

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

"Информатика и моделирование", № 17

36'2011

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.;

Л.М. Бесов, д-р ист. наук, проф.;

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.;

В.В. Елифанов, канд. техн. наук, проф.;

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.;

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.;

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.;

Е.В. Рогожкин, д-р техн. наук, проф.;

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;

М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.;

Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.;

Е.Г. Жилияков, д-р техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

Н.И. Корсунов, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Носков, д-р техн. наук, проф.;

И.И. Обод, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.;

А.А. Серков, д-р техн. наук, проф.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ".

Каф. ВТП, тел. (057)-707-61-65

Харьков 2011

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – № 36. – 205 с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. № 1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України № 6, 2010 р., стор. 3, № 20).

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 8 від 02 вересня 2011 р.

© Національний технічний університет "ХПІ"

ISSN 2079-0031



50-летию

*КАФЕДРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ПРОГРАММИРОВАНИЯ*

*НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА*

"ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

ПОСВЯЩАЕТСЯ

А.Ф. ВЕРЛАНЬ, д.т.н., Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев,
Б.А. ХУДАЯРОВ, д.т.н., Ташкентский институт ирригации и мелиорации, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
Э.Ф. ФАЙЗИБОВЕВ, проф., Ташкентский институт ирригации и мелиорации, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
З.У. ЮЛДАШЕВ, ст. преп., Ташкентский институт ирригации и мелиорации, г. Ташкент, Республика Узбекистан

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧЕ О ФЛАТТЕРЕ ВЯЗКОУПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ, ОБТЕКАЕМОЙ ПОД ПРОИЗВОЛЬНЫМ УГЛОМ В ПОТОКЕ ГАЗА

Рассмотрены нелинейные колебания вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций в потоке газа. Разработаны методика и алгоритм численного решения интегро-дифференциальных уравнений. Определены критические скорости флаттера пластин в потоке газа. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: вязкоупругая пластина, алгоритм, интегро-дифференциальное уравнение, флаттер.

Постановка задачи и анализ литературы. В настоящее время композиционные материалы, обладающие ярко выраженными вязкоупругими свойствами, широко применяются в авиационной промышленности и многих других отраслях машиностроения. Эти отрасли получили легкие, изящные и экономичные тонкостенные конструкции, для которых роль расчетов на устойчивость в общем цикле прочностных расчетов резко возросла. В связи с этим наследственная теория вязкоупругости привлекает к себе все большее внимание исследователей. Об этом свидетельствует выход в свет за последние годы ряда научных работ, в которых отражены последние достижения теории вязкоупругости. Возрастающий интерес к этой теории объясняется развитием вычислительной техники, позволяющей достоверно сравнить вычислительный эксперимент, полученный на основе математических моделей, с натурным экспериментом. Следует отметить, что использование традиционных материалов в самолетостроении позволяло применять математические модели, которые уже сейчас можно называть упрощенными, не учитывающими в полной мере свойств вязкоупругости и других эффектов. Данные эффекты наиболее значительно проявляются в условиях сверхзвуковых потоков воздуха или жидкости, т.е. при

высоких скоростях, которые приводят к возникновению эффекта флаттера.

Одно из основных затруднений для полного понимания явления сверхзвукового панельного флаттера состоит в том, что критическая скорость панельного флаттера зависит от большого числа параметров. В настоящее время трудность выделения многих из этих факторов при экспериментальном исследовании не позволяет получить удовлетворительного соответствия между экспериментальными и теоретическими результатами. Имеются обзоры исследованных задач: обширная библиография приведена у Фына [1], Эйсли, Льюэсен [2], Вентрес, Дауэлла [3]. Оказывается, что чувствительность скорости флаттера к таким факторам, как угол обтекания до сих пор является неполной.

В связи с этим **целью данной статьи** и является теоретическое исследование нелинейного флаттера вязкоупругих пластин, обтекаемых под произвольным углом. Акцент сделан на сопоставление результатов с ранее полученными известными результатами.

Рассмотрим задачу о колебаниях гибкой наследственно-деформируемой прямоугольной пластинки со сторонами a и b , движущейся в газе с большой сверхзвуковой скоростью V (рис. 1). Полагая, что зависимость между напряжениями и деформациями для материала пластинки линейно наследственная, используется упрощенная модель гибких пластин, а сила аэродинамического воздействия записывается согласно линеаризованной поршневой теории [4], получим уравнение Бергера для описания нелинейных колебаний тонкой изотропной пластинки в следующем виде:

$$D(1-R^*)\Delta^2 w - D_1 \Delta w (1-R^*) J_1(t) + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + B \frac{\partial w}{\partial t} + BV(\vec{n}_0 \cdot \text{grad } w) = 0, \quad (1)$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость; h – толщина пластинки;

E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; w – прогиб пластинки;

$D_1 = \frac{Eh}{2ab(1-\mu^2)}$; ρ – плотность материала; $B = \frac{\aleph p_\infty}{V_\infty}$; $\aleph$ – показатель

политропы газа; p_∞ , V_∞ – соответственно давление и скорость звука в

невозмущенном потоке газа; $J_1(t) = \int_0^a \int_0^b \left[\left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy$;

$\vec{n}_0 = (\cos\theta, \sin\theta)$; θ – угол обтекания; $R^* \varphi(t) = \int_0^t R(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau$;

$R(t-\tau) = A \cdot \exp(-\beta(t-\tau)) \cdot (t-\tau)^{\alpha-1}$, $A > 0$, $\beta > 0$, $0 < \alpha < 1$; t – время наблюдения; τ – предшествующее моменту наблюдения время.

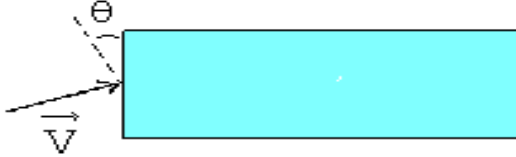


Рис. 1. Обтекание пластинки под произвольным углом

В уравнение (1) введем безразмерные координаты $x = a\bar{x}$, $y = b\bar{y}$, $t = t_1\bar{t}$, $(t_1^2 = \rho h a^4 / D)$ и $w = h\bar{w}$, сохранив за координатами прежние обозначения. В безразмерных координатах уравнение (1) примет вид

$$(1 - R^*) \Delta^2 w - \Delta w (1 - R^*) \bar{J}(t) + a_2 M^* (\vec{n}_0 \cdot \text{grad} w) + a_1 \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (2)$$

где $\Delta^2 = w_{xxxx} + 2\lambda^2 w_{xxyy} + \lambda^4 w_{yyyy}$; $\lambda = a/b$; $\Delta w = w_{xx} + \lambda^2 w_{yy}$; $a_1 = p_0 \S a^4 / (V_\infty D_0 t_1)$; $a_2 = p_0 \S a^3 / D_0$; $\text{grad} w = (w_x, \lambda w_y)$; $\bar{J}(t) = \int_0^1 \int_0^1 [(w_x)^2 + \lambda^2 (w_y)^2] dx dy$.

Решение уравнения (2) будем искать с помощью метода Бубнова-Галеркина. Пусть $\{\varphi_{nm}(x, y)\}$ – полная последовательность координатных функций, удовлетворяющих краевым условиям. Подставляя в (2) ряд

$$w(x, y, t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M w_{nm}(t) \varphi_{nm}(x, y) \quad (3)$$

и выполняя известную процедуру метода Бубнова-Галеркина, получим:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left\{ N_{klmn} \left(\ddot{w}_{nm} + a_1 \dot{w}_{nm} \right) + A_{klmn} (1 - R^*) w_{nm} + \right. \\ & \left. + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M G_{klmn} w_{nm} + \sum_{n,i,j=1}^N \sum_{m,r,s=1}^M D_{klmirs} w_{nm} (1 - R^*) w_{ir} w_{js} \right\} = 0, \quad (4) \end{aligned}$$

$$k = \overline{1, N}; \quad l = \overline{1, M},$$

где N_{klmn} , A_{klmn} , G_{klmn} , D_{klmn} , $\bar{J}_{irjs}$ – безразмерные параметры.

Начальные условия для системы уравнений (4) принимают вид

$$w_{nm}(0) = \alpha_{nm}, \quad \dot{w}_{nm}(0) = \beta_{nm}, \quad (5)$$

где α_{nm} , β_{nm} – известные константы.

Системы нелинейных ИДУ (4) решаются численно с помощью метода, предложенного в [5]. Для этого запишем эту систему в интегральной форме и с помощью рационального преобразования исключим слабо-сингулярные особенности интегрального оператора R^* . Полагая затем $t = t_i$, $t_i = i\Delta t$, $i = 1, 2, \dots$ ($\Delta t = const$) и заменяя интегралы некоторыми квадратурными формулами для вычисления $w_{nm} = w_{nm}(t)$, получим следующее рекуррентное соотношение:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M N_{klmn} w_{pnm} = & \frac{1}{1 + A_p a_1} \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M N_{klmn} \left\langle w_{0nm} + (\dot{w}_{0nm} + a_1 w_{0nm}) t_p \right\rangle - \right. \\ & - \sum_{j=0}^{p-1} A_j \left(a_1 \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M N_{klmn} w_{jnm} - (t_p - t_j) \left[\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M G_{klmn} w_{jnm} + \right. \right. \\ & + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{klmn} \left(w_{jnm} - \frac{A}{\alpha} \sum_{s=0}^j B_s \exp(-\beta t_s) w_{j-s,nm} \right) + \\ & \left. \left. + \sum_{n,i,j_1=1}^N \sum_{m,r,s_1=1}^M D_{klmn} w_{jnm} \left(w_{jir} w_{j_1 s_1} - \frac{A}{\alpha} \sum_{s=0}^j B_s \exp(-\beta t_s) w_{j-s,ir} w_{j-s,j_1 s_1} \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$p = 1, 2, \dots; \quad n = \overline{1, N}; \quad m = \overline{1, M},$$

где A_j , B_s – числовые коэффициенты применительно к квадратурным формулам трапеции:

$$\begin{aligned} A_0 = \frac{\Delta t}{2}; \quad A_j = \Delta t; \quad j = \overline{1, i-1}; \quad A_i = \frac{\Delta t}{2}; \quad B_s = \frac{\Delta t^\alpha ((s+1)^\alpha - (s-1)^\alpha)}{2}; \\ B_0 = \frac{\Delta t^\alpha}{2}; \quad s = j; \quad B_j = \frac{\Delta t^\alpha (j^\alpha - (j-1)^\alpha)}{2}. \end{aligned}$$

Алгоритм (6) достаточно общий и он пригоден к задачам флаттера как для идеально упругих, так и для наследственно-деформируемых гибких пластин, в принципе при различных граничных условиях.

В качестве примера рассмотрим задачу о флаттере шарнирно опертых прямоугольных пластин в сверхзвуковом потоке газа с учетом геометрической нелинейности.

