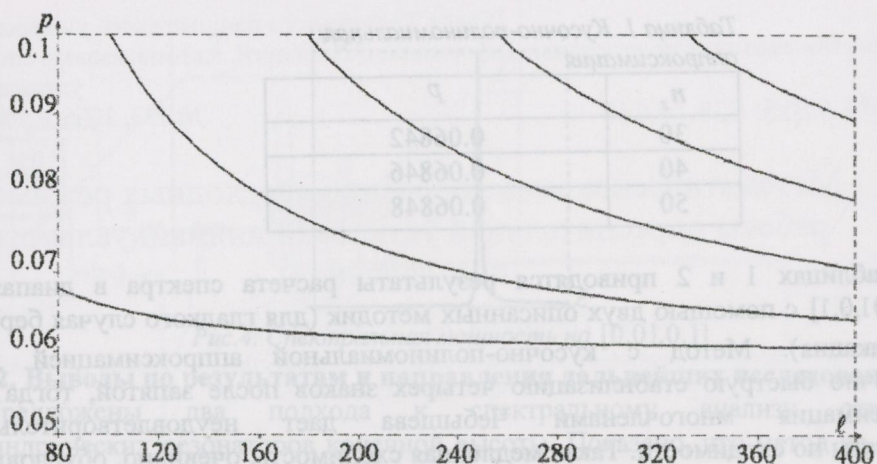


Рис.3. Зависимость спектра от высоты резонатора

Выберем параметры резонатора $N=4$, $R_0=26.38425$, $R_1=7.49746$, $d=0.45$. Будем изучать решения с номером моды $m=1$. На рисунке 3 графически отражена зависимость спектра в интервале $p \in [0.05, 0.1]$ (ось ординат) от высоты резонатора, которая менялась в пределах $\ell \in [80, 400]$ (ось абсцисс). График построен с использованием модификации метода с кусочно-полиномиальной аппроксимацией. В двумерном случае с помощью методики [6] в указанном диапазоне было найдено единственное спектральное значение $p_0=0.06069$. Как видно из рисунка, спектральные значения резонатора конечной высоты изменяются с ростом высоты, двигаясь по гладким кривым, которые в пределе $\ell=\infty$ стягиваются к значению p_0 . По-видимому, “конечность” высоты резонатора приводит к расщеплению спектральных значений плоской задачи в соответствии с их кратностью. Можно установить, таким образом, соответствие между решениями плоской задачи и трехмерной задачи для резонатора конечной высоты.

Любопытно отметить еще одну особенность решения. В обоих случаях (конечной и бесконечной высоты) “соответствующие” решения как функции цилиндрического угла φ ведут себя аналогично. Т.е. для получения спектрального числа с одной и той же точностью в обоих случаях для аппроксимации решения нужно брать гармоники Фурье (8.2) с одними и теми же номерами.

11. Результаты численных экспериментов

Для проведения численных экспериментов был выбран резонатор с параметрами $N=4$, $R_0=26.38425$, $R_1=7.49746$, $d=0.45$, $\ell=80$. Рассматривались решения с номером моды $m=1$. Индексы учитываемых гармоник Фурье по модулю не превосходят $n_0=0$ на поверхности S_0 и $n_1=1$ на S_1 . Учет большего числа гармоник не изменяет получаемых четырех знаков после запятой в значении найденного спектрального числа.

Таблица 1. Кусочно-полиномиальная аппроксимация

n_z	p
30	0.06842
40	0.06846
50	0.06848

В таблицах 1 и 2 приводятся результаты расчета спектра в диапазоне $p \in [0.01, 0.1]$ с помощью двух описанных методик (для гладкого случая берется модификация). Метод с кусочно-полиномиальной аппроксимацией дает достаточно быструю стабилизацию четырех знаков после запятой, тогда как аппроксимация многочленами Чебышева дает неудовлетворительные результаты по сходимости. Такая медленная сходимость, очевидно, обусловлена некачественной аппроксимацией. Причин этому, по мнению автора данной работы две. Первая заключается в том, что все тонкости поведения ядра мы прячем в множитель $(z - \zeta)^{-2}$ и вместо представления (8.4) используем запись $L(z, \zeta) \cdot (z - \zeta)^{-2}$. Таким образом, существенная информация о поведении ядра теряется. Вторая причина — это присутствие “высших” гармоник в сумме (8.2). Под “высшими” подразумеваются ненулевые n и f . Закономерность следующая: чем выше n и f (по модулю), тем хуже ведет себя функция $(z - \zeta)^2 K_{ki, nf}^{g_x g_y}(z, \zeta)$ при малом $|z - \zeta|$ (случай $k = i$ и $g_x = g_y$).

Таблица 2. Аппроксимация многочленами Чебышева

n_z	p
14	0.07066
20	0.07036
25	0.07009
30	0.06987
35	0.06969
40	0.06956
50	0.06937

На рисунке 4 изображен график спектральной мощности $N(p)$ на указанном интервале. Хорошо различимый пик соответствует резонансу при $p = 0.0684$.

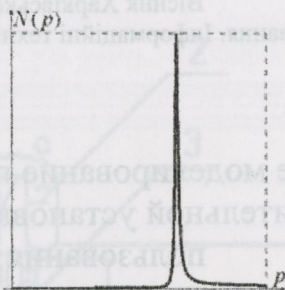


Рис.4. Спектральная мощность на $[0.01, 0.1]$

12. Выводы по результатам и направления дальнейших исследований

Предложены два подхода к спектральному анализу открытых цилиндрических резонаторов конечной высоты. Показано, что метод на основе кусочно-полиномиальной аппроксимации (модификация) способен обеспечить высокую точность результатов и устойчивость вычислительного процесса. При использовании мощных вычислительных комплексов, метод обеспечит получение решения в диапазоне высоких частот, что интересно для приложений.

Можно в дальнейшем улучшить первый подход, если учесть детальную структуру ядра и применить смешанную аппроксимацию. Это позволит избежать проблем, описанных в предыдущем разделе. Во втором подходе (модификация) можно попробовать отказаться от кусочно-полиномиальной аппроксимации и использовать интерполянт, построенный на основе тригонометрических функций. Оставляя, однако, идею о вынесении производных за знак интеграла и вычисления интегралов аналитически.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dumbrajs I., Nusinovich G.S. Coaxial gyrotrons: past, present and future (review) // IEEE Transactions on Plasma Science. – June 2004. – V.32, №3. – P.934-946.
2. Гандель Ю.В., Загинайлов Г.И., Стешенко С.А. Строгий электродинамический анализ резонаторных систем коаксиальных гиротронов // Журнал технической физики. – 2004. – Т.74, №7. – С.81-89.
3. Щербина В.А. Дифракция электромагнитных волн на разрезе в $\mathbb{R}^3$ // Электромагнитные явления. – 1998. – Т.1, №4. – С.1-4.
4. Гандель Ю.В. Лекции о численных методах для сингулярных интегральных уравнений. Учебное пособие, часть 1. Введение в методы вычисления сингулярных и гиперсингулярных интегралов. – Харьков-Херсон, 2000. – 92с.
5. Митина И.В. Численно аналитический метод для спектрального анализа электромагнитного поля в плоском резонаторе // Вестник ХНУ им. В.Н.Каразина. Сер. Математика, прикладная математика и механика. – 2005. – Т.711, №55. – С.104-120.
6. Митина И.В. Метод численного моделирования собственных колебаний электромагнитного поля в цилиндрическом резонаторе // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2006. – Вып.2(25). – С.341-345.

Математическое моделирование переходных режимов работы опреснительной установки индивидуального пользования

А. А. Плешков, М. Л. Угрюмов

*Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«ХАИ», Украина*

This article presents the system approach to the mathematical description of the transient processes in the water distiller assigned for individual usage. The results analysis of distiller numerical modeling is carry out.

1. Формулирование проблемы

Опыт эксплуатации современных опреснительных установок, реализующих принцип дистилляции, показал следующие основные недостатки: высокие удельные энергозатраты присущие промышленным образцам, необходимость предварительного смягчения опресняемой воды, что в свою очередь ведёт к усложнению конструкции установки, а также усложнению её эксплуатации. В условиях индивидуального пользования промышленные образцы опреснителей являются чрезмерно сложными в конструктивном плане, а их эксплуатация сопровождается высокими материальными затратами на обслуживание [1-4].

В работе [5] рассмотрена опреснительная установка, предназначенная для получения дистиллята из морской или загрязнённой воды в условиях индивидуального пользования, а также её принцип действия. Оригинальные инженерные решения, воплощённые в схеме данной опреснительной установки индивидуального пользования, позволяют свести к минимуму описанные выше недостатки. Тепловая схема опреснителя представлена на Рис.1. Основными элементами установки являются: 1 – расходный бак с нагревательным элементом; 2 – расширительное устройство; 3 – теплообменник-конденсатор; 4 – теплообменник-рекуператор; 5 – емкость для сбора рассола; 6 – емкость для сбора дистиллята; 7 – насос подачи воды в систему; 8 – дроссельные элементы. Принцип работы установки основан на расширении предварительно нагретой, находящейся под давлением воды («мгновенное вскипание») с регенерацией тепла. Весьма актуально проанализировать свойства данной установки на основе численного моделирования её работы.

Поэтому целью статьи является построение математической модели комплекса теплофизических процессов, протекающих в рабочих элементах опреснительной установки, и осуществление на этой базе численного моделирования переходных режимов работы установки в целом.

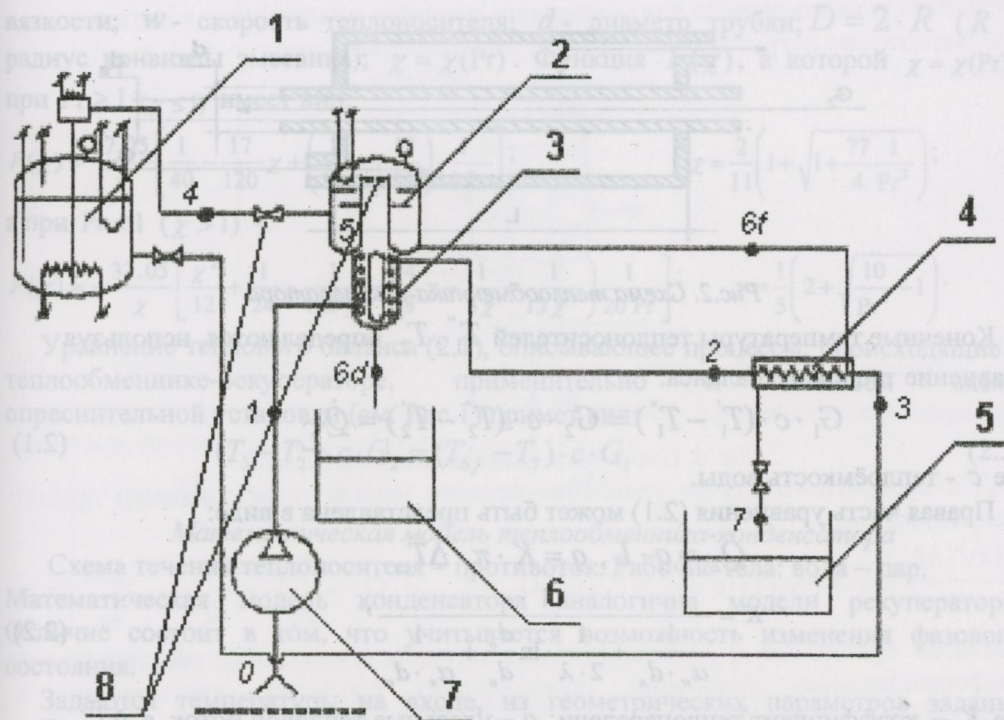


Рис. 1. Тепловая схема опреснительной установки

2. Структуризация поставленной задачи

Для упрощения моделирования произведем структурирование поставленной задачи. Разобьем систему (опреснительную установку) на элементы и опишем процессы, происходящие в каждом из них в отдельности.