Решение упрощенного уравнения, описывающего данный процесс в безразмерном виде (2) при начальных условиях:

$$w(x, y, 0) = a_0 \sin(nx) \sin(my); \quad \dot{w}(x, y, 0) = 0 \quad (7)$$

и граничных условиях

$$\begin{aligned} w &= w_{xx} = 0 \quad \text{при } x = 0 \text{ и } x = 1; \\ w &= w_{yy} = 0 \quad \text{при } y = 0 \text{ и } y = 1; \end{aligned} \quad (8)$$

ищем в виде

$$w(x, y, t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M w_{nm}(t) \sin(n\pi x) \sin(m\pi y). \quad (9)$$

Система нелинейных ИДУ (4) в данном случае упрощается и принимает вид

$$\begin{aligned} \ddot{w}_{kl} + a_1 \dot{w}_{kl} + \omega_{kl}^2 (1 - R^*) w_{kl} + 4 \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M G_{klnm} w_{nm} + \\ + \frac{3}{2} \omega_{kl} w_{kl} (1 - R^*) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \omega_{nm} w_{nm}^2 = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\omega_{kl} = \pi^2(k^2 + \lambda^2 l^2)$;

$$\delta_n = \begin{cases} 1, & \text{при } n = 0, \\ 0, & \text{при } n \neq 0, \end{cases} \quad \gamma_n = \begin{cases} \frac{1}{n}, & n - \text{нечетный}, \\ 0, & n = 0 \text{ или } n - \text{четный}. \end{cases}$$

Результаты вычислений представлены в таблицах 1 и 2.

В качестве критерия, определяющего критическую скорость $V_{кр}$, принимаем условие, предложенное в работах [6 – 8].

Продольное обтекание. Исследовалось влияние вязкоупругих свойств материала пластинки на критические значения времени и скорости флаттера. Результаты вычислений, представленные в табл. 1, показывают, что если использовать экспоненциальное ядро ($\alpha = 1$)

$$R(t) = A \cdot \exp(-\beta t), \quad (11)$$

скорость флаттера уменьшается приблизительно на 1%, а при использовании ядра Колтунова-Ржаницына

$$R(t) = A \cdot \exp(-\beta t) \cdot t^{\alpha-1} \quad (12)$$

эта скорость уменьшается на 46.4%, относительно критической скорости флаттера идеально-упругих пластин. Поэтому при использовании экспоненциальных ядер скорость флаттера вязкоупругой пластинки практически совпадает с критической скоростью флаттера для идеально-упругих пластин. Эти выводы и результаты полностью соответствуют выводам и результатам работы [9], где критические скорости флаттера определены численно-аналитическим методом.

Таблица 1

Зависимости скорости флаттера от параметров A и α

A	α	β	λ	λ_1	θ	$V_{кр}$
0,0 0,01 0,1	0,25	0,05	1	220	0	1003 853,4 537,2
0,1	1 0,5 0,15	0,05	1	220	0	993,14 697,34 412,42

Обтекание под произвольным углом. Рассмотрим вязкоупругую пластинку со сторонами a , b и толщиной h , обтекаемую сверхзвуковым потоком газа под произвольным углом. Несмотря на очевидную важность обсуждаемой задачи, имеются лишь две работы, посвященные исследованию поведения пластинки, обтекаемой под произвольным углом [2, 9].

В табл. 2 приведены критические значения скорости флаттера в зависимости от физико-механического и геометрического характера пластины с учетом угла θ .

Из табл. 2 видно, что величина критического числа $V_{кр}$ для пластинки при $\theta > 0$, больше, чем для пластинки при $\theta = 0$. Например, при $\theta = 20^\circ$ критическое число $V_{кр}$ пластинки возрастает на 11,14% по сравнению с соответствующим значением $V_{кр}$ при $\theta = 0$, при $\theta = 36^\circ$ на 27,66%, а при $\theta = 45^\circ$ – на 46,9%. Заметим, что влияние параметра угла обтекания θ , прекрасно согласуется с результатом работы [9].

В табл. 2 также дается влияние вязкоупругих свойств материала пластинки на скорость флаттера при $\theta \neq 0$. Для упругой пластинки ($A = 0$) при $\theta = \pi/6$ критическая скорость $V_{кр}$ составляет 1211,76, а для вязкоупругой пластинки ($A = 0,1$) с таким же $\theta = \pi/6$ критическая скорость $V_{кр}$ равна 646,34. Разница между ними составляет 46,4%.

Вычислительные эксперименты показали, что незначительное увеличение параметра сингулярности α приводит к существенному увеличению критической скорости флаттера.

Таблица 2

Зависимость скорости флаттера от физико-механических и геометрических параметров пластинки

A	α	β	λ	λ_1	θ	$V_{кр}$
0,0 0,01 0,05 0,1	0,25	0,05	1	220	$\pi/6$	1211,76 965,6 721,48 646,34
0,1	0,15 0,5	0,05	1	220	$\pi/6$	483,14 830,98
0,1	0,25	0,1 0,01	1	220	$\pi/6$	649,4 645,66
0,1	0,25	0,05	1,2 1,4 1,5	220	$\pi/6$	805,8 1016,26 1135,6
0,1	0,25	0,05	1	180 200 250	$\pi/6$	1164,5 870,4 442,34
0,1	0,25	0,05	1	220	$\pi/9$ $\pi/5$ $\pi/4$	567,04 685,78 789,14

Из приведенной таблицы видно, что влияние параметра затухания β ядра наследственности на скорость флаттера пластинки по сравнению с влиянием параметра вязкости A и сингулярности α незначительно, что еще раз подтверждает общеизвестные выводы о том, что экспоненциальное ядро релаксации неспособно полностью описать наследственные свойства материала конструкций.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что параметр сингулярности α влияет не только на колебания вязкоупругих систем, но и на критическую скорость флаттера. Следовательно, учет этого влияния при проектировании авиационных конструкций имеет важное значение, так как чем меньше параметр сингулярности материала конструкции, тем интенсивнее протекают диссипативные процессы в этих конструкциях.

На основании полученных результатов можно заключить, что учет вязкоупругих свойств материала пластинки приводит к уменьшению критической скорости флаттера $V_{кр}$, с которой начинается явление флаттера.

Отметим также, что при скорости потока меньшей, чем $V_{кр}$, влияние вязкоупругого свойства материала уменьшает амплитуду и частоту колебаний. Если же скорость потока превышает $V_{кр}$, то вязкоупругое свойство материала оказывает уже дестабилизирующее влияние.

Список литературы: 1. *Fung Y.C.* A summary of the theories and experiments on panel flutter / *Y.C. Fung* // Air Force Office Sci. Research TN 60-224 (May 1960). – 27 p. 2. *Eisley J.G.* Flutter of Thin Plates under Combined Shear and Normal Edge Forces / *J.G. Eisley, G. Luessen* // AIAA Journal. – 1963. – Vol. 1. – № 3. – P. 347-356. 3. *Вентрес Дауэлл.* Сравнение теории и эксперимента в задаче о нелинейном флаттере нагруженных пластин / *Дауэлл Вентрес* // Ракетная техника и космонавтика. – 1970. – Т. 8. – № 11. – С. 126-136. 4. *Ильюшин А.А.* Новая постановка задачи о флаттере пологой оболочки / *А.А. Ильюшин, И.А. Кийко* // Прикладная математика и механика. – 1994. – Т. 58. – Вып. 3. – С. 167-171. 5. *Бадалов Ф.Б.* О некоторых методах решения систем интегродифференциальных уравнений, встречающихся в задачах вязкоупругости / *Ф.Б. Бадалов, Х. Эшматов, М. Юсупов* // Прикладная математика и механика. – 1987. – Т. 51. – №5. – С. 867-871. 6. *Худаяров Б.А.* Numerical Analysis of the Nonlinear Flutter of Viscoelastic Plates / *Б.А. Худаяров* // International J. Applied Mechanics. – 2005. – Vol. 41. – № 5. – P. 538-542. 7. *Худаяров Б.А.* Численное исследование нелинейного флаттера вязкоупругих трехслойных пластин / *Б.А. Худаяров* // Электронное моделирование. – 2006. – Том 28. – № 1. – С. 13-18. 8. *Верлань А.Ф.* Численное решение нелинейных задач динамики вязкоупругих систем / *А.Ф. Верлань, Х. Эшматов, Б. Худаяров, Ш.П. Бобоназаров* // Электронное моделирование. – 2004. – Том 26. – № 3. – С. 3–14. 9. *Кийко И.А.* Колебания и устойчивость вязкоупругой полосы в потоке газа / *И.А. Кийко, В.В. Показеев* // Доклады РАН. – 2005. – Т. 401. – № 3. – С. 342-344.

УДК 539.3

Обчислювальний експеримент в завданні про флаттер в'язкопружної пластини, обтічної під довільному куту в потоці газу / Верлань А.Ф., Худаяров Б.А., Файзібов Е.Ф., Юлдашев З.У. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", – 2011. – № 36. – С. 4 – 11.

Розглянуті нелінійні коливання в'язкопружних елементів тонкостінних конструкцій в потоці газу. Розроблені методика і алгоритм чисельного рішення інтегро-диференціальних рівнянь. Визначені критичні швидкості флаттеру пластин в потоці газу. Іл.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: в'язкопружна пластина, алгоритм, інтегро-диференціальне рівняння, флаттер.

UDC 539.3

Computational experiment in task about flutter of viscoelastic plate, streamlined under arbitrary corner in stream of gas / Verlan A.F., Khudayarov B.A., Fayziboyev E.F., Yuldashev Z.U. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 4 – 11.

Nonlinear vibrations of viscoelastic thin-walled elements of structures in the gas stream. The method and algorithm for the numerical solution of integro-differential equations. The critical velocity of flutter of plates in the gas stream. Figs.: 1. Tabl.: 2. Refs.: 9 titles.

Keywords: viscoelastic plate, algorithm, integro-differential equations, flutter.

Поступила в редакцію 15.07.2011

Е.В. ВОЛЧЕНКО, к.т.н., доц. ГУИиИИ, г. Донецк

СЕТОЧНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ВЗВЕШЕННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК W-ОБЪЕКТОВ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ¹

В работе рассматривается проблема формирования эффективных обучающих выборок в адаптивных системах распознавания. Предложен метод построения взвешенных выборок w-объектов на основе сеточного подхода. Выполнена оценка предложенного метода, доказана его сходимость и вычислена временная сложность. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие высокое качество получаемых выборок w-объектов. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: адаптивная система распознавания, w-объект, обучающая выборка, сеточный подход.

Постановка проблемы и анализ литературы. Постоянно увеличивающийся объем информации, скорость изменения объектов и процессов, происходящих в окружающем мире, требует разработки подходов, позволяющих адаптировать автоматические системы к таким изменениям. Данная проблема является одной из наиболее актуальных в современной теории построения систем распознавания [1].

Современные системы распознавания должны не только обеспечивать эффективность классификации объектов по исходным данным, но и отвечать требованиям адаптивности и работы в режиме реального времени [2, 3]. Под адаптивностью принято понимать [2] способность системы изменять свои свойства (словарь признаков, обучающую выборку, решающие правила классификации и т.д.) в соответствии с изменениями распознаваемых объектов. Работа в реальном времени требует построения решающих правил, позволяющих принять решение о классификации за выделенное время [3].

Информация об изменении распознаваемых объектов поступает в системы распознавания в большинстве случаев в виде новых объектов обучающей выборки, количество которых может достигать десятков тысяч, поэтому для адаптивных систем одной из ключевых проблем является проблема предобработки исходных выборок данных.

¹ Работа выполнена при содействии гранта Президента Украины для поддержки научных исследований молодых ученых №GP/F32/130 "Разработка теоретических основ и методов реализации открытых обучающихся систем автоматического распознавания: способы оптимизации обучающих выборок и методы построения взвешенных решающих правил классификации".

Предобработка данных в системах распознавания является итеративным процессом и включает:

1) очистку данных, которая заключается в удалении шума, пропусков в данных и данных низкого качества [1];

2) сжатие данных, включающее нахождение минимального признакового пространства и репрезентативного множества данных на основе методов редукции и трансформации [2];

3) объединение данных, позволяющее уменьшить объем данных с сохранением исходной информации с помощью эвристических алгоритмов [1, 3].