Математическая модель теплообменника-рекуператора

Заданы конструкция, основные геометрические и теплофизические параметры теплообменника (Рис.2):

- d_n, d_e - наружный и внутренний диаметр трубок, м;
- L - длина образующей трубки, м;
- G_1, G_2 - массовые расходы горячего и холодного теплоносителей, $\frac{кг}{с}$;
- T_1', T_2' - начальные температуры теплоносителей, К.

Материал трубок – медь, коэффициент теплопроводности которой равен $\lambda = 390, \frac{Вт}{м \cdot К}$; схема течения теплоносителя – противоток.

Требуется определить конечные температуры теплоносителей на выходе из теплообменника. Предполагается, что процесс является квазистационарным, т.е. характерное время переходного процесса в теплообменнике намного меньше характерного времени переходного процесса в системе в целом [6].

Схема расширительного устройства представлена на Рис.3. Расширительное

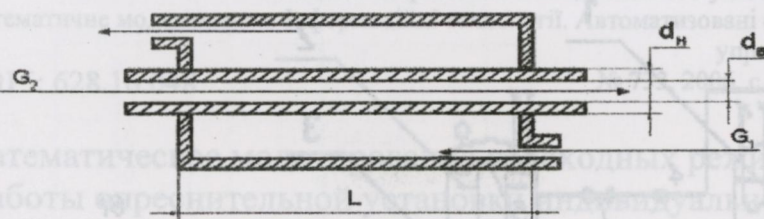


Рис.2. Схема теплообменника-рекуператора

Конечные температуры теплоносителей T_1'', T_2'' определяются, используя уравнение теплового баланса:

$$G_1 \cdot c \cdot (T_1' - T_1'') = G_2 \cdot c \cdot (T_2'' - T_2') = \dot{Q}_\Sigma \quad (2.1)$$

где c - теплоёмкость воды.

Правая часть уравнения (2.1) может быть представлена в виде:

$$\dot{Q}_\Sigma = q \cdot L, \quad q = K \cdot \pi \cdot \Delta \tilde{T}_{cl},$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n \cdot d_n} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_n}{d_s} + \frac{1}{\alpha_s \cdot d_s}}, \quad (2.2)$$

где K - коэффициент теплопередачи, q - удельные тепловой поток, а $\Delta \tilde{T}_{cl}$ - определяется по формуле:

$$\Delta \tilde{T}_{cl} = \frac{\Delta T_\delta - \Delta T_m}{\ln \frac{\Delta T_\delta}{\Delta T_m}}.$$

Коэффициенты теплоотдачи α_n, α_s в уравнении (2.2) находятся из соотношений:

$$\alpha_n = \frac{Nu_n \cdot \lambda}{d_n},$$

$$\alpha_s = \frac{Nu_s \cdot \lambda}{d_s}. \quad (2.3)$$

Следует заметить, что при определении числа Нуссельта (Nu) необходимо учесть схему течения (прямоток или противоток), а также формы труб теплообменника. Если трубка теплообменника выполнена в виде спирали (змеевика), то интенсивность теплообмена определяется по уравнению [7]:

$$Nu_\infty = \frac{Nu_\infty^{np} \cdot 0.1979 \cdot K^{0.5}}{\chi \cdot (1 + F(\chi)) \cdot K^{-0.5}}, \quad (2.4)$$

где $Nu_\infty = \frac{q_l \cdot d}{(T_{cm} - T) \lambda}$, $Nu_\infty^{np} = 0,021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43}$ - число Нуссельта для прямой трубы; $K = Re \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5}$; $Re = \frac{w \cdot d}{\nu_f}$; ν_f - коэффициент кинематической

вязкости; w - скорость теплоносителя; d - диаметр трубки; $D = 2 \cdot R$ (R - радиус кривизны змеевика); $\chi = \chi(\text{Pr})$. Функция $F(\chi)$, в которой $\chi = \chi(\text{Pr})$, при $\text{Pr} \geq 1$ ($\chi \leq 1$) имеет вид:

$$F(\chi) = \frac{37.05}{\chi} \left[\frac{1}{40} - \frac{17}{120} \chi + \left(\frac{1}{10\chi} + \frac{13}{30} \right) \frac{1}{10 \text{Pr}} \right]; \quad \chi = \frac{2}{11} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{77}{4} \frac{1}{\text{Pr}^2}} \right);$$

а при $\text{Pr} < 1$ ($\chi > 1$) -

$$F(\chi) = -\frac{37.05}{\chi} \left[\frac{\chi^2}{12} + \frac{1}{24} - \frac{1}{120\chi} - \left(\frac{4}{3}\chi - \frac{1}{3\chi} + \frac{1}{15\chi^2} \right) \frac{1}{20 \text{Pr}} \right]; \quad \chi = \frac{1}{5} \left(2 + \sqrt{\frac{10}{\text{Pr}^2} - 1} \right).$$

Уравнение теплового баланса (2.1), описывающее процессы, происходящие в теплообменнике-рекуператоре, применительно к тепловой схеме опреснительной установки (см. Рис.1) примет вид:

$$(T_3 - T_2) \cdot c \cdot G_2 = (T_{6f} - T_7) \cdot c \cdot G_1 \quad (2.5)$$

Математическая модель теплообменника-конденсатора

Схема течения теплоносителя - противоток. Рабочие тела: вода - пар.

Математическая модель конденсатора аналогична модели рекуператора. Отличие состоит в том, что учитывается возможность изменения фазового состояния.

Задаются температуры на входе, из геометрических параметров заданы: диаметр трубок и проходное сечение. Требуется определить конечные температуры теплоносителей на выходе из теплообменника.

Для криволинейной поверхности, в частности для горизонтального цилиндра, угол ϕ , образованный направлением силы тяжести и касательной к поверхности цилиндра, будет переменной величиной. Учитывая это была получена формула для расчета среднего по наружной поверхности трубы коэффициента теплоотдачи при условии ламинарного течения плёнки конденсата [6]:

$$\bar{\alpha}_n = 0.728 \cdot \sqrt[4]{\frac{c^3 \cdot \rho_f^2 \cdot g \cdot r}{\nu_f \cdot (T_n - T_c) \cdot d_n}}, \quad \text{где } \rho_f - \text{плотность воды, } r - \text{теплота}$$

парообразования, g - ускорение свободного падения, T_n, T_c - температура носителя и стенки соответственно.

С использованием уравнения теплового баланса

$$\begin{cases} \dot{Q} = c \cdot G_2 \cdot (T_2'' - T_2') = [r + c \cdot (T_1' - T_1'')] \cdot G_1 \\ \dot{Q} = c \cdot G_2 \cdot (T_2'' - T_2') = q \cdot L; \quad q = K \cdot \pi \cdot \Delta \tilde{T}_{\text{ср}} \cdot L \end{cases} \quad (2.6)$$

определяются неизвестные температуры теплоносителей на выходе из теплообменника. Коэффициент теплопередачи определяется по формуле (2.2).

Уравнение теплового баланса, описывающее процессы, протекающие в теплообменнике-конденсаторе (см. Рис.2) примет вид:

$$(T_2 - T_1) \cdot c \cdot G_1 = r \cdot G_d. \quad (2.7)$$

Математическая модель расширительного устройства

Схема расширительного устройства представлена на Рис.3. Расширительное

устройство предназначено для реализации процесса мгновенного вскипания предварительно нагретой, находящейся под давлением воды.

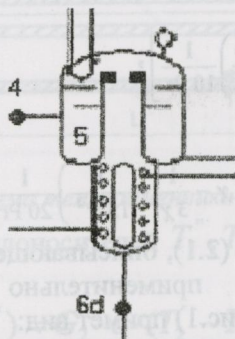


Рис.3. Схема расширительного устройства

Для конкретного случая уравнение первого начала термодинамики примет следующий вид:

$$\frac{d(e_f \cdot M_f)}{dt} = -(r + T_5) \cdot c \cdot G_d + T_{4f} \cdot c \cdot G_4 - T_{6f} \cdot c \cdot G_f - \frac{p_5}{\rho_{6f}} \cdot \frac{dM_f}{dt}. \quad (2.8)$$

Учитывая граничные и начальные условия, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих процессы, протекающие в расширительном устройстве (Рис.3):

$$\begin{cases} c \cdot T_5 \cdot \frac{dM_f}{dt} + c \cdot M_f \cdot \frac{dT_5}{dt} = c \cdot T_{4f} \cdot G_4 - (r + c \cdot T_5) \cdot G_d - c \cdot T_{6f} \cdot G_f - \frac{p_5}{\rho_{6f}} \cdot \frac{dM_f}{dt}; \\ T_5 = T_{6f}; \\ p_5 = F(T_5); \\ \frac{dM}{dt} = G_4 - G_d - G_f. \end{cases} \quad (2.9)$$

при следующих начальных условиях: $M_f(0) = 0$, $T_5(0) = T'(B)$, где $T'(B)$ - температура кипения воды при нормальных условиях.

Математическая модель расходного бака

Схема расходного бака с нагревательным элементом представлена на Рис.4. Расходный бак предназначен для накопления и подогрева воды до заданной температуры (а, следовательно, и для получения заданного давления), а также для подачи воды с заданными параметрами в расширительное устройство. Расходный бак обеспечивает непрерывность рабочего цикла.

В данном конкретном случае уравнение первого начала термодинамики примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d(e_f \cdot M_f)}{dt} = & (c \cdot T_0 + l_0) \cdot G_1 + (T_2 - T_1) \cdot c \cdot G_1 + \\ & + (T_3 - T_2) \cdot c \cdot G_1 + N - T_4 \cdot c \cdot G_4 - \frac{p_4}{\rho_{4f}} \cdot \frac{dM_f}{dt}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

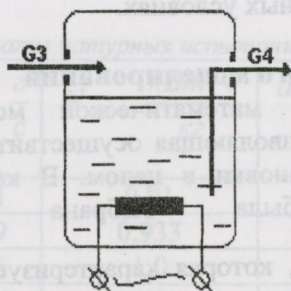


Рис.4. Схема расходного бака

где l_0 - удельная работа насоса 7, N - мощность нагревательного элемента.

Получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих процессы, протекающие в расходном баке (Рис.4):

$$\begin{cases} c \cdot M_f \cdot \frac{dT_4}{dt} = N - c \cdot G_3 \cdot (T_4 - T_3) - \frac{p_4}{\rho_{4f}} \cdot \frac{dM_f}{dt}, & p_4 = F(T_4); \\ \frac{dM_f}{dt} = G_0 - G_4; \end{cases} \quad (2.11)$$

при следующих начальных условиях: $M_f(0) = M_0, T_4(0) = T_0$.