Задача сжатия данных при условии неизменяющегося словаря признаков может быть решена двумя способами. Первый способ заключается в отборе некоторого множества объектов исходной обучающей выборки, каждый из которых отвечает предъявляемым требованиям. Наиболее известными алгоритмами, реализующими такой способ, являются алгоритмы STOLP [4], FRiS-STOLP [5], NNDE (Nearest Neighbor Density Estimate) и MDCA (Multiscale Data Condensation Algorithm) [1]. Основными отличиями этих алгоритмов друг от друга являются способ отбора объектов, используемое расстояние и критерий оптимальности полученной выборки. Второй способ состоит в построении множества новых объектов, каждый из которых строится по информации о некотором подмножестве объектов исходной обучающей выборки и обобщает его. Основой алгоритмов данного типа является дискретизация пространства признаков и анализ полученных частей пространства независимо друг от друга [6]. К алгоритмам такого типа можно отнести, например, алгоритм ДРЭТ [4], покрывающий признаковое пространство множеством пересекающихся окружностей, определяя тем самым области, принадлежащие каждому из классов.

Одним из перспективных подходов данного направления является наложение на пространство признаков некоторой «решетки», делящей все пространство на прямоугольные области, называемые в дальнейшем клетками. К алгоритмам, реализующим такой подход, относятся алгоритмы LVQ (learning vector quantization) [6], алгоритм четкого разбиения пространства признаков [7], алгоритм GridDC [8]. Основным отличием алгоритма GridDC от двух других является формирование на выходе новой сокращенной обучающей выборки, а не множества классифицированных клеток, являющихся одновременно и решающим правилом классификации. Недостатком формирования классифицированных клеток является то, что получаемое разбиение в большинстве случаев очень грубо аппроксимирует границы классов и может оказаться как чрезмерно избыточным, так и крайне недостаточным

по числу выделенных клеток [8]. Формирование выборки объектов позволяет использовать для построения решающих правил известные алгоритмы, дающие более эффективные решения классификации.

В предыдущих работах автора, например в [9], была предложена идея перехода к взвешенным сокращенным выборкам w -объектов, имеющим кроме значений признаков дополнительный параметр – вес. Вес содержит информацию о взаиморасположении, количестве или качестве заменяемых объектов и, исходя из результатов экспериментальных исследований, проведенных в предыдущих работах, позволяет существенно повысить эффективность работы систем.

Данная работа является обобщением и развитием идей, предложенных автором в работах [8, 10, 11] и посвящена разработке метода построения взвешенных выборок w -объектов на основе сеточного подхода в адаптивных обучающихся системах распознавания.

Цель статьи – разработка метода построения взвешенной обучающей выборки w -объектов на основе сеточного подхода по исходной выборке и при добавлении новых обучающих объектов в процессе работы системы.

Постановка задачи. В качестве исходных данных дано некоторое множество объектов $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$, представленное в виде

объединения непересекающихся классов $X = \bigcup_{i=1}^l V_i$ и называемое

обучающей выборкой. Каждый объект X_i из X описывается системой признаков, т.е. $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$, и представляется точкой в линейном пространстве признаков, т.е. $X_i \in R^n$. Для каждого объекта X_i известна его классификация $y_i \in [1, l]$.

Определение 1. Качеством классификации $\frac{N(Z, X)}{|Z|}$ назовем частоту

неверной классификации объектов контрольной выборки Z решающим правилом, построенным по исходной обучающей выборке X .

Через $|X|$ будем определять мощность множества X , т.е. количество объектов, принадлежащих этому множеству.

Необходимо сформировать классифицированную взвешенную обучающую выборку w -объектов $X^W = \{X_1^W, X_2^W, \dots, X_m^W\}$, $y_i^W \in [1, l]$, где $X_i^W = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, p_i\}$, p_i – вес i -го w -объекта.

Построенная выборка w-объектов должна отвечать следующим требованиям:

а) размер выборки w-объектов должен быть меньше размера исходной обучающей выборки $|X| < |X^W|$;

б) каждый объект новой выборки (w-объект) должен относиться к тому же классу, что и объекты, по которым он сформирован;

в) качество классификации $\frac{N(Z, X^W)}{|Z|}$ решающим правилом, построенным по выборке w-объектов, должно удовлетворять неравенству $\frac{N(Z, X^W)}{|Z|} \geq \frac{N(Z, X)}{|Z|}$.

Построение выборки w-объектов по исходной обучающей выборке на основе алгоритма GridDC. Идеей метода GridDC [8] является наложение сетки на признаковое пространство для формирования множества клеток, определение объектов выборки, принадлежащих каждой из клеток, и их замена на w-объекты. Формирование объектов новой выборки выполняется только в случае принадлежности всех объектов клетки одному классу. Вес w-объектов определяется по количеству объектов исходной выборки, принадлежащих клетке.

Далее приведем пошаговое описание метода. Без потери общности получаемых решений применим стандартный для теории распознавания подход, заключающийся в рассмотрении двухклассовых систем.

Шаг 1. Формирование сетки. Рассчитывается шаг клетки s по формуле:

$$s = \left\lceil 1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\max\{x_i\} - \min\{x_i\}) \right)^n * (\lfloor \ln(k) \rfloor - 1)}{n * \prod_{i=1}^n (\max\{x_i\} - \min\{x_i\})} \right\rceil,$$

где $\lfloor \dots \rfloor$ – оператор округления до ближайшего целого значения; $\max\{x_i\}$ – максимальное значение i -го признака среди всех объектов выборки, $\min\{x_i\}$ – минимальное значение.

Выполняется разбиение признакового пространства R^n по каждому из n признаков на интервалы длиной s (наложение прямоугольной сетки), результатом которого является множество клеток G . Далее для каждого объекта выборки X определяется клетка, которой этот объект принадлежит.

Утверждение 1. Объект X_i принадлежит некоторой клетке G_j тогда и только тогда, когда каждое из значений его признаков входит в интервал значений соответствующих признаков данной клетки.

В результате формирования сетки и обработки объектов исходной обучающей выборки будут сформированы непересекающиеся подмножества X_{G_j} объектов, принадлежащих клетке G_j , $j = \overline{1, |G|}$.

Шаг 2. Формирование значений признаков w-объектов.

Возможны следующие варианты обработки содержимого клеток.

1. Если все объекты клетки принадлежат к одному классу, то значения признаков объекта новой выборки рассчитываются как координаты центра масс объектов этой клетки:

$$x_{jt} = \frac{1}{|X_{G_j}|} \sum_{X_i \in X_{G_j}} x_{it}, \quad t = \overline{1, n}.$$

2. Если клетка не содержит ни одного объекта, то объект новой выборки не формируется.

3. Если клетка содержит объекты нескольких классов, то она делится на две равные по размеру клетки (поочередно вертикально или горизонтально) до тех пор, пока любая из клеток внутри начальной клетки не будет содержать объекты только одного класса. Далее по каждой из полученных клеток формируются объекты новой выборки (согласно случаям 1 и 2).

Классификация w-объекта определяется по классификации объектов, по которым он сформирован.

Шаг 3. Определение веса w-объектов. Вес w-объекта равен количеству объектов исходной выборки, принадлежащих клетке, т.е.

$$p_j = |X_{G_j}|.$$

В результате выполнения алгоритма будет получена новая взвешенная обучающая выборка w-объектов X^W .

Пополнение взвешенной обучающей выборки w-объектов.

Задачу пополнения выборки w-объектов новыми обучающими объектами целесообразно рассматривать относительно только одного некоторого объекта $X_a = \{x_{a1}, x_{a2}, \dots, x_{an}\}$, набор признаков которого совпадает с набором признаков объектов исходной выборки, поскольку новые обучающие объекты поступают в систему распознавания последовательно и обрабатываются аналогично. Для решения задачи пополнения обучающей выборки w-объектов новыми классифицированными объектами в процессе работы системы на основе сеточного подхода предлагается следующий алгоритм.

Шаг 1. Определяется клетка, которой принадлежит добавляемый объект X_a .

Шаг 2. Выполняется корректировка существующего или построение нового w-объекта, соответствующего найденной клетке.

1. Если найденный w-объект относится к тому же классу, что и добавляемый объект, то вес w-объекта увеличивается на единицу и значения его признаков пересчитываются:

$$x_{jt} = \frac{x_{jt} + x_{at}}{2}, \quad t = \overline{1, n}, \quad p_j = p_j + 1.$$

2. Если найденной клетке не соответствует ни один w-объект (т.е. ни один объект исходной выборки или добавленный ранее не принадлежал этой клетке), то формируется новый w-объект со значениями признаков, равными значениям признаков добавляемого объекта, и единичным весом:

$$x_{jt} = x_{at}, \quad t = \overline{1, n}, \quad p_j = 1.$$

3. Если классификация найденного w-объекта не совпадает с классификацией добавляемого объекта, то выполняется деление этой клетки на две равные по размеру клетки (поочередно вертикально или горизонтально), как и при построении w-объектов по исходной выборке, до тех пор, пока все построенные клетки не будут содержать объекты только одного класса.

Далее по каждой из полученных клеток формируются w-объекты по следующим правилам.

Если клетка содержит только добавляемый объект X_a , то построение w-объекта аналогично случаю 2 данного алгоритма.

Для остальных полученных клеток формируются w -объекты со значениями признаков, равными центрам этих клеток и весом пропорционально количеству построенных клеток, т.е.

$$p'_j = \left\lfloor p_j \cdot \frac{1}{q} \right\rfloor,$$

где q – количество клеток, полученных после разбиения исходной клетки.

Отметим, что разбиение клетки на две равные клетки вне зависимости от количества объектов в этой клетке, принадлежащих разным классам не влияет на эффективность работы систем распознавания, поскольку при построении решающих правил учитывается вес w -объектов.

Оценка метода построения выборки w -объектов на основе сеточного подхода. Анализ предложенного метода и обучающей выборки w -объектов позволяет сформулировать следующие утверждения.

Утверждение 2. Выборка w -объектов формируется по всем объектам исходной выборки.

Утверждение 3. Никакие два и более w -объектов не строятся по одному и тому же объекту исходной выборки.

Утверждение 4. W -объект принадлежит тому же классу, что и объекты исходной выборки, по которым он сформирован. Количество классов выборки w -объектов равно количеству классов объектов исходной выборки.

Утверждение 5. Вес w -объекта является целым числом и принимает значения от 1 до количества объектов $|V_j|$ некоторого класса j .

Доказательство корректности данных утверждений непосредственно следует из имеющихся исходных данных и предложенных алгоритмов.

Теорема 1. Алгоритм построения выборки w -объектов сходится и его временная сложность равна $O(k \log k)$.

Доказательство. Основными элементами, обрабатываемыми в предложенных алгоритмах, являются множества обучающих объектов, принадлежащих клеткам. Количество клеток, на которые разбивается n -мерное признаковое пространство равно

$$N_G = \left\lfloor \prod_{i=1}^n \left(\frac{\max\{x_i\} - \min\{x_i\}}{s} \right) \right\rfloor.$$

Обработка клеток проводится до тех пор, пока каждая клетка, полученная путем разбиения исходной, не будет содержать объекты только одного класса. Поскольку, согласно постановке задачи, никакие два объекта обучающей выборки не могут иметь одинаковые значения всех признаков и принадлежать разным классам, количество разбиений клеток конечно. Следовательно, алгоритм сходится за конечное число шагов.