Давление воды в баке находим, интерполируя по таблице связи температуры насыщенных водяных паров с давлением. Следует отметить, что $G_1 = G_2 = G_3$, и определяются подачей насоса. Расходы жидкой фазы G_4 и G_f определяются по формуле [7]:

$$G = k_r \cdot f \cdot \sqrt{2\rho_f \cdot \Delta P}, \quad (2.12)$$

где k_r - коэффициент расхода, f - площадь сечения дроссельного элемента, ΔP - перепад давления. Расход газовой фазы G_d определяется по следующей формуле:

$$G = k_r \cdot f \cdot \Psi \cdot \sqrt{2\rho_g \cdot \Delta P}, \quad (2.13)$$

где ρ_g - плотность газа (в данном случае пара), а функция Ψ - определяется по формуле:

$$\Psi = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot (\beta^k - \beta^{k+1})}, \quad (2.14)$$

где k - коэффициент адиабаты, а β определяется по следующим правилам:

$$\begin{cases} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \leq \frac{B}{P}, \text{ то } \beta = \frac{P_{н.у.}}{P}, \\ \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \geq \frac{B}{P}, \text{ то } \beta = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \end{cases}$$

где B - давление при нормальных условиях.

3. Результаты численного моделирования

На базе разработанной математической модели была реализована компьютерная программа, позволяющая осуществить моделирование процесса работы опреснительной установки в целом. В качестве критерия качества работы установки была выбрана удельная мощность

$$N_{y0} = \frac{N}{G_d \cdot 3.6 \cdot 10^3} \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}} \right), \text{ которая характеризует количество затраченной}$$

энергии на получение одного килограмма дистиллята. Получены результаты численного моделирования: в Табл.1 приводятся результаты расчетов, а в Табл.2 – результаты натурных испытаний. Существование устойчивого режима работы установки обеспечивалось подбором диаметров дросселирующих элементов: на входе в расширительное устройство - d_{r1} , на входе в теплообменник-конденсатор - d_{r2} . Сравнение результатов расчетов и натурных испытаний представлено на Рис.5, где 1 – результаты эксперимента, 2 – результаты расчета.

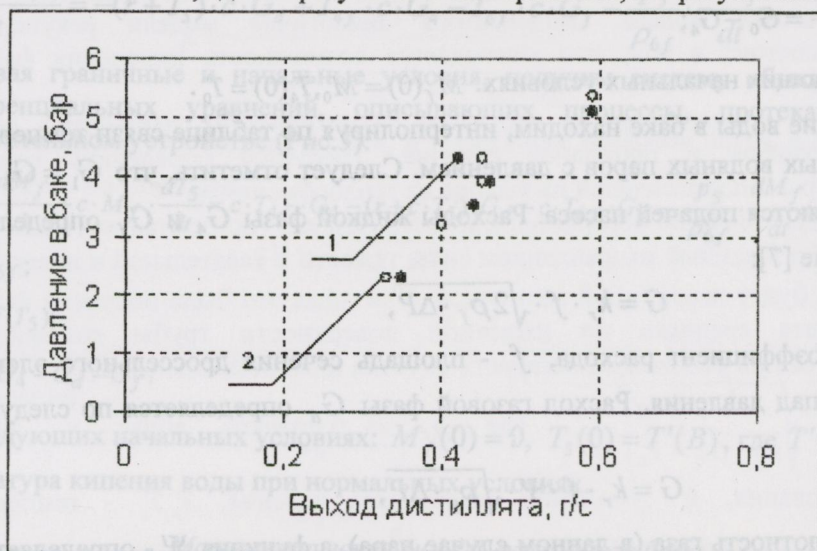


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования и натурных испытаний

Таблица 1. Результаты численного моделирования

P_4 , бар	G_d , $\frac{г}{с}$	N_{y0} , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$	d_{r1} , мм	d_{r2} , мм
5.38	0.59	0.942	0.67	2.0
4.3	0.45	1.235	0.76	1.5
3.9	0.45	1.235	0.86	1.5
3.17	0.4	1.389	0.92	1.5
2.29	0.33	1.684	1.1	1.5

Таблица 2. Результаты натурных испытаний

P_6 , бар	G_d , $\frac{z}{c}$	$N_{уд.}$, $\frac{кВт \cdot ч}{кг}$	d_{r1} , мм	d_{r2} , мм
6.8	0.61	0.91	0.67	1.5
6.5	0.59	0.933	0.67	1.5
6.3	0.56	1.0	0.67	1.5
5.15	0.56	1.0	0.67	1.5
5.1	0.59	0.933	0.67	1.5
5.0	0.58	0.96	0.67	1.5
5.4	0.46	1.2	0.76	1.5
5.3	0.46	1.21	0.76	1.5
4.7	0.49	1.13	0.76	1.5
4.3	0.42	1.33	0.76	1.5
4.2	0.49	1.13	0.86	1.5
3.9	0.46	1.2	0.86	1.5
4.2	0.46	1.2	0.92	1.5
3.7	0.44	1.26	0.92	1.5
3.5	0.44	1.26	0.92	1.5
3	0.52	1.07	1.1	1.5
2.29	0.35	1.6	1.1	1.5
1.85	0.29	2.11	1.1	1.5
9	0.42	0.933	0.58	1.5
7.5	0.47	1.178	0.58	1.5
7.5	0.4	1.4	0.58	1.5
7.2	0.48	1.17	0.58	1.5
7.15	0.49	1.13	0.58	1.5

В процессе моделирования варьировалась мощность нагревательного элемента. Было замечено, что с увеличением мощности электронагревателя N растёт давление в расходном баке, что в свою очередь приводит к увеличению выхода дистиллята и уменьшению удельной мощности. Эти результаты наглядно отображаются графиком зависимости удельной мощности от мощности нагревателя (Рис.6).

На основе полученных результатов был сделан вывод о том, что в конструкции установки существуют резервы для дальнейшей модернизации с целью повышения энергоэффективности в целом. Однако, в силу нестационарности переходных процессов, протекающих в элементах (зависимости давления от времени в расходном баке и расширительном устройстве показаны на Рис. 7), установка не всегда самостоятельно выходит на оптимальный режим работы. Эта проблема может потребовать введения системы автоматического управления, которая путём изменения управляющих параметров должна выводить и удерживать установку на заданном режиме работы.

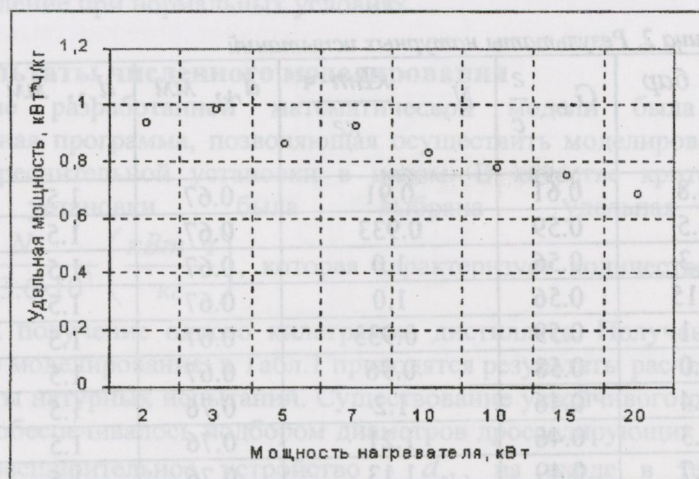
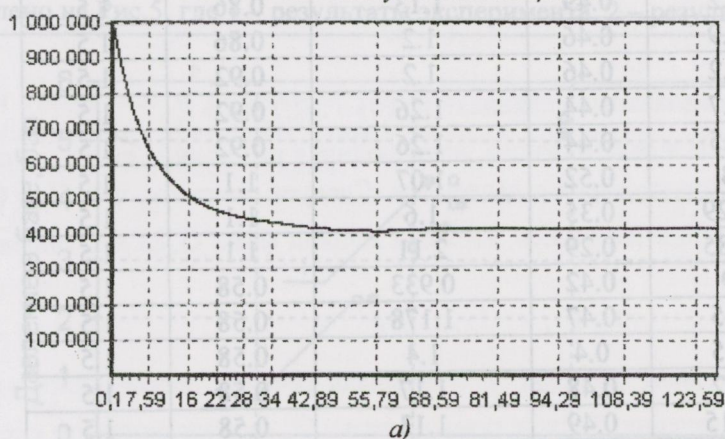
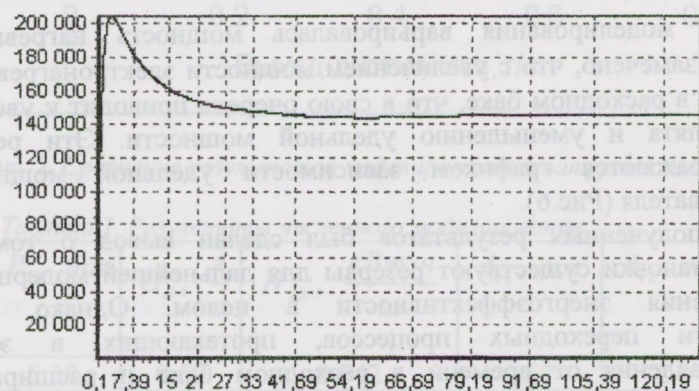


Рис. 6. Изменение удельной мощности.



а)



б)

Рис. 7. Изменение давления в элементах опреснительной установки:

а) расходном баке;

б) расширительном устройстве.

5. Выводы

На основе сравнения результатов, полученных численным моделированием, с результатами натурных испытаний можно заключить следующее:

- разработанная математическая модель адекватна объекту исследования;
- численный эксперимент выявляет неустойчивые режимы работы установок.

Изменение параметров в элементах опреснительной установки вызвано переполнением бака или расширительного устройства. При $N > 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ наблюдался выход системы на стационарный режим за время не более пяти минут;

- с увеличением подведенной мощности расход дистиллята растет;
- достижимым является уровень удельной мощности

$N_{\text{уд}} = 0.7 - 0.6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$, что в ≈ 1.3 раза меньше чем в существующих промышленных аппаратах.

В дальнейшем системный подход к математическому моделированию опреснительных установок, применённый здесь на примере конкретной конструкции, может быть распространён на другие технические установки, которые используют аналогичные физические принципы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейчткурбанов С. Многоступенчатые термические установки / Под ред. Т. Байрашова. – Ашхабад: Ылым, 1980. – 231 с.
2. Слесаренко В.Н. Опреснение морской воды. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 278 с.
3. Слесаренко В.Н. Дистилляционные опреснительные установки. – М.: Энергия, 1980. – 263 с.
4. Горшнев В.Г., Жулев Ю.Г., Потапов Ю.Ф. Гелиоопреснительная установка индивидуального пользования // Теплоэнергетика. – 2001. – №2 – С. 14 – 16.
5. Результаты испытаний опреснительной установки индивидуального использования / М.Л. Угрюмов, А.М. Ляшенко, В.И. Белоконов, А.А. Плешков // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2005. – №4(12). – С. 137 – 140.
6. Теория тепломассообмена: Учебник для технических университетов и вузов / Под ред. акад. РАН А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. – 683 с.
7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с

Standard and suggested information system development stages integration

A.B. Chekmez, L.S. Globa, T. M. Kot

National Technical University of Ukraine

Institute of Telecommunication Systems

The paper deals with the comparison of standard and new suggested information system (IS) development logical stages. But not only comparison, and also the standard and suggested stages joining to design new CASE-tool for supporting high quality IS development in the shortest terms. The work includes some new and fundamental approaches and suggested specific concepts to IS development. Suggested software solutions have been tested by real experiment execution. As the result of it additional software solutions appeared. The designed software tools are also represented in the article

1 Chapter

Successful and productive work of enterprises is impossible without information system (IS) implementation in their functioning. While complex IS development, the business-process description, workflow processes and network data exchange supporting, computer-aided management of different processes execution and outer systems integration became the most important and topical tasks to be solved. For that propose, quite widespread and convenient CASE-tools are used.

Nowadays it's impossible to imagine modern informational systems functioning, supported and realized by only one specific type of software tool. Great variety of functions implementation for the whole system functionality realization needs several software tools integration into the unified and specific software complex. The suggested approach is intended for IS software development, which are network distributed applications, as the most progressive, perspective and useful direction in the variety of application programs. Modern, advanced and complex IS development make the demand for **new generation software**. The development of such software tool is the one of the main paper subjects. And it also contains all new approaches and ideas to standard development process steps [1] and widens some of its concepts.

2 Chapter

The research fields that include system architecture of distributed applications, information-telecommunication environment, problems and proposed methodology of the IS development, requirements to the platform, being under the development, basic application platform tasks were discussed earlier [2]. The detailed description of the main concepts, such as forms, functions, principles of their interconnection, forms-functions tree (FFT), forms-functions graph also has been made [2].

The article essence begins with standard IS development stages comparison with new modified suggestion of IS development process steps. Standard stages is the basis

of IS development, but they are considerably added with new ideas and approaches. That creates noticeably new approach to full and complete process of IS development. Standard and modern "Draft & Preliminary Design" integration can be shown on the Fig.1. The further IS development stage is realization, which is integrated with testing and logically transformed to new IS realization-testing approach (Fig. 2).

Maintenance is based on the whole software or its some part modernization. It is the forth stage of IS development which is successfully tested by experiment in real application field realizing (Fig. 3).

The investigation subject is busyness-processes, describing social protection management of Chernobyl accident victim population in ME (Ministry of Emergency) and in regional state administrations. The attempt to realize practically diagrams design, the model and the technical realization of data network exchange between CDB (Chernobyl Database) Regional and Central segments was made. In such a way, the attempt to integrate the distributed IS was made. Central segment is software of Ukrainian ME Central server and Regional segments are Ukrainian ME regional servers software.

- Standard approach
- — — — — New approach, being under realization
- . — . — . New realized approach

2.1 Paragraph

Starting with the first stages and primary innovations (Fig. 1) some fundamental new approaches that modernize early discussed methodology [2] should be considered more carefully. In the article [2] the concept of 3 IS runtime modes on the basis of program system interface was discussed. they are: demo mode, debugging, and deployment (normal). The consideration of demo mode IS development stage starts with the necessity to mention some software design realities. The most considerable part of the whole development process is related to exactly IS components look & feel and function model designing (Fig.4. It can also be seen on the diagram of IS development stages (Fig. 1) and database structure (Fig.5).

The central figure in the represented development stage is Customer. He fixes forms and functions interfaces, the way of their interconnection, and their parameters. As the result of such determination, customer needs to see not only every separate part of the future IS, but the IS look & feel and functioning model. There is no existing software tool for both IS look & feel and functioning model, based on FFT scenarios, development. It is to be developed. But there is one very important moment here: while the necessary tool development, already existing tool and informational technologies are used and integrated.

The question of the whole project representation in database form necessity is very important. It is necessary to find some useful and practical solution for the project database development. The development stages database structure is represented on Fig.5.