Рассчитаем временную сложность алгоритма построения выборки w -объектов по исходной выборке. За единицу примем время обработки одного объекта исходной выборки.

На первом шаге алгоритма для расчета шага клетки выполняется поиск минимальных и максимальных значений признаков объектов, что требует nk итераций.

На втором шаге определяется принадлежность объектов клеткам, что требует k итераций.

На третьем шаге выполняется построение w -объектов по клеткам. При этом разбиение клеток для обеспечения однозначной классификации требует выполнения не более чем $2^{|V_j|}$ итераций.

Таким образом, временная сложность алгоритма построения выборки w -объектов по исходной выборке составляет $nk + k + N_G 2^{|V_j|}$ итераций. Если предположить, что каждая клетка содержит строго по одному объекту выборки, то $N_G = k$. Если предположить, что некоторая клетка содержит все объекты некоторого класса j , количество объектов которого близко размеру всей выборки, то $2^{|V_j|} \approx 2^k$. Следовательно, временная сложность алгоритма равна $O(k \log k)$.

Отметим, что временная сложность алгоритма пополнения взвешенной обучающей выборки w -объектов рассчитывается аналогично и также составляет $O(k \log k)$.

Результаты экспериментальных исследований. Для оценки эффективности предложенного метода был проведен ряд экспериментальных исследований. В качестве исходных данных были использованы сформированные по нормальному закону распределения выборки объектов двух классов размером 1000 – 5000 объектов, содержащих два признака распознавания. Степень пересечения классов в пространстве признаков изменялась от полной обособленности до пересечения на 40%. В качестве решающего правила классификации по выборке w -объектов использовались модифицированный метод

k -ближайших соседей [12] и модифицированный метод потенциальных функций [13]. Классификация объектов в модифицированном методе k -ближайших соседей определяется по k ближайшим w -объектам к распознаваемому объекту $X' = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ по следующей метрике:

$$F(X_j^w, X') = \frac{p_j \cdot p_a}{r_{ja}^2} = \frac{p_j \cdot p_a}{\|X_j^w - X'\|} = \frac{p_j \cdot p_a}{\sum_{t=1}^n (x_{jt} - x_{at})^2},$$

где $p_a = 1$ – вес распознаваемого объекта, который принимается равным единице.

Два объекта являются ближайшими, если значение $F(X_j^w, X')$ максимально. Объект X'_i относится к тому классу, объектов которого среди k ближайших больше.

Классификация объектов в модифицированном методе потенциальных функций выполняется с помощью решающего правила вида:

$$U(X^w, X') = \sum_{j=1}^m U(X_j^w, X'), \quad U(X_j^w, X') = \exp\left(-\alpha \cdot \frac{1}{F(X_j^w, X')}\right).$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) частота неверной классификации объектов тестовой выборки методом k -ближайших соседей по выборке w -объектов на 7,4% меньше частоты неверной классификации методом k -ближайших соседей по исходной выборке и на 1,6% меньше частоты неверной классификации методом потенциальных функций по исходной выборке;

2) время выполнения классификации предложенным методом на 3,8% меньше времени классификации методом k -ближайших соседей по исходной выборке и на 37,9% меньше времени классификации методом потенциальных функций по исходной выборке.

Анализ эффективности использования выборок w -объектов, построенных по предложенному методу, для классификации объектов класса тестовых задач ADS 1 репозитория ISEC (International Statistical Education Centre) [14] показал уменьшение неверных классификаций по сравнению с классическими методами (методом k -ближайших соседей и методом потенциальных функций) в среднем на 3,4%.

Также было получено, что из 100 добавляемых новых объектов только для 7 объектов потребовалось построение новых w-объектов, а для 4 – разделение существующих клеток.

Выводы. В работе предложен новый подход к построению взвешенных обучающих выборок w-объектов на основе сеточных алгоритмов в адаптивных системах распознавания. Описан метод формирования значений признаков w-объектов и их весов по исходной обучающей выборке и при добавлении в выборку новых обучающих объектов. Анализ предложенного метода показал его сходимость, низкую временную сложность, корректность обработки объектов исходной выборки. Результаты экспериментальных исследований показали уменьшение частоты неверных классификаций и времени её выполнения решающим правилом, построенным по выборке w-объектов, по сравнению с классическими методами.

Список литературы: 1. *Larose D.T.* Discovering knowledge in Data: An Introduction to Data Mining / *D.T. Larose.* – New Jersey, Wiley & Sons, 2005. – 224 p. 2. *Pal S.K.* Pattern Recognition Algorithms for Data Mining: Scalability, Knowledge Discovery and Soft Granular Computing / *S.K. Pal, P. Mitra.* – Chapman and Hall/CRC, 2004. – 280 p. 3. *Olson D.L.* Advanced Data Mining Techniques / *D.L. Olson, D. Delen.* – Springer-Verlag Berlin, 2008. – 180 p. 4. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа знаний и данных / *Н.Г. Загоруйко.* – Новосибирск: Издательство института математики, 1999. – 270 с. 5. *Zagoruiko N.G.* Methods of Recognition Based on the Function of Rival Similarity / *N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, and O.A. Kutnenko* // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2008. – Vol. 18. – № 1. – P. 1–6. 6. *Kohonen T.* Self-Organizing Maps / *T. Kohonen.* – Springer-Verlag, 1995. – 501 p. 7. *Субботин С.А.* Метод обучения нейро-нечеткой сети распознаванию образов на основе прямоугольного разбиения пространства признаков / *С.А. Субботин* // Складні системи і процеси. – 2009. – № 1. – С. 111–111. 8. *Волченко Е.В.* Метод сокращения обучающих выборок GridDC / *Е.В. Волченко, И.В. Дрозд* // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 185–190. 9. *Волченко Е.В.* Метод построения взвешенных обучающих выборок в открытых системах распознавания / *Е.В. Волченко* // Доклады 14-й Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов (ММРО-14)", Суздаль, 2009. – М.: Макс-Пресс, 2009. – С. 100–104. 10. *Волченко Е.В.* Пополнение взвешенных обучающих выборок w-объектов в адаптивных системах распознавания, построенных на основе сеточного подхода / *Е.В. Волченко* // Труды Международной научной конференции "Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2011)". – Херсон: ХНТУ, 2011 – Том 2. – С. 205-209. 11. *Волченко Е.В.* Построение взвешенных обучающих выборок w-объектов на основе сеточного подхода / *Е.В. Волченко* // Доклады 15-й Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов (ММРО-15)", Петрозаводск, 2011. – М.: Макс-Пресс, 2011. 12. *Волченко Е.В.* Адаптация решающих правил в открытых системах распознавания / *Е.В. Волченко* // Тезисы докладов VII международной научно-практической конференции "Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем" (MPZIS-2009). – Днепропетровск, 2009. – С. 62–64. 13. *Волченко Е.В.* Модифицированный метод потенциальных функций / *Е.В. Волченко* // Бионика интеллекта. – 2006. – № 1 (64). – С. 86–92. 14. <http://www.isical.ac.in/~miu>

Стаття представлена д.ф.-м.н. проф., проректором по науч.-педагог. и учеб. работе ГУИиИИ МОН Украины Миненко А.С.

УДК 004.93.1

Сітковий підхід побудови зважених навчаючих вибірок w-об'єктів у адаптивних системах розпізнавання / Волченко О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 12 – 22.

У роботі розглянуто проблему формування ефективних навчаючих вибірок у адаптивних системах розпізнавання. Запропоновано метод побудови зважених вибірок w-об'єктів на основі сіткового підходу. Виконано оцінку запропонованого методу, доведено його збіжність та підраховано часову складність. Наведено результати експериментальних досліджень, що підтверджують високу якість отримуваних вибірок w-об'єктів. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: адаптивна система розпізнавання, w-об'єкт, навчаюча вибірка, сітковий підхід.

UDC 004.93.1

Grid approach to the construction of weighted training samples of w-objects in adaptive recognition systems / Volchenko E.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 12 – 22.

Problem of the effective training samples formation in adaptive recognition systems is considered in the work. Method of constructing a weighted samples of w-objects based on the grid approach is proposed. Estimation of the proposed method has been implemented, and proved its convergence and time complexity. Experimental results confirming the high quality of w-objects samples are presented. Refs.: 14 titles.

Keywords: adaptive recognition system, w-object, training samples, grid-base approach.

Поступила в редакцію 15.07.2011

О.В. БЕЛОУСОВА, в.о. зав. каф. ЛБІ МНТУ, м. Луцьк,
О.Ю. АЗАРХОВ, к.т.н., гол. лікар санаторію "Металург",
м. Маріуполь,
С.М. ЗЛЕПКО, д.т.н., проф., зав. каф. ВНТУ, м. Вінниця,
Д.Х. ШТОФЕЛЬ, ст. викладач ВНТУ, м. Вінниця,
С.В. КОСТІШИН, аспірант ВНТУ, м. Вінниця

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ УСКЛАДНЕНЬ ТА УПРАВЛІННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ У ПОСТІНСУЛЬТНИХ ХВОРИХ

У статті розглянуто проблему математичного моделювання стану хворих, які перенесли мозковий інсульт. Запропонована індивідуально орієнтована модель прогнозування розвитку ускладнень, перебігу реабілітаційного процесу та вибору оптимальної схеми лікування. Багатомірність і функція навчання дозволяє застосовувати її для інших неспецифічних задач прогнозування. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: математичне моделювання, мозковий інсульт, прогнозування, реабілітаційний процес, лікування.

Постановка проблеми. Інсульт – поширена у всьому світі патологія [1], що посідає високі місця в структурі причин інвалідності та смертності працездатного населення [2]. Прогнозування перебігу реабілітації після інсульту дозволяє ефективно проводити профілактичні заходи для попередження повторного інсульту і розвитку ускладнень, що дозволяє значно скоротити час реабілітації та підвищити її ефективність.

Аналіз літератури. Інсульт – це раптове порушення мозкового кровообігу з появою стійких симптомів його органічного ураження [3].

Частота виникнення ускладнень при лікуванні постінсультній реабілітації залежить від ряду факторів [4]. При прогнозуванні перебігу постінсультної реабілітації необхідно сформувати простір інформативних ознак на підставі анамнестичних даних, результатів лабораторного дослідження, ЕКГ-діагностики, неврологічного та нейропсихологічного обстежень, нейрофункціональних методів і методів нейровізуалізації, а також біомеханічного дослідження ходи [5], що дозволяє всебічно описати стан хворого. Розвиток обчислювальної техніки та інформаційних технологій дозволяє перейти до вирішення завдань прогнозування в медицині за допомогою інтелектуальних методів аналізу даних [6, 7]. Особливостями реальних медико-біологічних даних є висока розмірність і різнотипність, велика кількість шумових і дублюючих ознак, пропущені і аномальні значення. У такій ситуації ефективними стають методи, що ґрунтуються на еволюційному підході, які, на відміну

від традиційних методів пошуку оптимального рішення, орієнтовані на найкраще рішення в порівнянні з первинним або попереднім [8].

Відома технологія прогнозування протікання і вибору тактики лікування, що поєднує класичні статистичні методи і евристичні методи аналізу багатомірних різнотипних даних [9], яка застосовується, напр., при лікуванні псоріазу. Проте, незважаючи на значні досягнення у сфері терапевтичних підходів до постінсультної реабілітації, її перебіг важко піддається прогнозуванню і, як наслідок, важко оптимізується [10].

Мета статті – створити модель прогнозування результатів лікування та постінсультної реабілітації хворих при заданій тактиці лікування.

Побудова моделі. Початкова інформація про хворих представлена у вигляді числових таблиць "об'єкт–властивість" з описом вхідних і вихідних параметрів (характеристик) пацієнтів. До вхідних параметрів належать індивідуальні відомості про хворого: анамнез, супутні захворювання, клініко-функціональні, метаболічні та імунологічні показники, тактика лікування. Вихідними (цільовими) параметрами є тривалість перебування пацієнта в стаціонарі (кількість ліжко-днів), тривалість лікування до настання поліпшення стану (ефект лікування), тривалість періоду ремісії, наявність (або відсутність) типових залишкових порушень (парезів), число загострень хвороби в рік. Вхідні параметри в різному ступені впливають на вихідні параметри, але які з них роблять найбільш істотний вплив і якою моделлю описуються залежності їх впливу, невідомо.

В загальному випадку початкова інформація про об'єкти представлена у вигляді матриці $\bar{z} = (z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_N)$, де $z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{iM})$ – вектор аналізуємих параметрів (властивостей, ознак) i -го об'єкту. Вся сукупність параметрів об'єктів ділиться на множину вхідних V і вихідних Y . Вхідні параметри V є різнотипними, тобто вимірюються в кількісних і якісних шкалах. Позначимо через X параметри, значення яких вимірюються в кількісних шкалах, а через $U = (u_1, u_2, \dots, u_h)$ параметри, значення яких вимірюються в якісних (номінальних і порядкових) шкалах. Вектор вихідних параметрів Y для сформульованої задачі вимірюється в кількісній шкалі.

Дана задача прогнозування є погано формалізованою, оскільки вся інформація про об'єкти представлена набором параметрів, про які не можна стверджувати, що вони повні, несуперечливі і не спотворені. При таких початкових даних будемо використовувати модель чорного ящика, а при побудові алгоритмів аналізу даних спиратимемося тільки на масиви прецедентів і гіпотезу про монотонність простору рішень.

Рішення поставленої задачі передбачає кілька етапів: передобробку даних, підбір вагових параметрів в процесі навчання, прогнозування.

Етап передобробки включає структурування даних, виявлення і усунення аномальних і пропущених значень, кодування і нормування даних, вимірюваних в безперервних шкалах. Параметри, які вимірюються в дискретних шкалах і мають число градацій більше двох, перетворюються в сукупність бінарних величин.

Введемо вектор $G = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ij}, \dots, g_{iC})$, де g_{ij} – бінарні ознаки об'єктів. На етапі передобробки вся множина досліджуваних об'єктів розбивається на підмножини (вибірки) відповідно до значень g_j . Можливі такі варіанти групування об'єктів: вибірка незалежно від значення ознаки g_j ; вибірка об'єктів, для яких $g_j = 0$; вибірка об'єктів, для яких $g_j = 1$.

Один і той же об'єкт може опинитися в декількох вибірках. Надалі використовуються тільки інформативно значимі вибірки, в яких кількість об'єктів значно більша числа кількісних вхідних параметрів.

На етапі навчання для кожної інформативно значимої вибірки визначаються ваги вхідних параметрів. Визначення вагових коефіцієнтів базується на еволюційному підході до вирішення екстремальних задач функції багатьох змінних і методі випадкового пошуку.

Кожен об'єкт O_i може бути представлений у вигляді вектора багатовимірного простору R^p кількісних параметрів $Q_i = \{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, де x_j – вхідні параметри об'єкту, y – вихідний (цільовий) параметр об'єкту, $p = m + 1$ – загальна кількість параметрів багатовимірного простору. Тоді задача визначення шуканого параметра y за множиною відомих вхідних параметрів X зводиться до задачі інтерполяції функції $y = f(x)$, заданої у вузлах p -мірної нерегулярної сітки.

Оскільки ступінь гладкості функції $f(x)$ невідомий, для її інтерполяції у всій області визначення пропонується використовувати функцію вигляду $f(x) \approx y_r(d(X, W))$, де d – міра близькості між об'єктами. Як міра близькості між об'єктами i та l розглядається зважена евклідова відстань:

$$d_{il} = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (x_{ji} - x_{jl})^2}, \quad 0 \leq w_j \leq 1. \quad (1)$$

Значення вагових коефіцієнтів W підбираються з використанням методу Монте-Карло.

Щоб забезпечити необхідну точність обчислення параметра y , введемо критерій, який мінімізує середню абсолютну помилку прогнозу:

$$Q(w) = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} |y_i - y_{ri}(d)| \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $|y_i - y_{ri}(d)|$ – різниця між спостережуваним і розрахунковим значеннями вихідного параметра; N_g – об'єм досліджуваної вибірки.

Якщо цільова функція є комплексом вихідних параметрів, то задаються коефіцієнти значимості ϑ_j ($j = 1, 2, \dots, s$) для кожного прогнозованого параметра. Тоді значення ϑ_j вибираються з інтервалу

$[0, 1]$, при чому $\sum_{j=1}^s \vartheta_j = 1$, де s – кількість прогнозованих параметрів.

В такому випадку критерій (2) може бути представлений у вигляді:

$$Q(w) = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^s \vartheta_j |y_i^{(j)} - y_{ri}^{(j)}(d)| \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для визначення розрахункових значень y_{ri} задачу багатовимірної інтерполяції функції $y = f(x)$, заданої у вузлах нерегулярної сітки, зведемо до задачі одновимірної екстраполяції функцій $y_{ri}(d)$ ($i = 1, 2, \dots, N_g - 1$) в околі кожного i -го вузла багатовимірної сітки.

Для цього щодо кожного i -го вузла сітки простору R^p за формулою (1) визначаються відстані між ним і рештою вузлів, в яких задані значення функції y . Потім отримані відстані ранжуються в порядку зростання. Ранжований вектор відстаней позначимо $D_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{il}, \dots, d_{i(N_g-1)})$.

Далі, маючи масив, що складається з пар чисел d_k, y_k ($k = 1, 2, \dots, N_g - 1$), вирішуємо задачу екстраполяції дискретної залежності $y(d_k)$ безперервною наближеною функцією $y_r(d)$. При її побудові використовуються тільки n найближчих вузлів ($n < N_g - 1$). В загальному випадку величина n визначається в процесі попереднього обчислювального експерименту.

Як модель для наближення використовується квадратичний поліном

$$y_r(d) = \sum_{i=0}^2 a_i d^i, \text{ в якому коефіцієнти } a_i \text{ визначаються з умови мінімізації}$$

$$\text{функціонала } \sigma = \sum_{k=1}^n [y_k - y_r(d_k, a_i)]^2 \rightarrow \min.$$

Ітеративний процес уточнення критерію, що обчислюється за формулою (2) або (3), продовжується до тих пір, поки число ітерацій, впродовж яких не відбувається покращення рішення, не перевищить задане значення, або поки розрахункове значення середньої абсолютної похибки прогнозу не буде нижчим за задану величину допустимої похибки, або поки не буде перевищено максимальний час обчислень. Слід зазначити, що особливістю еволюційного обчислювального процесу є те, що він може бути зупинений і продовжений у будь-який момент.

Наступний етап – використання отриманих в процесі навчання результатів для прогнозування шуканих цільових параметрів нового об'єкту за відомими вхідними характеристиками. Для цього спочатку виявляються інформативні вибірки, в які потрапляє новий об'єкт з урахуванням своїх якісних ознак. Для аналізу використовується вибірка, в якій помилка прогнозу має найменше значення. Розрахунок кожного цільового параметра нового об'єкту зводиться до задачі екстраполяції функції $y_r(d)$ поблизу вузла сітки цього об'єкту.

Після того, як стають відомими вихідні параметри об'єкту, він поповнює навчальні вибірки і проводиться уточнення вагових коефіцієнтів. Таким чином, прогнозування цільових параметрів є не разовою операцією, а процесом, в ході якого постійно виконуються збір, очищення і узгодження початкових даних, уточнення вагових параметрів і верифікація результатів.

Висновки. Для виділення найбільш істотних ознак при прогнозуванні використано експертну інформацію на основі методів ранжирування. Застосування методу безпосередньої оцінки дозволило виділити ті фактори, які є найбільш інформативними для прогнозування частоти ускладнень при лікуванні інсульту та постінсультної реабілітації. На підставі цих ознак з використанням методів кластерного аналізу побудована модель прогнозування частоти ускладнень і тяжкості перебігу постінсультної реабілітації, що виконує дві основні функції: аналізу вибірки пацієнтів, що дозволяє згрупувати їх за схожістю перебігу реабілітації; діагностики станів хворих на підставі класифікації.

Розроблений метод інтелектуальної обробки багатовимірних різнотипних масивів медико-біологічної інформації дозволяє підібрати вагові коефіцієнти вхідних параметрів, не знижуючи розмірності простору ознак, що, у свою чергу, дозволяє виключити втрату важливої інформації та врахувати слабкі зв'язки в інформаційних масивах.

Пропонований метод прогнозування може використовуватися в будь-якій області, за умови, що відомості про об'єкти зведені в великі масиви, описуються в протоколах "вхід-вихід" і для них справедлива гіпотеза про монотонність ухвалення рішень в локальній області.

Список літератури: 1. Инсульт. Принципы диагностики, лікування і профілактики / За ред. *Н.В. Вережасіна, М.А. Пірадова, З.А. Сусліной*. – М.: Інтермедіка, 2002. – 208 с. 2. К вопросу поэтапной реабилитации больных, перенесших инсульт / *В.М. Боголюбов* и соавторы // Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. – 1998. – № 3. – С. 17–18. 3. *Демиденко Т.Д.* Система поэтапной реабилитации постинсультных больных / *Т.Д. Демиденко, О.А. Валунов* // Актуальные вопросы медицинской нейрореабилитации. – М., 1996. – С. 5–6. 4. *Черникова Л.А.* Нейрореабилитация: современное состояние и перспективы развития / *Л.А. Черникова* // Русский медицинский журнал. – 2005. – № 22. – С. 1453–1456. 5. *Гудкова В.В.* Ранняя реабилитация после перенесенного инсульта / *В.В. Гудкова, Л.В. Стаховская, Т.Д. Кирильченко* // Consilium medicum. – 2005. – № 8. – С. 692–696. 6. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, OLAP / *А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод*. – СПб: БХВ-Петербург, 2007. – 275 с. 7. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний / *Н.Г. Загоруйко*. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с. 8. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / *В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх*. – М.: Нолидж, 2001. – 496 с. 9. *Цыганкова И.А.* Численный метод прогнозирования исхода заболевания / *И.А. Цыганкова* // Врач и информационные технологии. – 2007. – № 2. – С. 22–25. 10. Этапная реабилитация постинсультных больных с когнитивными расстройствами / *А.А. Козёлкин, С.А. Медведкова, А.В. Ревенько, А.А. Кузнецов* // Український неврологічний журнал. – 2008. – № 2. – С. 141–148.

УДК 52-17:616.831-005.1

Модель прогнозирования осложнений и управления реабилитационным процессом у постинсультных больных / *Белоусова О.В., Азархов А.Ю., Злепко С.М., Штофель Д.Х., Костишин С.В.* // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 23–28.

В статье рассмотрена проблема математического моделирования состояния больных, перенесших мозговой инсульт. Предложена индивидуально ориентированная модель прогнозирования развития осложнений, хода реабилитационного процесса и выбора оптимальной схемы лечения. Многомерность и функция обучения позволяет применять ее и для других неспецифических задач прогнозирования. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: математическое моделирование, мозговой инсульт, прогнозирование, реабилитационный процесс, лечение.