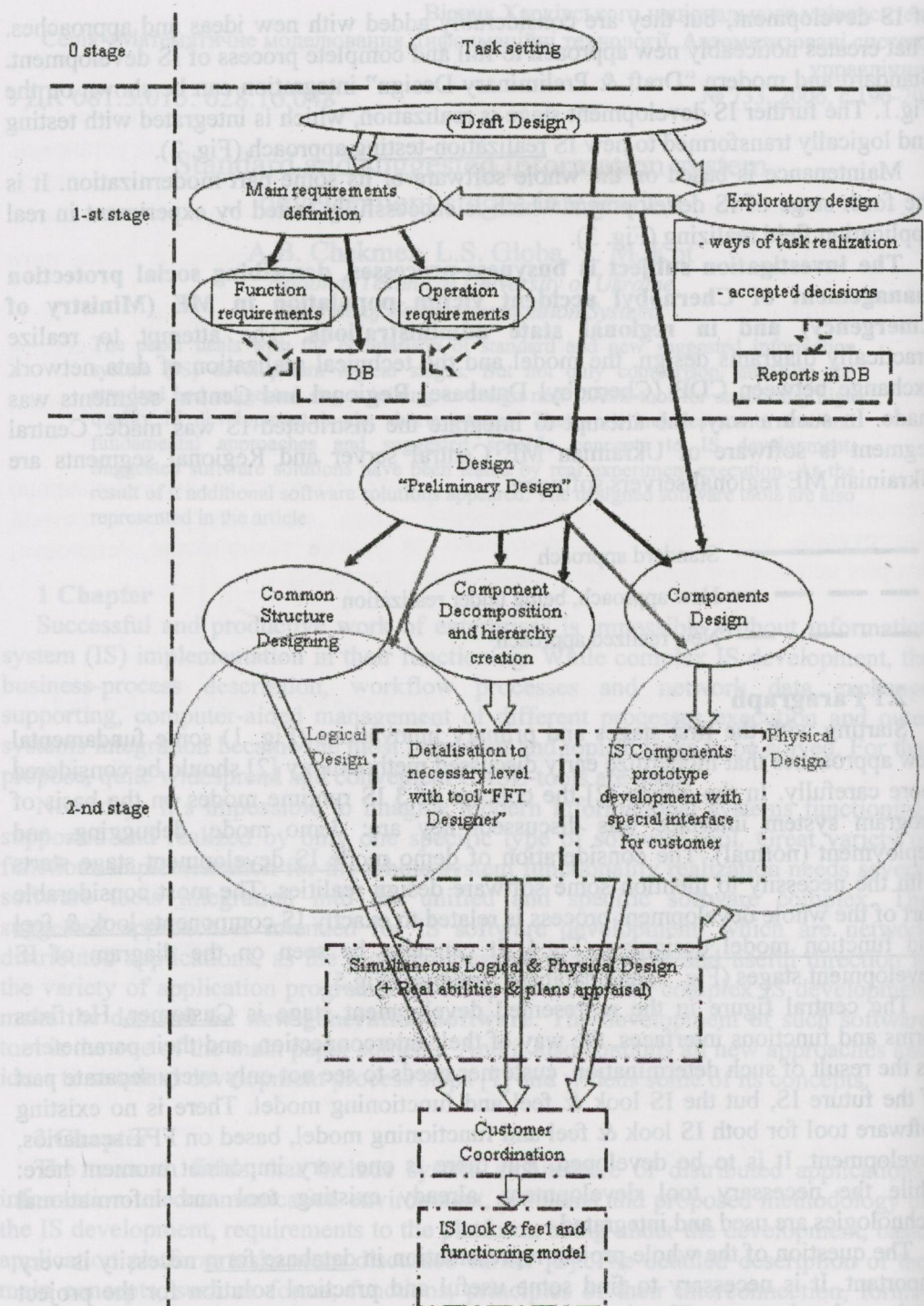


Figure. 1. Standard and modern "Draft & Preliminary Design" integration

3-rd stage

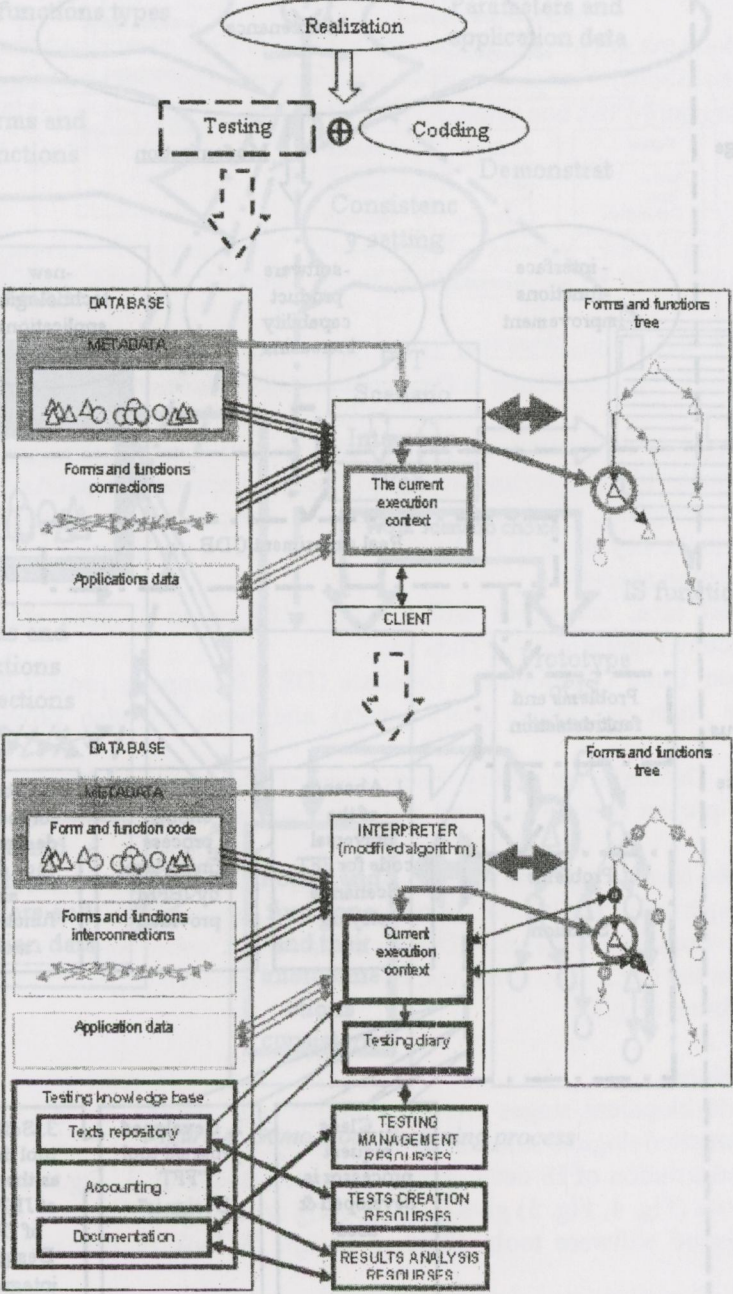


Figure 2. Standard and modern approach to IS realization stage

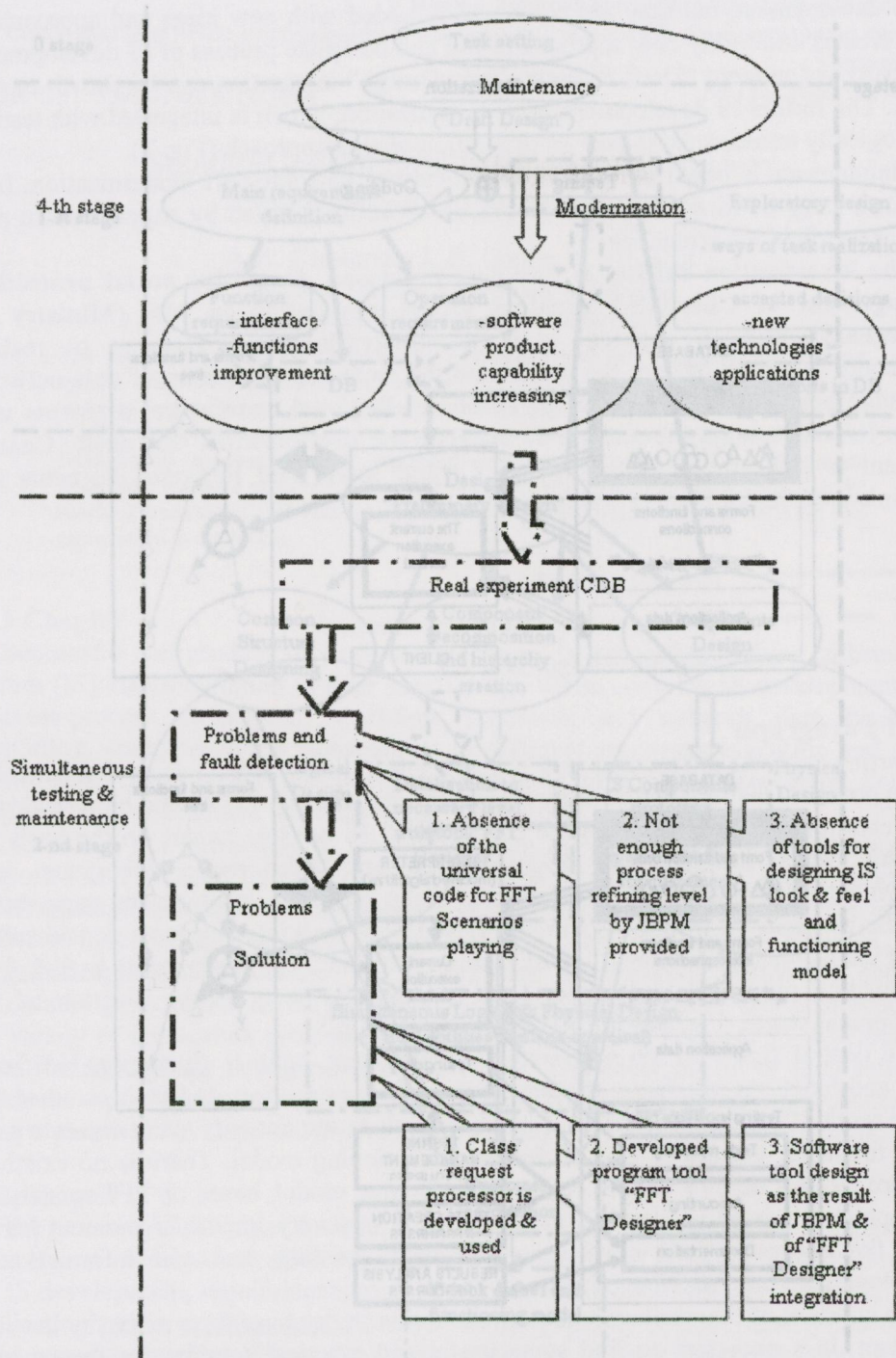


Figure 3. Modified points and problems in standard maintenance while real experiment

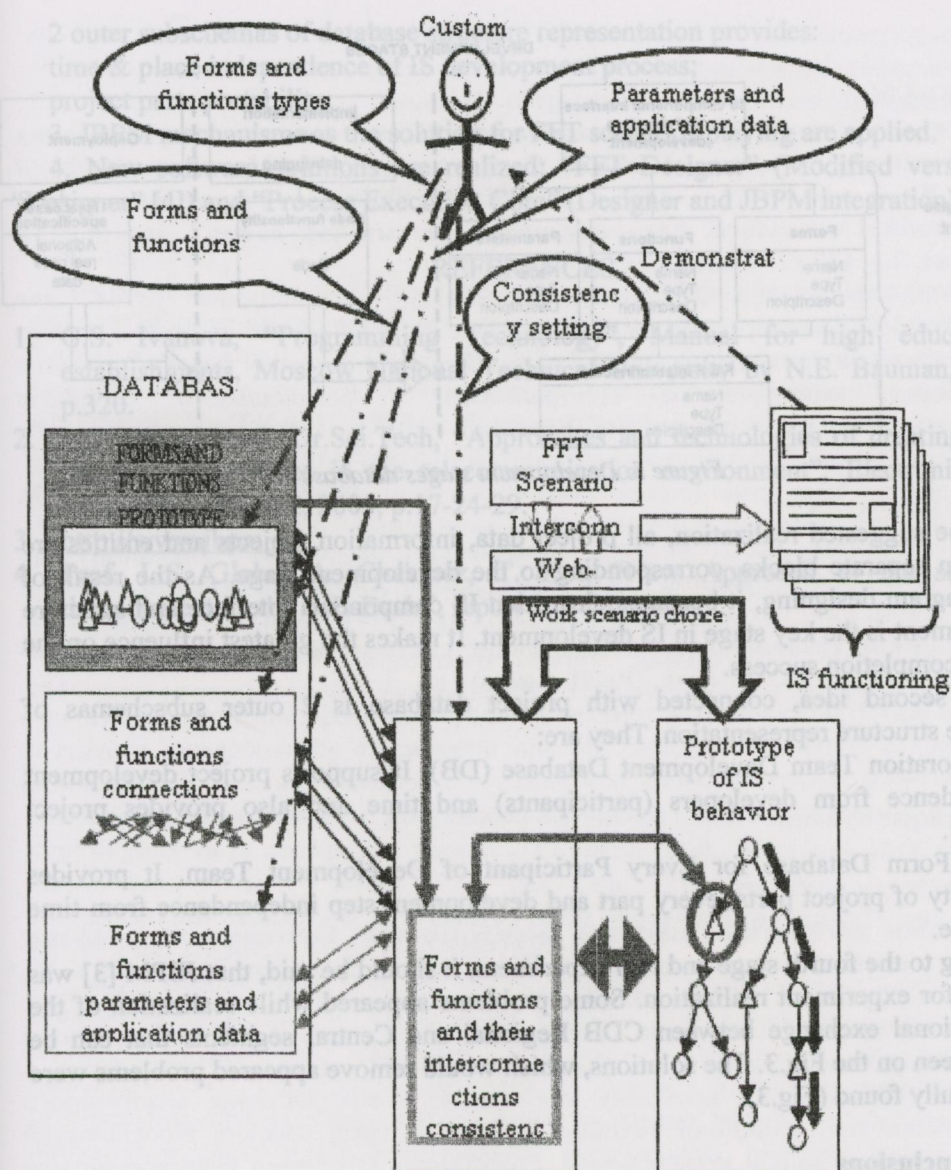


Figure 4. Demo mode designing process

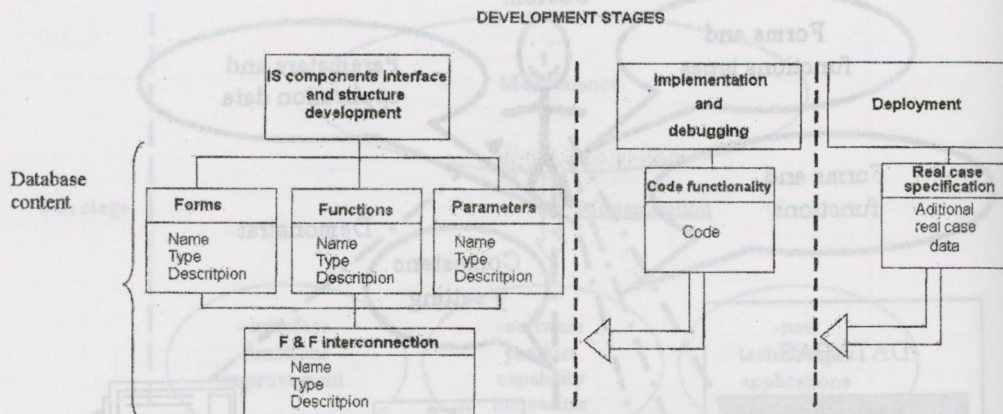


Figure 5. Development stages database

In the suggested realization, all project data, information, objects and entities are stored in separate blocks, corresponding to the development stage. As the result of such diagram designing, it becomes clear, that IS components interface and structure development is the key stage in IS development. It makes the greatest influence on the project completion success.

The second idea, connected with project database is 2 outer subschemas of database structure representation. They are:

Corporation Team Development Database (DB). It supports project development independence from developers (participants) and time and also provides project integrity.

File Form Database for Every Participant of Development Team. It provides portability of project parts, every part and development step independence from time and place.

Going to the fourth stage and real experiment, it should be said, that JBPM [3] was applied for experiment realization. Some problems appeared while realization of the informational exchange between CDB Regional and Central segments that can be clearly seen on the Fig.3. The solutions, which would remove appeared problems were successfully found (Fig.3).

3. Conclusions

1. IS all development stages were considered and applied, as the result – new software and methodological solutions were developed.

2. Modified solution of IS development process steps (Fig. 1, Fig.2, Fig.3) and its new conceptions (Fig. 4, Fig. 5) give the following advantages:

new developed software tools allow to design IS look & feel and functioning model;

simultaneous logical and physical design allows to appreciate real abilities and make IS design plans while "Preliminary Design";

IS development stages DB provides:

convenient data structure representation and modernization;

easier error finding and their correction;

- 2 outer subschemas of database structure representation provides:
time & place independence of IS development process;
project parts portability;
3. JBPM mechanisms as the solution for FFT scenarios playing are applied.
4. New software solutions are realized: "FFT Designer" (Modified version of "Designer" [4]) and "Process Execution Core" (Designer and JBPM integration).

REFERENCES

1. G.S. Ivanova, "Programming Technology", Manual for high educational establishments, Moscow National Technical University by N.E. Bauman, 2002, p.320.
2. L.S. Globa, Prof., Dr.Sci.Tech, "Approaches and technologies of creating data-processing resources in the telecommunication environment", Electronics and Communication, p.2, 2005, p.17-24-29.
3. <http://www.jbpm.org>.
4. Prof. L.S. Globa, A. Chekmez, T. Kot, "New Approach to the software development on the EJB-Basis", report in TU Dresden.

АНОТАЦІЇ

УДК 681:3.06

Використання jBPM для моделювання бізнес-процесів в розподілених інформаційних системах / Глоба Л. С., Алексєєв М. О., Молчанов Ю. М. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 3-16; Рис. 7. – Бібл.: -4 назв. (Українською)

Робота присвячена дослідженню досвіду використання jBPM для моделювання бізнес-процесів в розподілених інформаційних системах. Аналіз здійснюється на прикладі організації автоматизованого обміну інформацією між програмним забезпеченням Центрального і регіонального сегментів Чорнобильського банку даних МНС України.

УДК 004.652:519.872

Моделювання багатофазних комплексів зі сталим циклом, що здійснюють обслуговування / Алі Найф Халіл Альхжуж, Ігнатов С. Ю. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 17-24; Рис 2. – Бібл.: 7 назв. (Російською)

В цій роботі розроблено математичну модель багатофазного обслуговуючого комплексу з постійним циклом. Надано визначення збалансованої структури багатофазного обслуговуючого комплексу з постійним циклом. Побудований алгоритм синтезу структури і наведений розрахунок довжини циклу управління.

УДК 519.876.5

Розробка алгоритмів взаємних переходів між Е-сітками та графами часових вірогідностей / Амер Тахсин Саламех Абу-Джассар, Дуравкин Е. В., Семенова Т. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 25-34; Рис. 1. - Бібл.: 6 назв. (Російською)

У статті розглянуто проблему комплексного використання аналітичного моделювання та імітаційної техніки. Е-сітка та граф часових вірогідностей обрані за базові засоби моделювання. Розроблено алгоритми перетворень між імітаційною моделлю (Е-сітка) і аналітичною моделлю (граф часових вірогідностей).

УДК 519.862: 517.977.8

Дискретизація та чисельна ідентифікація диференціально-ігрових моделей макроекономічної динаміки / Васильєв А. А., Назаренко А. М. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 35-46; Табл. 2. – Бібл.: 13 назв. (Російською)

Стаття присвячена питанням математичного моделювання макроекономічних процесів з використанням деяких підходів теорії ігор та гіпотези максимізації

прибутку. Порівнюються прогностичні та дескриптивні властивості дискретних моделей, що отримані різними методами з динамічної моделі диференціально-ігрового типу. Для цих моделей обґрунтовані алгоритми їх ідентифікації методами економетрики. Показана можливість застосування до аналізу макроекономіки розвинутих країн.