UDC 52-17:616.831-005.1

Model of prognostication of complications and rehabilitation process control of post-apoplectic patients / *Bielousova O.V., Azarkhov O.Yu., Zlepko S.M., Shtofel D.Kh., Kostishyn S.V.* / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 23–28.

The problem of mathematical modelling of patient's state after a cerebral stroke is considered in the article. The individually oriented model of complications development prognostication, rehabilitation process prognostication, and selection of optimum treatment plan is offered. It's multidimensionality and teaching function allows to apply offered model also in other unspecific prognostication tasks. Refs.: 10 titles.

Keywords: mathematical modelling, cerebral stroke, prognostication, rehabilitation process, treatment.

Надійшла до редакції 30.06.2011

М.В. БУРЦЕВ, НТУ "ХПИ", г. Харьков,
А.И. ПОВОРОЗНЮК, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков

ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДИАГНОЗОВ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Предложены варианты построения иерархической структуры диагнозов, используемых комбинированным решающим правилом в процессе постановки уточняемого диагноза в компьютерных системах медицинской диагностики. Выявлены их преимущества и недостатки. Описан способ хранения сформированной структуры в виде знаний системы поддержки принятия решений. Ил.: 4. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: иерархическая структура диагнозов, комбинированное решающее правило, уточняемый диагноз, компьютерные системы медицинской диагностики, поддержка принятия решений.

Постановка проблемы и анализ литературы. Несмотря на стремительное развитие информационных технологий, ориентированных на медицину, актуальной оптимизационной задачей остается синтез решающего правила, которое позволит повысить эффективность процесса постановки диагноза. Разработано комбинированное решающее правило (КРП) [1], объединяющее вероятностную составляющую и описание структуры симптомокомплексов с помощью нечеткой логики [2]. В его основе лежит обход дерева диагнозов, в каждом составном узле которого вычисляется отношение правдоподобия. В зависимости от рассчитанного значения принимается решение о наличии соответствующего диагноза (группы диагнозов). Качество работы КРП напрямую зависит от качества предварительно сформированной иерархической структуры диагнозов. Таким образом, актуальной видится проблема организации известных диагнозов таким образом, чтобы эффективность КРП была максимальной.

Необходимая структура иерархии диагнозов имеет вид двоичного дерева [3], каждый простой узел которого содержит конечный диагноз, а составные – две группы диагнозов, относительно которых осуществляется диагностика, а также последовательности наборов диагностически значимых интервалов численных признаков [4]. Интервалы формируются в ходе работы оптимизационной процедуры, выполняющей минимизацию интегральной ошибки аппроксимации теоретического закона распределения гистограммой, и вместе с группами диагнозов участвуют в вычислении априорных условных вероятностей, используемых решающим правилом совместно с функциями принадлежности, заданными экспертами. Сформированная

иерархическая структура является фреймом знаний [5] для системы поддержки принятия решений (СППР) [6], и может быть сохранена в соответствующей таблице базы данных (БД) в виде сериализованного объекта [7].

Целью статьи является описание подходов к формированию иерархической структуры диагнозов для комбинированного решающего правила, выявление их преимуществ и недостатков, а также обоснование способа хранения сформированной структуры.

Структурная декомпозиция (построение иерархии "сверху"). При данном подходе осуществляется последовательное разделение множества состояний (диагнозов) на две группы, до тех пор, пока сформированные группы содержат более одного диагноза (рис. 1). Исходное множество состояний в том числе включает состояние "практически здоров".

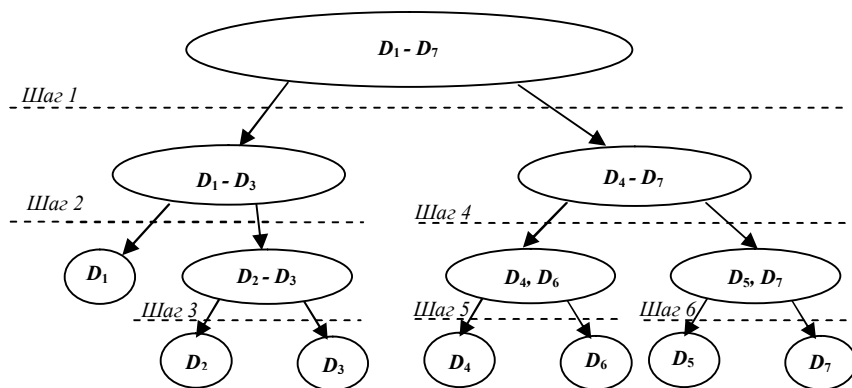


Рис. 1. Пример структурной декомпозиции

Как видно из рис. 1, на первом шаге исходное множество диагнозов $D^0 = \{D_i\}, i = \overline{1,7}$ разбивается на два подмножества $D^1 = \{D_i\}, i = \overline{1,3}$ и $D^2 = \{D_i\}, i = \overline{4,7}$. Затем происходит последовательное разделение подмножеств, сформированных на предыдущем шаге, до тех пор, пока конечные диагнозы не выделяются в отдельные узлы сформированного двоичного дерева.

Формирование подмножеств D^d и D^w (см. рис. 2) на каждом шаге можно выполнять применением генетического алгоритма [8]. Структура гена представляет собой объединение двух частей. Первая содержит

количество диагнозов, включаемых в D^q , вторая – случайным образом сформированную последовательность диагнозов, входящих в разделяемое подмножество. К генам применяются генетические операторы скрещивания (обмен частями между двумя генами), и мутации (качественные и количественные изменения в составах D^q и D^w).

Структура гена и пример его реализации представлены на рис. 2.



Рис. 2. Ген, используемый в структурной декомпозиции:
а) общая структура; б) пример конкретной реализации

Оценка качества гена производится на основании количества правильно классифицированных объектов обучающей выборки с помощью КРП в рамках разделяемого узла.

Данный подход позволяет сократить время получения результата (относительно алгоритма полного перебора), а также задать требуемое качество формируемой структуры. К недостаткам следует отнести существенные вычислительные затраты, связанные с построением диагностически значимых интервалов признаков, используемых КРП, для каждого гена на всех стадиях эволюционного цикла. Таким образом, при программной реализации необходимо обеспечить кэширование формируемых последовательностей интервалов, во избежание повторных вычислений для одних и тех же исходных данных.

Структурная композиция (построение иерархии "снизу"). Построение иерархической структуры начинается с листьев, содержащих конкретные диагнозы (N уровень дерева), при этом состояние "практически здоров" исключается. Для построения $N - 1$ уровня вычисляются вероятности попарных сочетаний диагнозов, представленных на N уровне. Наиболее вероятные пары участвуют в построении $N - 1$ уровня (рис. 3). Аналогичным образом выполняется построение всех вышележащих уровней дерева, путем попарной группировки узлов нижележащего уровня, сочетание которых наиболее вероятно. Таким образом, первый уровень дерева будет включать один

узел, содержащий все известные заболевания. Затем формируется нулевой уровень дерева, также включающий состояние "практически здоров", после чего первый уровень дерева представляет собой разделение состояний "здоров" и "болен". Данный подход позволяет установить множество наиболее вероятных состояний для диагностируемого объекта в том случае, когда в ходе работы решающего правила для некоторого составного узла дерева рассчитанное значение отношения правдоподобия попадает в границы области неопределенности и невозможно установить один конкретный диагноз. Это особенно актуально, если у больного присутствует несколько диагнозов, что само по себе является типичной ситуацией.

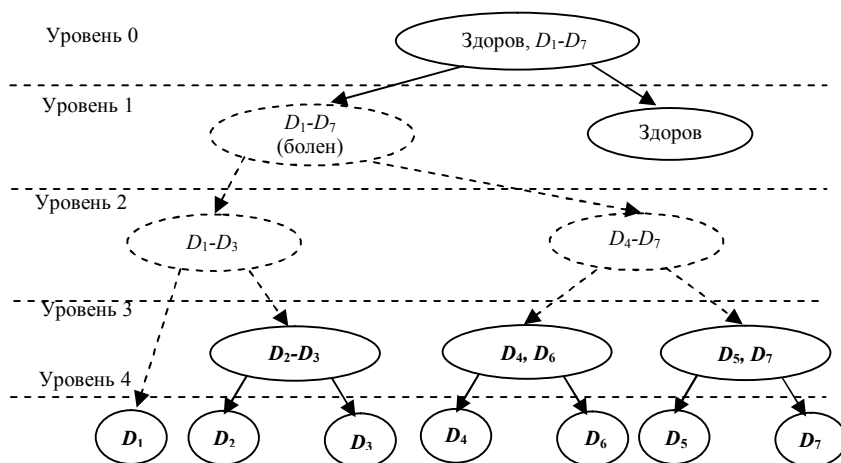


Рис. 3. Пример структурной композиции

Достоинством данного подхода можно считать простоту реализации, а также отсутствие лишних вычислений, связанных с построением интервалов для КРП. Недостатком является риск отнесения объектов, имеющих заболевания, симптомокомплекс которых близок к состоянию "практически здоров", к классу "здоров", либо отказ от диагностирования подобных объектов.

Хранение сформированной иерархической структуры. Полученная иерархическая структура является знаниями для системы поддержки принятия решений. В [9] была рассмотрена программная реализация КРП как части СППР, разрабатываемой на Java платформе. Рассмотренная структура БД, должна быть дополнена таблицей хранения

знаний. Эта таблица связана с таблицей обследований отношением многие-ко-многим, что позволяет использовать одни и те же знания при различных типах обследования (рис. 4).

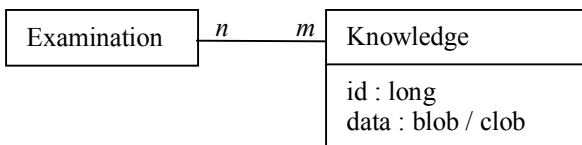


Рис. 4. Дополнение к структуре БД

Поле data таблицы Knowledge предназначено для непосредственного хранения данных. Данные можно сохранить в виде сериализованного объекта, который непосредственно используется КРП. Такими объектами являются экземпляры класса DiagnoseTree [9], сформированные с помощью специальных строителей, содержащие всю информацию, необходимую для комбинированного решающего правила. С помощью стандартных средств они могут быть преобразованы в поток байт и сохранены в виде файлов или записей в таблице БД. При хранении такого представления поле Knowledge.data должно иметь тип blob, что соответствует хранению больших объектов в двоичном представлении. Достоинством такого подхода является то, что необходимые знания после извлечения из базы передаются КРП без предварительной обработки. Недостатком является то, что в случае изменения класса DiagnoseTree, или любой из его зависимостей, десериализация объектов более старых версий будет невозможна.

Альтернативой является хранение XML-описания [10] экземпляров DiagnoseTree. В таком случае в БД сохраняется текстовая информация (Knowledge.data имеет тип clob), содержащая метаданные, а процедуры записи/чтения БД должны сопровождаться маршалингом/демаршалингом, которые можно автоматизировать при помощи существующих библиотек (jaxb, simple-xml).

Выводы. Предложены варианты построения иерархической структуры диагнозов, используемых комбинированным решающим правилом в процессе постановки уточняемого диагноза в компьютерных системах медицинской диагностики. Выявлены их преимущества и недостатки. Описан способ хранения сформированной структуры в виде знаний системы поддержки принятия решений.

Список литературы: 1. Бурцев М.В. Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 10 – 15.
2. Бурцев М.В. Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской

диагностики / *М.В. Бурцев, А.И. Поворозник* // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 27 – 33. **3. Кормен Т.** Алгоритмы: построение и анализ / *Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн* / Под ред. *И.В. Красикова*. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с. **4. Поворозник А.И.** Формирование диагностических интервалов численных признаков при дифференциальной диагностике / *А.И. Поворозник* // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – № 3. – Т. 1. – С. 106 – 109. **5. Гаврилова Т.** Базы знаний интеллектуальных систем / *Т. Гаврилова, В. Хоросиевский*. – СПб.: Питер, 2001. – 584 с. **6. Джарратано Дж.** Экспертные системы: принципы разработки и программирование / *Дж. Джарратано, Г. Райли*. – М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2007. – 1152 с. **7. Шилдт Г.** Полный справочник по Java / *Г. Шилдт*. – М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2009. – 1040 с. **8. Рутковская Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. *И.Д. Рудинского* / *Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский*. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. **9. Бурцев М.В.** Программная реализация комбинированного решающего правила для задач медицинской диагностики / *М.В. Бурцев, А.И. Поворозник* // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 21. – С. 11 – 16. **10. Холзнер С.** XML. Энциклопедия, 2-е изд. / *С. Холзнер*. – СПб.: Питер, 2004. – 1101 с.

Статья представлена д.т.н., проф. НТУ "ХПІ" Ободом І.І.

УДК 681.3

Побудова ієрархічної структури діагнозів для комбінованого вирішального правила в комп'ютерних системах медичної діагностики / *Бурцев М.В., Поворозник А.І.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 29 – 34.

Запропоновано варіанти побудови ієрархічної структури діагнозів, що використовується комбінованим вирішальним правилом у процесі встановлення уточнюючого діагнозу в комп'ютерних системах медичної діагностики. Виявлено їх переваги та недоліки. Описано спосіб збереження сформованої структури у вигляді знань системи підтримки прийняття рішень. Іл.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: ієрархічна структура діагнозів, комбіноване вирішальне правило, уточнюючий діагноз, комп'ютерні системи медичної діагностики, підтримка прийняття рішень.

UDC 681.3

Diagnoses hierarchy building for combined decision rule used in the medical diagnostics computer systems / *Burtsev M.V., Povoroznik A.I.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 29 – 34.

Diagnoses hierarchy building methods used by combined decision rule during refined diagnosis in the medical diagnostics computer systems were offered. Proposed methods advantages and disadvantages were detected. Formed diagnoses hierarchy storage as support decision-making system knowledge was described. Figs.: 4. Refs.: 10 titles.

Keywords: diagnoses hierarchy, combined decision rule, refined diagnosis, medical diagnostics computer systems, support decision-making.

Поступила в редакцію 15.07.2011

Є.О. ГОФМАН, аспірант ЗНТУ, м. Запоріжжя,
А.О. ОЛІЙНИК, к.т.н., доц. ЗНТУ, м. Запоріжжя,
С.О. СУББОТИН, к.т.н., доц. ЗНТУ, м. Запоріжжя

СИНТЕЗ ДЕРЕВ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ВИБІРОК ДАНИХ З ПРОПУЩЕНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ

Розглянуто завдання побудови моделей у вигляді дерев рішень на основі вибірок даних з пропущеними значеннями. Запропоновано новий метод ідентифікації дерев рішень, який використовує теорію функцій довіри для роботи в умовах невизначеності параметрів при розв'язанні завдання автоматичної класифікації за ознаками. Розроблений метод дозволяє ідентифікувати структуру та параметри дерев рішень. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: дерево рішень, ідентифікація, класифікація, невизначеність, функція довіри.

Постановка проблеми та аналіз літератури. При побудові моделей реальних об'єктів, процесів і систем часто виникають ситуації, коли в навчальній вибірці існують пропущені, суперечливі та аномальні дані. Причинами цього є: помилки при вимірі або введенні даних у навчальну вибірку, небажання респондента відповідати на деякі з поставлених питань, об'єднання не зовсім еквівалентних наборів даних [1, 2].

Більшість методів синтезу моделей на основі дерев рішень [2 – 4] у таких випадках не враховують екземпляри з пропущеними даними. Проте в такому випадку втрачається деяка інформація про досліджуваний об'єкт або процес, що може привезти до неприйнятної точності класифікації або прогнозування по синтезованому дереву рішень.

Тому актуальною є розробка методу синтезу дерев рішень на основі вибірки, отриманої в умовах невизначеності й неповноти даних.

Для розв'язання цього завдання в розробленому методі синтезу дерев рішень використовується теорія функції довіри, представлена в рамках передаваної довірчої моделі (ПДМ) [5]. Така модель дозволяє створювати прийнятну систему класифікації завдяки здатності представлення неоднозначності. Крім того, ПДМ дозволяє експертам виражати часткові представлення більш гнучким способом, ніж це можна робити за допомогою функцій ймовірності. Такий підхід також дозволяє обробляти часткове або навіть повне незнання про параметри класифікації.

Мета статті – розробка методу синтезу дерев рішень на основі вибірок даних з пропущеними значеннями.

Основними завданнями роботи є:

- дослідження теорії функцій довіри;
- розробка методу ідентифікації дерев рішень за вибірками, що містять пропущені значення деяких ознак певних об'єктів;
- розробка програмного забезпечення, що реалізує запропонований метод.

Функції довіри. Нехай Θ – фрейм розпізнавання, що представляє кінцеву множину елементарних гіпотез, пов'язаних із проблемною областю. Множину усіх підмножин Θ позначимо як 2^Θ . Щоб представити ступені довіри, Shafer [6] ввів так звані основні розподіли довіри (basic belief assignments). Ці розподіли визначають частину довіри, яка покриває підмножину гіпотез, не покриваючи однозначної підмножини загальної множини при нестачі відповідної інформації [5]. Основний розподіл довіри (ОРД) – це функція m , яка приймає значення в межах $[0, 1]$ для кожної підмножини A з Θ :

$$m: 2^\Theta \longrightarrow [0, 1], \quad (1)$$

при цьому:

$$m(\emptyset) = 0 \text{ та } \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1. \quad (2)$$

Підмножини A фрейму розпізнавання Θ , для яких $m(A)$ – однозначно позитивні, називаються фокальними елементами ОРД.

Ймовірність Bel та ймовірність Pl розраховуються за такими формулами:

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \quad (3)$$

$$Pl(A) = \sum_{A \cap B \neq \emptyset} m(B). \quad (4)$$

Величина $Bel(A)$ виражає повну довіру, яка повністю передається підмножині A з Θ . $Pl(A)$ являє собою максимальна довіра, яка може покривати підмножина A .

У рамках теорії функції довіри легко виразити стан повного незнання. Це досягається за рахунок так званої порожньої довірчої функції, у якій єдиним фокальним елементом є сам фрейм розпізнавання Θ [6]:

$$m(\Theta) = 1 \text{ та } m(A) = 0, \quad (5)$$

за умови:

$$A \neq \Theta. \quad (6)$$

Одним з важливих понять теорії функції довіри – сполучення. Нехай Bel_1 та Bel_2 – дві функції довіри, що покривають дві різні частини знання. Нехай m_1 та m_2 , визначають їх ОРД, відповідно.

Закон сполучення Демпстера спрямований на створення ОРД, яке представляє вплив об'єднаного доказу. Це визначене як [6]:

$$\forall A \subseteq \Theta, m(A) = (m_1 \oplus m_2)(A) = K \sum_{B, C \subseteq \Theta: B \cap C = A} m_1(B) m_2(C), \quad (7)$$

де K – коефіцієнт нормалізації [6], $K^{-1} = 1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) m_2(C)$.

Правило сполучення Демпстера – кон'юнктивне правило. Воно створює ОРД, якщо обидві частини правила є прийнятними. Подвійність цього кон'юнктивного правила визначається диз'юнктивним правилом сполучення [7], яке створює ОРД, представляючи взаємодію двох частин доказу, коли відомо тільки те, що принаймні одна ОРД повинна бути прийнята, але не відомо, яка саме:

$$\forall A \subseteq \Theta, m_1 \vee m_2(A) = \sum_{B, C \subseteq \Theta: B \cup C = A} m_1(B) \cdot m_2(C). \quad (8)$$

Ці правила сполучення є комутативними й асоціативними. Таким чином, основний розподіл довіри, що визначається комбінацією декількох частин даних, може бути легко визначений шляхом багаторазового використання правила в будь-якому порядку їх застосування. Кон'юнктивні та диз'юнктивні правила сполучення узагальнюють операції "АБО" й "ТА" теорії множин.

Проблема прийняття рішень у контексті ПДМ була вирішена в [6].

ПДМ заснована на двох рівнях інтелектуальних модулів:

– кредальний рівень, на якому переконання та висновки описуються функціями довіри;

– пігністичний рівень (pignistic level), на якому переконання використовуються для прийняття рішень і представлені функціями ймовірності, що називаються пігністичними ймовірностями.

Зв'язок між цими двома функціями досягається шляхом пігністичного перетворення, яке створює пігністичну функцію ймовірності $BetP$, що заснована на функції довіри:

$$BetP(B) = \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) \frac{|B \cap A|}{|A|} \text{ для всіх } B \subset \Theta. \quad (9)$$

Побудова дерев рішень з використанням теорії функцій довіри. Розроблювальний метод ідентифікації дерев рішень, заснований на

застосуванні математичного апарата теорії функцій довіри, характеризується особливостями як на етапі безпосередньої ідентифікації дерева рішень, так і на етапі класифікації екземплярів з використанням отриманого дерева.

Спочатку на етапі ідентифікації дерева рішень потрібно визначити основні параметри дерева у рамках теорії функції довіри, потім розробляється метод для побудови таких дерев рішень.

Запропонований метод для ідентифікації дерев рішень використовує теорію функцій довіри та заснований на розширеному алгоритмі C4.5 [3, 4], однак враховує при цьому невизначеність деяких параметрів, пов'язаних із завданням класифікації. Таким чином, виділяються деякі відмінності при визначенні гіпотез щодо цих параметрів при їхньому використанні.

Навчальна вибірка в рамках цієї невизначеної структури являє собою множину, що складається з елементів, представлених по парах (ознаки, клас), де для кожного екземпляра, як правило, відомі значення кожної з його ознак і унікальний клас, до якого належить даний екземпляр. Така навчальна вибірка (на відміну від тих, що традиційно використовуються для побудови моделей складних об'єктів і процесів) може містити дані, у яких є деяка невизначеність щодо класів. Іншими словами кожний клас навчальної вибірки може бути невизначеним або навіть невідомим, тоді як значення ознак, що характеризують кожний екземпляр, однозначно відомі.

Пропонується представити невизначеність класу будь-якого екземпляра шляхом основного розподілу довіри, заданому на множині класів. Це ОРД, традиційно задається експертом, являє собою переконання цього експерта про фактичне значення класу для кожного екземпляра в навчальній вибірці.

Серед переваг роботи з функціями довіри необхідно відзначити те, що легко можна виразити дві граничні ситуації (повне незнання та повне знання):

– якщо невідомою є будь-яка інформація про клас екземпляра, ОРД буде являти собою порожню функцію довіри:

$$m(\Theta) = 1 \text{ і } m(C) = 0 \text{ для } C \subset \Theta; \quad (10)$$

– якщо клас екземпляра є однозначно визначеним, він буде представлений функцією довіри:

$$m(C_i) = 1 \text{ і } m(C) = 0 \text{ для всіх } C \neq C_i, C \subseteq \Theta, \quad (11)$$

де C_i – одиничний клас.