УДК 33(075.8)

Визначення обмежень до системи інтеграції інформації з використанням онтологій та приклад реального застосування / Владимиров В. М. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 47-57: Рис. 1. – Табл. 1. – Бібл.: 30 назв. (Російською)

У даній роботі представлена авторська концепція системного підходу до використання онтологій для розв'язку задачі інтеграції розподілених, гетерогенних, фізично автономних інформаційних ресурсів, що дозволила з'ясувати можливість фактичного застосування цього підходу при розробці вимог та проектних рішень у рамках побудови сучасної системи обміну інформацією UnIT-NET IEDI. Результати використані у проектуванні інфраструктури для електронного обміну даними між підприємствами - суб'єктами системи освіти України (ВНЗ, Міністерство освіти України).

УДК 517+681

Псевдодиференціальні рівняння функцій на пласко-паралельних структурах та їх дискретна модель / Гандель Ю.В., Міщенко В.О. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 58-75: Рис. 2. – Бібл.: 19 назв. (Російською)

Дану працю присвячено математичному моделюванню розсіювання електромагнітних хвиль на пласких екранах при наявності діелектричного підґрунтя. Труднощі проблеми пов'язані з кусковою неоднорідністю діелектричного простору, що оточує екран. Методом параметричних інтегральних представлень інтегральних та псевдо диференціальних операторів побудовано систему гіперсингулярних інтегральних рівнянь. Розсіяне поле можна будувати, отримавши розв'язок цієї системи. Задля обчислення розв'язку даної задачі отримано, наслідуючи ідею узагальненого методу замкнених вихрових рамок, дискретну модель вказаної системи.

УДК 681.5:629.39.6

Ефективність обчислень МДО в скалярній задачі 3-вимірної дифракції на екрані, що знаходиться у площині розділу середовищ / Гахов А.В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 76-91: Рис. 10. – Табл. 4. – Бібл.: 22 назв. (Російською)

У роботі розглядається новий обчислювальний метод, який було отримано шляхом застосування методу вихрових замкнених рамок до гіперсингулярного інтегрального рівняння нашої задачі. Використовуючи метод спланованого обчислювального експерименту, було досліджено адекватність отриманого алгоритму та програми, що його реалізує. Описано, яким чином довелося доробляти допоміжні алгоритми з міркувань обчислювальної ефективності. Досліджений ступень ускладнення алгоритму, спричинене урахуванням фізичної різниці середовищ над та під екраном. Зокрема оцінено зміну часової складності обчислень, пов'язаної з таким урахуванням.

УДК 519.6

Модель системи масового обслуговування з відмовами і неординарним вхідним потоком / Городинов В. П. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 92-105: Рис. 3. – Бібл.: 3 назв. (Російською)

Для марковських процесів з безперервним часом і дискретними станами доводиться теорема про умови формування груп станів з метою запису рівнянь для таких груп. Формулюються наслідки теореми для стаціонарного режиму процесів і правило складання рівнянь для груп станів. Правило використовується для отримання аналітичного опису фінальних імовірностей станів моделі системи масового обслуговування з відмовами і неординарним вхідним потоком вимог. Коректність аналітичних виразів перевіряється шляхом їх переходу у відомі формули Ерланга у разі виродження неординарного вхідного потоку в найпростіший

УДК 517+681

Періодичне продовження функцій та рішення рівняння коливання струни в системах символічної математики / Доля П. Г. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 106-116: Рис. 1. – Бібл.: 3 назв. (Російською)

Запропоновані формули періодичного продовження функцій з відрізка на всю дійсну вісь. Вони використовуються при побудові явного рішення першої крайової задачі для одновимірного хвильового рівняння на скінченному відрізку. Наведені формули для підрахунку первісних кусково-неперервних функцій.

УДК 517.968.519.6

Математична модель для розрахунків гофрованого хвилевода на базі сингулярних інтегральних рівнянь та метода дискретних особливостей/ Духопельников С. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 117-133: Рис. 3. – Бібл.: 5 назв. (Російською)

Побудована дискретна математична модель аксіально-симетричної задачі розсіяння монохроматичної електромагнітної хвилі в круглому хвилеводі з скінченим числом розширень заповнених діелектриком. Виведена система сингулярних інтегральних рівнянь. Чисельне рішення цієї системи зроблено методом дискретних особливостей.

УДК 517.958

Розв'язання третьої крайової задачі для рівняння теплопровідності у напівобмеженій області з неоднорідними властивостями середовища / Душкін В. Д. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 134-140. – Бібл.: 4 назв. (Російською)

Розглянуто метод розв'язання рівняння теплопровідності у області, де коефіцієнт температуропровідності не є сталою величиною. Розв'язання початкової третьої крайової задачі зведено до розв'язання системи інтегральних рівнянь Вольтера, яка може бути розв'язана за допомогою методу послідовних ітерацій.

УДК 004.652/942

Побудова схеми реляційної бази даних за нерекурсивною напівсхемою / Житарюк А. Г., Семенова Т. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 141-148: Рис. 1. – Бібл.: 7 назв

У даній статті розглянуто питання моделювання інформаційних систем та підхід до структурування даних засобом напівсхем. Розроблено алгоритм побудови схеми реляційної бази даних за нерекурсивною напівсхемою.

УДК 510.643:519.68

Про можливість розв'язання пропозиційного метричного часового числення РТС(МТ) / Кеберле Н. Г. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 149-159: Табл. 1- Бібл.: 16 назв. (Англійською)

У статті показане пропозиційне метричне часове числення РТС(МТ), яке дозволяє використовувати метричні властивості часу – транзитивність і відстань між моментами часу. Доведено, що РТС(МТ) є розв'язуваним.

УДК 519.21

Об одній імовірнісній моделі теплових режимів радіоапаратури / Клімова Л. В., Петрова А. Ю., Проценко М. А., Черемська Н. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 160-165: - Рис. 2. – Бібл.: 5 назв. (Російською)

Отримано представлення для кореляційної функції рішення рівняння теплопровідності, яке описує тепловий режим у стержні кінцевої довжини, якій

знаходиться під впливом зовнішніх статистично нестаціонарних джерел. Дан чисельний аналіз дисперсії у залежності від просторової координати і часу. Отримані результати можуть бути використані при розрахунках теплових режимах радіоапаратури, яка знаходиться під впливом зовнішніх нестаціонарних флуктуацій.

УДК 681.2.002:536.2:536.42

Алгоритм формування нечітких експертних правил для вибору методів обробки поверхонь деталей / Лапа М. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 166-173: Рис. 5. – Табл. 2. – Бібл.: 9 назв. (Російською)

Розробка та використання систем гнучкого автоматизованого проектування технологічних процесів з елементами штучного інтелекту передбачає створення конструкторсько-технологічної бази знань підприємства з використанням нечітких експертних правил. В статті розглядається алгоритм, що дозволяє формувати нечіткі експертні правила для вибору методів обробки поверхонь деталей з використанням довідників бази даних підприємства.

УДК 517.968.519.6

Чисельний аналіз спектру відкритого циліндричного резонатору скінченної висоти / Мітіна І. В. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 174-185: Рис. 4. – Табл. 2. – Бібл.: 6 назв. (Російською)

В роботі запропоновано два підходи до чисельного аналізу циліндричних резонаторів скінченної висоти. Проведено аналіз зв'язку з двовимірною задачею. Отримані чисельні результати, які ілюструють можливості методів.

УДК 681.5.015 : 628.16.048

Математичне моделювання перехідних режимів роботи опріснювальної установки індивідуального користування / Плешков О. О., Угрюмов М. Л. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 186-194: Рис. 7. – Табл. 2. – Бібл.: 7 назв. (Російською)

У цій статті застосовано системний підхід до математичного опису перехідних процесів, що відбуваються в елементах опріснювальної установки персонального користування. Проведено аналіз обчислених результатів математичного моделювання роботи такої установки.

УДК 681:3.06

Стандартна та пропонується моделі інтеграції інформаційних систем / Чекмез А. Б., Глоба Л. С., Кот Т. М. // Вісник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування", вип. 6. – С. 195-203: Рис. 5. – Бібл.: 4 назв (Англійською)

Стаття вміщує порівняльний аналіз стандартних та пропонується нових логічних етапів розробки інформаційних систем (ИС), а також інтеграції цих етапів з метою створення нового CASE-інструментарію для підтримки для підтримки високоякісної розробки ІС у найбільш стиснутий термін. В роботі репрезентовані деякі нові та фундаментальні підходи, а також специфічні концепції розробки ІС. Запропоновані програмні розв'язки були тестовані за допомогою проведення реального експерименту, в наслідок чого з'явилися нові програмні розв'язки. В статті також наведено опис програмного інструментарію.

АННОТАЦИИ

УДК 681:3.06

Использование jBPM для моделирования бизнес-процессов в распределенных информационных системах / Глоба Л. С., Алексеев Н. А., Молчанов Ю. Н. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 3-16: Рис. 7. – Библ.: – 4 назв. (на украинском)

Работа посвящена исследованию применений jBPM в моделировании бизнес-процессов в распределенных информационных системах. Анализ проводится на примере организации автоматизированного обмена информацией между программным обеспечением Центрального и регионального сегментов Чернобыльского банка данных МЧС Украины.

УДК 004.652:519.872

Моделирование многофазных обслуживающих комплексов с постоянным циклом / Али Найф Халил Альхжуж, Игнатов С. Ю. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 17-24: Рис 2. – Библ.: 7 назв. (на русском)

В настоящей работе предлагается общая математическая модель многофазного обслуживающего комплекса с постоянным циклом. Показано, как в терминах этой модели могут быть сформулированы задачи проектирования цифровых управляющих систем и производственных систем дискретного типа с постоянным циклом обслуживания. Приведено определение сбалансированной структуры многофазного обслуживающего комплекса с постоянным циклом. Построен алгоритм синтеза структуры и приведен расчёт длительности цикла управления.

УДК 519.876.5

Разработка алгоритмов перехода между Е-сетями и вероятностно-временными графами / Амер Тахсин Саламех Абу-Джассар, Дуравкин Е. В., Семенова Т. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 25-34: Рис. 1. – Библ.: 6 назв. (на русском)

В статье рассмотрена проблема комплексного использования аналитического моделирования и техники имитации. В качестве базовых средств моделирования выбраны Е-сеть и вероятностно-временной граф. Разрабатываются алгоритмы переходов между имитационной моделью (Е-сеть) и моделью аналитической (вероятностно-временной граф).

УДК 519.862: 517.977.8

Дискретизация и численная идентификация дифференциально-игровых моделей макроэкономической динамики / Васильев А. А., Назаренко А. М. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 35-46: Табл. 2. – Библ.: 13 назв. (на русском)

Статья посвящена вопросам математического моделирования макроэкономических процессов с использованием некоторых подходов теории игр и гипотезы максимизации прибыли. Сравниваются прогностические и дескриптивные свойства дискретных моделей, которые получены разными методами из динамической модели дифференциально-игрового типа. Для этих моделей обоснованы алгоритмы их идентификации эконометрическими методами. Показана возможность приложения к анализу макроэкономики развитых стран.

УДК 33(075.8)

Определение ограничений к системе интеграции информации с использованием онтологий и пример реального приложения / Владимир В. Н. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 47-57: Рис. 1. – Табл. 1. – Библ.: 30 назв. (на русском)

В данной работе представлена авторская концепция системного подхода к использованию онтологий для решения задачи интеграции распределенных, гетерогенных, физически автономных информационных ресурсов, позволившая выяснить фактическую применимость этого подхода при разработке требований и проектных решений в рамках создания современной системы обмена информацией UniT-NET IEDI. Результаты применены в проектировании инфраструктуры для электронного обмена данными между организациями - участниками системы образования Украины (ВУЗы, Министерство Образования Украины).

УДК 517+681

Псевдодифференциальные уравнения электромагнитной дифракции на плоскопараллельной структуре и их дискретная модель / Гандель Ю.В., Мищенко В.О. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 58-75: Рис. 2. – Библ.: 19 назв. (на русском)

Работа посвящена вопросам математического моделирования рассеяния электромагнитных волн на плоском экране, лежащем на диэлектрической подложке. Сложность задачи объясняется кусочной неоднородностью окружающего экран пространства. Методом параметрических представлений интегральных и псевдодифференциальных операторов строится система гиперсингулярных интегральных уравнений. Рассеянное поле можно строить, решив эту систему. Для того, чтобы решать данную задачу численно, получена,

следуя идее обобщенного метода замкнутых вихревых рамок, дискретная модель указанной системы

УДК 681.5:629.39.6

Эффективность вычислений МДО в скалярной задаче 3-мерной дифракции на экране, лежащем в плоскости раздела сред / Гахов А.В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 76-91: Рис. 10. – Табл. 4. – Библ.: 22 назв. (на русском)

В работе исследуется новый численный метод приближенного решения указанной дифракционной задачи. Он получен с помощью обобщенного метода замкнутых вихревых рамок, который применяется к гиперсингулярному интегральному уравнению задачи. Используя планируемый вычислительный эксперимент, изучалась адекватность и эффективность полуденного алгоритма и программы, которая его реализует. Описана доработка вспомогательных алгоритмов, которая потребовалась из соображений вычислительной эффективности. Исследовано усложнение алгоритма, спровоцированное учётом в постановке задачи различия сред над и под экраном. В частности, изучено изменение временной сложности вычислений, связанное с таким учётом.

УДК 519.6

Модель системы массового обслуживания с отказами и с неординарным входным потоком / Городнов В.П. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 92-105: Рис. 3. – Библ.: 3 назв. (на русском)

Для марковских процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями доказывается теорема об условиях формирования групп состояний с целью записи уравнений для таких групп. Формулируются следствия теоремы для стационарного режима процессов и правило составления уравнений для групп состояний. Правило используется для получения аналитического описания финальных вероятностей состояний модели системы массового обслуживания с отказами и неординарным входным потоком требований. Корректность аналитических выражений проверяется путем их перехода в известные формулы Эрланга в случае вырождения неординарного входного потока в простейший.

УДК 517+681

Периодическое продолжение функций и решение уравнения колебаний струны в системах символьной математики / Доля П.Г. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 106-116: Рис. 1. – Библ.: 3 назв. (на русском)

Предложены формулы периодического продолжения функции с отрезка на всю вещественную ось. Они используются при построении явного решения первой краевой задачи для одномерного волнового уравнения на конечном отрезке. Приведены формулы для вычисления первообразных кусочно-непрерывных функций.

УДК 517.968.519.6

Математическая модель для расчета гофрированного волновода на базе сингулярных интегральных уравнений и метода дискретных особенностей / Духопельников С.В. // Вестник Хark. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 117-133: Рис. 3. – Библ.: 5 назв. (на русском)

Построена дискретная математическая модель аксиально-симметричной задачи рассеяния монохроматической электромагнитной волны в круглом волноводе с конечным числом расширений заполненных диэлектриком. Выведена система сингулярных интегральных уравнений. Численное решение этой системы произведено методом дискретных особенностей.

УДК 517.958

Решение третьей краевой задачи для уравнения теплопроводности в полубесконечной области с неоднородными свойствами среды. / Душкин В. Д. // Вестник Хark. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 134-140. – Библ.: 4 назв. (на русском)

Рассматривается метод решения уравнения теплопроводности в области, где коэффициент температуропроводности не является постоянной величиной. Решение исходной третьей краевой задачи сводится к решению интегрального уравнения Вольтера, которое может быть решено методом последовательных итераций.

УДК 004.652/942

Построение схемы реляционной базы данных по нерекурсивной полусхеме / Житарюк А. Г., Семенова Т. В. // Вестник Хark. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 141-148: Рис. 1. – Библ.: 7 назв. (на русском)

В настоящей статье рассмотрены вопросы моделирования информационных систем и подход к моделированию данных с использованием полусхем. Разработан алгоритм построения схемы реляционной базы данных по нерекурсивной полусхеме.

УДК 510.643:519.68

О разрешимости пропозиционального метрического временного исчисления РТС(МТ) / Кеберле Н. Г. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 149-159: Табл. 1. – Библ.: 16 назв. (на английском)

В статье представлено пропозициональное метрическое временное исчисление РТС(МТ), которое позволяет использовать метрические свойства времени – транзитивность и расстояние между моментами времени. Показана разрешимость РТС(МТ).

УДК 519.21

Об одной вероятностной модели тепловых режимов радиоаппаратуры / Климова Л. В., Петрова А. Ю., Проценко М. А., Черемская Н. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 160-165: - Рис. 2. – Библ.: 5 назв. (на русском)

Получено представление для корреляционной функции решения уравнения теплопроводности, описывающего тепловой режим в стержне конечной длины, находящегося под воздействием внешних статистически нестационарных источников. Дан численный анализ дисперсии в зависимости от пространственной координаты и времени. Полученные результаты могут быть использованы при расчете тепловых режимов радиоаппаратуры, находящейся под воздействием внешних нестационарных флуктуаций.

УДК 681.2.002:536.2:536.42

Алгоритм формирования нечетких экспертных правил для выбора методов обработки поверхностей деталей / Лапа М.В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 166-173: Рис. 5. – Табл. 2. – Библ.: 9 назв. (на русском)

Разработка и использование систем гибкого автоматизированного проектирования технологических процессов с элементами искусственного интеллекта предполагает создание конструкторско-технологической базы знаний предприятия с использованием нечетких экспертных правил. В статье рассматривается алгоритм, позволяющий формировать нечеткие экспертные правила для выбора методов обработки поверхностей детали с использованием справочников базы данных предприятия.

УДК 517.968.519.6

Численный анализ спектра открытого цилиндрического резонатора конечной высоты / Митина И. В. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 174-185: Рис. 4. – Табл. 2. – Библ.: 6 назв. (на русском)

В работе предложены два подхода к численному анализу цилиндрических резонаторов конечной высоты. Проведен анализ связи с двумерной задачей. Получены численные результаты, иллюстрирующие возможности методов.

УДК 681.5.015 : 628.16.048

Математическое моделирование переходных режимов работы
опреснительной установки индивидуального пользования / Плешков А. А.,
Угрюмов М. Л. // Вестник Харк. нац. ун-та, – 2006. – № 733. Сер.
«Математическое моделирование. Информационные технологии.
Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 186-194: Рис. 7. –
Табл. 2. – Библ.: 7 назв. (на русском)

В данной работе представлен системный подход к математическому описанию переходных процессов, протекающих в элементах опреснительной установки индивидуального пользования. Проведен анализ результатов численного моделирования работы этой опреснительной установки.

УДК 681:3.06

Стандартная и предлагаемая модели интеграции этапов разработки информационных систем / Чекмез А. Б., Глоба Л. С., Кот Т. М. // Вестник Харк. нац. ун-та., – 2006. – № 733. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления», вып. 6. – С. 195-203: Рис. 5. – Библ.: 4 назв. (на английском)

Статья содержит сравнительный анализ стандартных и предложенных новых логических этапов разработки информационных систем (ИС), а также интеграцию этих этапов с целью создания нового CASE-инструментария для поддержки высококачественной разработки ИС в кратчайшие сроки. В работе представлены некоторые новые и фундаментальные подходы, а также специфические концепции разработки ИС. Предложенные программные решения были тестированы с помощью проведения реального эксперимента, в результате которого появились новые программные решения. В статье также описан разработанный программный инструментарий.

ANNOTATIONS

Using of jBPM for business-process management of the distributed information telecommunication systems / Alekseev N. A., Globa L. S., Molchanov Y. M. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 3-16: Pic. 7. – Ref.: 4 titles (In Ukrainian)

Using of jBPM for business-process management of the distributed information telecommunication systems is investigated. The research is based on the experience of organizing the automated information interchange between the software of Central and regional segments of the Chernobyl database of the Ministry of Emergency of Ukraine.

The mathematical modeling of the multiphase service complexes with the constant cycle / Ali Neif Halil Alchugug, Ignatov S. Yu. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 17-24: Pic 2. – Ref.: 7 titles (In Russian)

The problem of the mathematical modeling of the multiphase service complexes with the constant cycle is considered in the present paper. The mathematical model and the algorithm of the structure synthesis of the multiphase service complexes with the constant cycle have been built as a result. The period (length of cycle) of the requests service for such complexes was developed too.

Development of translation algorithms between E-nets and probabilistic time graphs / Amer Tarsin Salameh Abu-Dzhassar, Duravkin E.V., Semyonova T.V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 25-34: Pic. 1. - Ref.: 6 titles (In Russian)

In article the problem of complex using of analytical modeling and simulation technique is considered. E-net and probabilistic time graph are selected as basic tools of modeling. Translation algorithms between simulation model (E-net) and analytic model (probabilistic time graph) are developed.

Macroeconomic dynamic differential-games models discretization and numeral identification / Vasil'ev A.A., Nazarenko A.M. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 35-46: Табл. 2. – Ref.: 13 titles (In Russian)

The article deals with mathematical modeling of macroeconomic processes using some approaches of game theory and profit maximization hypothesis. Prognostic and descriptive characteristics of discrete models, obtained by various methods from differential-game dynamic model, are compared. Algorithms to identify these models with the help of econometric methods are substantiated. It is possible to use them analyzing macroeconomics of the developed countries.

The ontology-based approach to developing of system implementation restrictions on integration of information sources and the real application example / Vladimirov V. N. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 47-57: Pic. 1. – Табл. 1. – Ref.: 30 titles (In Russian)

In this article we consider existing ontology-based approaches to the integration of autonomous, distributed and heterogeneous information sources. We identify similar pitfalls for this domain and consider existing solutions for them. Basing on these solutions, we propose possible system implementation restrictions to make possible development of framework of intelligent ontology-driven information retrieval from distributed, heterogeneous, legally and physically autonomous IR in the frame of the organizational network of the National Higher Education System.

Pseudo-differential equations of electromagnetic diffraction on a plane-parallel structure and their discrete model / Gandel Yu. V., Mishchenko V. O. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 58-75: Pic. 2. –Ref.: 19 titles (In Russian)

We had devoted the presenting work to the mathematical modeling of the electromagnetic wave scattering on flat screens in the presence of dialectical underground. The problem difficulty lies with the non-homogeneous nature of the space that surrounding screen. The system of hyper-singular integral equations was built by the method of parametrical representations of integral and pseudo-differential transformations. We can find the scattered field by solving this system. To solve such tasks numerically we succeeded to a generation of the discrete closed wind frames method to build the discrete model.

Efficiency of calculations by DSM in the 3d scalar diffraction problem on the screen placed in the media division plane / Gahov A.V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 76-91: Pic. 10. – Табл. 4. – Ref.: 22 titles (In Russian)

This paper investigated the new numerical method. This one obtained by the application of the generated discrete closed wind frames method to the hypersingular integral equation of this problem. Using method of planned computing experiment, we showed the adequacy of the developing algorithm and the realizing program. We estimated that reinforcement of the model which is connected with the physical difference of media upper and lower of the screen. We estimated the time complexity of calculations too.

A queue system model with refusals and unordinary entry aspirations stream / Gorodnov V. P. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 92-105: Pic. 3. – Ref.: 3 titles (In Russian)

For markovian processes with continuous time and discrete states the theorem about conditions of states groups forming for the purpose of equations record for such groups is proved. Theorem outcome for process CW operation and groups stations equation forming regulation are formulated. Regulation is used for deducing analytic description of final probabilities of states for queue system model with refusals and unordinary entry aspirations stream. An analytic formula correctness is verified by the way of their transition into known Erlang formulas in the case of unordinary entrance stream degeneration into simple stream.

Periodic continuation of functions and solution of the string vibration equation in systems of symbol mathematics / Dolya P. G. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 106-116: Pic. 1. – Ref.: 3 titles (In Russian)

The formulas of periodic extension of function from segment to full real axis are proposed. They are used to construction of an explicit solution of the first boundary value problem for the one-dimensional wave equation for the finite string. Formulas of primitives of piecewise continuous functions are given.

Mathematical model for calculation the corrugated waveguide on the basis of the singular integral equations and the method of discrete singularities / Dukhopelnikov S. V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 117-133: Pic. 3. – Ref.: 5 titles (In Russian)

The discrete mathematical model of axially symmetrical diffraction problem for a monochromatic wave in a round waveguide with a finite number of fill in dielectric extensions was constructed. The system of singular integral equations are derived. The numerical solution of these systems was performed by the method of discrete singularities.

The Third Boundary-value Problem Solution for the Heat Conductivity Equation in the Semi-bounded Domain with Non-homogeneous Properties of Medium / Dooshkin V. D. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 134-140. – Ref.: 4 titles (In Russian)

The method of heat conductivity equation solution is considered in the domain where the coefficient of heat diffusivity is non-constant. The solution of initial third boundary-value problem was reduced to the solution of the Volterra integral equation. This equation can be solved by the of consecutive iterations method.

Relational database structure building by non-recursive scheme / Zhytaryuk A. G., Semyonova T. V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 92-105: Pic. 3. – Ref.: 3 titles (In Russian)

Automated Control Systems», Issue 6.– P. 141-148: Pic. 1. – Ref.: 7 titles (in Russian)

In the present paper the problem of the information system modeling and the approach to the data modeling using the scheme was considered. The algorithm of relational database structure building by non-recursive scheme was developed.

On the Decidability of Propositional Metric Temporal Calculus PTC(MT) / Keberle N. G. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 149-159: Табл. 1- Ref.: 16 titles (In English)

The paper presents propositional metric temporal calculus PTC(MT) dealing with metric properties of time – transitivity and distance between time points. It is shown that PTC(MT) is decidable.

On a probabilistic model of thermal modes of radio equipment / Klimova L. V., Petrova A. Y., Protsenko M. A., Cheremskaya N. V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 160-165: – Pic. 2. – Ref.: 5 titles (In Russian)

The representation for correlation function of the solution of a thermal conduction equation describing thermal mode in a finite length rod which is under effect of exterior statistically non-stationary sources is obtained. The numerical analysis of a dispersion depending on spatial coordinate and time is given. The obtained results can be used at calculation of thermal modes of radio equipment which is under effect of exterior non-stationary fluctuations.

Algorithm of the forming of fuzzy expert rules for a choice of the methods of the processing the surfaces of the details / Lapa M.V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 166-173: Pic. 5. – Табл. 2. – Ref.: 9 titles (In Russian)

Development and using of systems of flexible automated design of production processes with elements of an artificial intellect assumes creation of technological base of knowledge of the enterprise with use of fuzzy expert rules. In article the algorithm is considered, allowing forming fuzzy expert rules for a choice of surfaces processing methods with use of reference database of the enterprise.

The numerical analysis of the finite-size open cylindrical resonators spectrum / Mitina I. V. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 174-185: Pic. 4. – Табл. 2. – Ref.: 6 titles (In Russian)

Two approaches to the numerical analysis of the finite-size open cylindrical resonators are suggested in the paper. The analysis of connection with the two-

dimensional problem is performed. The results of numerical experiments illustrating possibilities of the methods are obtained.

Mathematical modeling of transient processes at elements of distiller for individual usage / Pleshkov A. A., Ugryumov M. L. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 186-194: Pic. 7. – Табл. 2. – Ref.:7 titles (In Russian)

This article presents the system approach to the mathematical description of the transient processes in the water distiller assigned for individual usage. The results analysis of numerical distiller modeling is carry out.

Standard and suggested information system development stages integration / Chekmez A. B., Globa L. S., Kot T. M. // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, – 2006. – № 733. Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems», Issue 6.– P. 195-203: Pic. 5. – Ref.: 4 titles (In English)

The paper deals with the comparison of standard and new suggested information system (IS) development logical stages. But not only comparison, and also the standard and suggested stages joining to design new CASE-tool for supporting high quality IS development in the shortest terms. The work includes some new and fundamental approaches and suggested specific concepts to IS development. Suggested software solutions have been tested by real experiment execution. As the result of it additional software solutions appeared. The designed software tools are also represented in the article

ЗМІСТ

▪ М. О. Алексеев, Л. С. Глоба, Ю. М. Молчанов	3
Використання jBPM для моделювання бізнес-процесів в розподілених інформаційних системах	
▪ Али Найф Халил АльХжуж, С. Ю. Игнатов	17
Моделирование многофазных обслуживающих комплексов с постоянным циклом	
▪ Амер Тахсин Саламех Абу-Джассар, Е. В. Дуравкин, Т. В. Семенова	25
Разработка алгоритмов перехода между Е-сетями и вероятностно-временными графами	
▪ А. А. Васильев, А. М. Назаренко.	35
Дискретизация и численная идентификация дифференциально-игровых моделей макроэкономической динамики	
▪ В. Н. Владимиров	47
Определение ограничений к системе интеграции информации с использованием онтологий и пример реального приложения	
▪ Ю. В. Гандель, В. О. Мищенко	58
Псевдодифференциальные уравнения электромагнитной дифракции на плоскопараллельной структуре и их дискретная модель	
▪ А. В. Гахов	76
Эффективность вычислений МДО в скалярной задаче 3-мерной дифракции на экране, лежащем в плоскости раздела сред	
▪ В. П. Городнов	92
Модель системы массового обслуживания с отказами и с неординарным входным потоком	
▪ П. Г. Доля	106
Периодическое продолжение функций и решение уравнения колебаний струны в системах символьной математики	
▪ С. В. Духопельников.	117
Математическая модель для расчета гофрированного волновода на базе сингулярных интегральных уравнений и метода дискретных особенностей	
▪ В. Д. Душкин	134
Решение третьей краевой задачи для уравнения теплопроводности в полубесконечной области с неоднородными свойствами среды	
▪ А. Г. Житарюк, Т. В. Семенова.	141
Построение схемы реляционной базы данных по нерекурсивной полусхеме	
▪ N. G. Keberle.	149
On the Decidability of Propositional Metric Temporal Calculus PTC(MT)	
▪ Л. В. Климова, А. Ю. Петрова, М. А. Проценко, Н. В. Черемская ...	160
Об одной вероятностной модели тепловых режимов радиоаппаратуры	
▪ М. В. Лапа.	166
Алгоритм формирования нечетких экспертных правил для выбора методов обработки поверхностей деталей	
▪ И. В. Митина.	174
Численный анализ спектра открытого цилиндрического резонатора конечной высоты	

▪ Плешков А.А., Угрюмов М.Л.	186
Математическое моделирование переходных режимов работы опреснительной установки индивидуального пользования	
▪ Chekmez A.B., Globa L.S., Kot T. M.	195
Standard and suggested information system development stages integration	
АНОТАЦІЇ	204
АННОТАЦИИ	210
ANNOTATIONS	216
ЗМІСТ.	221
CONTENTS.	223

CONTENTS

▪ N. A. Alekseev, L. S. Globa, Y. M. Molchanov.	3
Using of jBPM for business-process management of the distributed information telecommunication systems	
▪ Ali Neif Halil Alchug, S. Yu. Ignatov.	17
The mathematical modeling of the multiphase service complexes with the constant cycle	
▪ Amer Tarsin Salameh Abu-Dzhassar, E.V.Duravkin, T. V.Semyonova.	25
Development of translation algorithms between E-nets and probabilistic time graphs	
▪ A. A. Vasil'ev, A. M. Nazarenko.	35
Macroeconomic dynamic differential-games models discretization and numeral identification	
▪ V. N. Vladimirov.	47
The ontology-based approach to developing of system implementation restrictions on integration of information sources and the real application example	
▪ Yu.V.Gandel, V. O. Mishchenko.	58
Pseudo-differential equations of electromagnetic diffraction on a plane-parallel structure and their discrete model	
▪ A. V. Gahov.	76
Efficiency of calculations by DSM in the 3d scalar diffraction problem on the screen placed in the media division plane	
▪ V. P.Gorodnov.	92
A queue system model with refusals and unordinary entry aspirations stream /	
▪ P. G. Dolya	106
Periodic continuation of functions and solution of the string vibration equation in systems of symbol mathematics	
▪ S. V. Dukhopelnikov.	117
Mathematical model for calculation the corrugated waveguide on the basis of the singular integral equations and the method of discrete singularities /	
▪ V. D. Dooshkin.	134
The Third Boundary-value Problem Solution for the Heat Conductivity Equation in the Semi-bounded Domain with Non-homogeneous Properties of Medium	
▪ A. G. Zhytaryuk, T. V. Semyonova.	141
Relational database structure building by non-recursive scheme	
▪ N. G. Keberle.	149
On the Decidability of Propositional Metric Temporal Calculus <i>PTC(MT)</i> .	
▪ L. V. Klimova, A. Y. Petrova, M. A. Protsenko, N. V. Cheremska.	160
On a probabilistic model of thermal modes of radio equipment	
▪ M.V. Lapa.	166
Algorithm of the forming of fuzzy expert rules for a choice of the methods of the processing the surfaces of the details	
▪ I. V. Mitina.	174
The numerical analysis of the finite-size open cylindrical resonators spectrum	
▪ A. A. Pleshkov, M. L.Ugryumov.	186
Mathematical modeling of transient processes at elements of distiller for individual usage	
▪ L.S.Globa, A. B.Chekmez, T. M.Kot.	195
Standard and suggested information system development stages	

ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

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

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

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

ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Серия «Математическое моделирование. Информационные
технологии. Автоматизированные системы управления»**

Выпуски 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 и управляющего назначения, приложения математического моделирования и системного анализа в высоких, наукоёмких технологиях, включая технологии создания программной продукции. Принимаются работы, относящиеся к направлениям физико-математических и технических наук (желательный объем 6-18 страниц). Все рукописи рецензируются.

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

Збірник наукових праць

Вісник Харківського національного університету

№733

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

Підписано до друку 03.07.2006 р.

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

Умовн. – друк. арк. – 17.6

Обл. – вид. арк. – 20.5

Наклад 100 прим.

Ціна договірна

61077, м. Харків, пл. Свободи, 4

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна.

Видавничий центр

25-58

надруковано ФОП «Петрова І.В.»

61144 Харків-144, вул. Гв.Широнінців, 79, к.137

Свідectво про державну реєстрацію ВОО №948011 від 03.01.03