Після того, як навчальна вибірка описана, слід задати другий важливий параметр розроблювального методу – міру вибору ознаки, яка буде використовуватися для вибору тестової ознаки в кожному вузлі дерева рішень.

Ця міра дозволяє визначити кількість сили диференціації кожної ознаки щодо кожного класу. За рахунок такого підходу досягається оптимізація дерева. Часто в якості такої міри використовується інформаційний критерій Квінлана [8, 9].

У рамках розроблювального методу міра вибору ознаки розширюється, і вона дозволяє працювати з невизначеністю, використовуючи теорію функції довіри. Нехай Bel_j – функція довіри, задана на множині можливих класів, що й описує переконання експертів про фактичне значення класу, до якого належить об'єкт I_j . Нехай S – підмножина екземплярів навчальної вибірки, з якої випадковим чином вибирається один екземпляр. Функція довіри, яка описує переконання про конкретний клас, до якого належить цей випадково відібраний екземпляр, є середньою функцією довіри, що приймає екземпляр в S . Тоді:

$$Bel_s(C) = \frac{\sum_{I_j \in S} Bel_j(C)}{|S|}, \quad (12)$$

для всіх C підмножин з $\Theta = \{C_1, \dots, C_n\}$.

Слід зазначити, що ОРД і пігністичні ймовірності, пов'язані із цією середньою функцією довіри, є пропорційними до основного розподілу довіри та пігністичних ймовірностей об'єктів з S (для будь-яких підмножин C з Θ):

$$m_s(C) = \frac{\sum_{I_j \in S} m_j(C)}{|S|}, \quad (13)$$

$$BetP_s(C) = \frac{\sum_{I_j \in S} BetP_j(C)}{|S|}. \quad (14)$$

Пропонується виконувати такі етапи для визначення інформаційної значимості ознак.

1. Розрахувати функцію середньої пігністичної ймовірності $BetP_T$, виходячи з навчальної вибірки T . Потім розрахувати ентропію розподілу класів в T :

$$Info(T) = - \sum_{i=1}^n BetP_T(C_i) \log_2 BetP_T(C_i). \quad (15)$$

Грунтуючись на отриманих даних, розрахувати приріст інформації, забезпечений кожною ознакою A :

$$Gain(T, A) = Info(T) - Info_A(T). \quad (16)$$

2. Для досягнення виконання попереднього етапу необхідно розрахувати $Info_A(T)$ для кожної ознаки. Пропонується застосовувати той же підхід, що використовується для розрахунків $Info(T)$, але обмежуючись множиною екземплярів, які характеризуються однаковим значенням атрибута A , і усереднюючи ці умовні інформаційні міри.

Таким чином, для кожного значення ознаки a_m виділяється підмножина T_m отримана з екземплярів T , для яких значення відповідної ознаки дорівнює a_m . Далі розраховується середня функція довіри Bel , після чого застосовується пігністичне перетворення для розрахунку пігністичної ймовірності $Betp$. Після отриманих перетворень можна розрахувати $Info(T_m)$, при цьому T_m являє собою навчальну вибірку, у якій значення ознаки A дорівнює a_m .

3. Шукане $Info_A(T)$ буде дорівнює зваженій сумі $Info(T_m)$ щодо розглянутої ознаки. При цьому пропонується, щоб $Info(T_m)$ були навантажені пропорційно значенням кожної ознаки в навчальній вибірці:

$$Info_A(T) = \sum_{m=1}^k \frac{|T_m|}{|T|} Info(T_m) = - \sum_{m=1}^k \frac{|T_m|}{|T|} \sum_{i=1}^n BetP_{T_m}(C_i) \cdot \log_2 BetP_{T_m}(C_i). \quad (17)$$

4. Після того, як обчислені інформаційні значимості ознак, вибирається ознака з найбільшою інформаційною значимістю.

Крім вибіркової міри ознаки, також повинні бути визначені два інші важливі параметри роботи методу:

- стратегія поділу: необхідно створити гілки для кожного значення ознаки;

- критерій зупинення: дозволяє припиняти розширення дерева та визначати вузол як лист. Таким чином, визначається, чи необхідно розділяти навчальну підмножину далі. У контексті розроблюваного методу запропоновані такі варіанти критерію зупинення.

1. Якщо створений вузол покриває тільки один екземпляр, то даний вузол оголошується як лист, який характеризується тим ОРД, який уже визначений у навчальній вибірці.

2. Якщо вже немає подальшої ознаки для аналізу або якщо критерій інформаційної значимості для ознак, що залишилися, є меншим нуля, тоді вузол оголошується листом, де його ОРД буде результатом кон'юнктивного сполучення ОРД екземплярів, що відносяться до даного листа, розрахованого за законом Демпстера.

На відміну від традиційного дерева рішень, у якому кожний лист визначає унікальний клас, запропонований метод призначає кожному листу ОРД, виражаючи, таким чином, множину переконань про різні класи структури розпізнавання.

Нехай T – навчальна вибірка, що складається з екземплярів, що характеризуються ознаками $(A_1, A_2, \dots, A_m)$, і які можуть належати множині класів $\Theta = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$. Кожному об'єкту $I_j (j = 1, \dots, p)$ з навчальної вибірки буде відповідати основний розподіл довіри, що виражає кількість переконань, які відносяться до підмножини класів.

Таким чином, розроблений метод містить етапи, описані нижче.

1. Генерація кореневого вузла дерева рішень, що включає всі об'єкти навчальної вибірки.

2. Перевірка задоволення поточного вузла критерію зупинення:

– якщо перевірка дала позитивний результат, то вузол оголошується листом і розраховується його ОРД так, як було описано вище;

– в іншому випадку – знайти ознаку з найбільшою інформаційною значимістю. Ця ознака буде розглядатися як корінь дерева рішень, пов'язаний з усією навчальною вибіркою.

3. Застосування стратегії поділу з метою створення гілки для кожного значення ознаки, обраної як корінь. Цей поділ веде до декількох навчальних підмножин.

Етапи 2 і 3 повторюються для кожної навчальної підмножини доти, поки вузол не буде оголошений як лист.

4. Зупинення побудови дерева рішень відбувається тоді, коли всі вузли останнього рівня дерева є листами.

Варто відзначити, що запропонований метод одержує такі ж результати як метод C4.5, якщо всі ОРД є однозначно визначеними. Така ситуація виникає, якщо клас кожного екземпляра з навчальної вибірки є унікальним і однозначно відомим.

Після того, як була зроблена ідентифікація дерева рішень, можна виконувати класифікацію екземплярів, що не відносяться до навчальної вибірки.

3 однієї сторони запропонований метод може забезпечити традиційну класифікацію, при якій передбачається, що невизначені значення ознак будуть визначені. При такому підході, класифікацію слід виконувати в такий спосіб: починаючи з кореневого вузла й повторюючи перевірку ознаки на кожному вузлі, відбуваються відповідні переходи доти, поки не буде досягнутий лист. На відміну від традиційного дерева рішень, у якому кожному листу відповідає унікальний клас, у дереві рішень, побудованому за допомогою запропонованого методу, невизначені класи екземплярів визначаються за рахунок основного розподілу довіри, який відповідає досягнутому листу. Щоб одержати рішення і визначити ймовірність кожного окремого класу, пропонується застосувати пігністичне перетворення до основного розподілу довіри, і використовувати розподіл ймовірності, щоб розрахувати очікувану ефективність, необхідну для прийняття оптимального рішення.

З іншого боку, оскільки робота виконується з невизначеною вибіркою даних, розроблений метод класифікації дозволяє також класифікувати невизначені екземпляри, які характеризуються невизначеністю в значеннях їх ознак. У запропонованому методі передбачається, що нові екземпляри, які необхідно класифікувати, описані не тільки певними значеннями ознак, а також можуть характеризуватися невизначеними значеннями для деяких ознак. Крім того, навіть можуть бути ознаки з невідомими значеннями. Класифікація таких об'єктів полягає в пошуку листів, які можуть належати до розглянутого екземпляра, відслідковуючи всі можливі шляхи, викликані різними значеннями ознаки. У випадку невідомих значень, беруться до уваги всі розгалуження щодо розглянутої ознаки.

Як наслідок розглянутий екземпляр може належати до декількох листів, кожний з яких характеризується функцією основного розподілу довіри. Отримані ОРД повинні бути об'єднані, щоб одержати переконання щодо можливого класу екземпляра. Диз'юнктивне правило об'єднання, розроблене Сметсом [7], є прийнятним, оскільки воно припускає, що як мінімум один шлях є вірним. Так, у спрощеному випадку, в якому було виділено тільки два листи для розглянутого екземпляра, і клас екземплярів у першому листі A , а в другому – B , єдиним висновком із цього може бути те, що клас розглянутого екземпляра є або A , або B , тобто це і є диз'юнктивне правило.

ОРД, отримане на підставі диз'юнктивного правила, може бути перетворене у функцію ймовірності шляхом застосування пігністичного перетворення. Це дозволяє обчислити ймовірність приналежності розглянутого екземпляра окремому класу розглянутої проблемної області.

Експерименти та результати. Запропонований метод побудови дерев рішень на основі теорії функцій довіри був програмно реалізований у середовищі пакета Matlab 7.0.

Для експериментів використовувалася вибірка, що характеризувала випробування, проведені для визначення працездатності кузовів автомобілів [10]. Вибірka характеризується 46 ознаками, які описували стан 38 екземплярів. Ознаки характеризують значення зазорів і сполучень в 46 контрольних крапках, розташованих по всьому кузову автомобіля. При цьому в якості вихідних відгуків розглядалося 16 параметрів, що впливають на стан кузова автомобіля.

Таким чином, для кожного з вихідних відгуків були побудовані дерева рішень з використанням як запропонованого методу, так і з використанням методу CART. Після цього побудовані дерева рішень використовувалися для прогнозування значень вихідних відгуків на тестовій вибірці з розмірністю, аналогічною розмірності навчальної вибірки, яка характеризувалася невизначеністю значень деяких ознак. На основі отриманих значень вихідних параметрів для тестової вибірки були розраховані параметри роботи методів (усереднені значення) при прогнозуванні значень вихідних параметрів для тестової вибірки, які представлені в табл.

Таблиця

Результати роботи методів побудови дерев рішень

№	Метод ідентифікації дерева розв'язків	Усереднені характеристики роботи синтезованих дерев		
		Помилка прогнозування, %	Час роботи, с.	Кількість вузлів дерева, шт.
1	CART	4,3	57,1	35,1
2	Запропонований метод	1,2	52,3	32,3

Як видно з таблиці, дерева рішень, одержані з використанням запропонованого методу характеризуються меншою помилкою прогнозування та меншою складністю самого дерева, що сприяє кращій інтерпретабельності дерева.

Висновки. У роботі вирішено актуальне завдання автоматизації синтезу дерев рішень по прецедентах в умовах неповноти даних.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропонований новий метод ідентифікації дерев рішень, у якому розраховуються пігністичні ймовірності віднесення екземплярів до класів на основі теорії функцій довіри, що дозволяє виконувати класифікацію екземплярів в умовах невизначеності або неповноти даних.

Розроблений метод відрізняється від існуючих методів ідентифікації дерев рішень фазою побудови дерева, оскільки враховується невизначеність, яка характеризує класи навчальних екземплярів за рахунок використання функцій довіри. Запропонований метод характеризується особливою процедурою класифікації нових екземплярів, значення ознак яких можуть бути невизначені, що дозволяє виконувати класифікацію неоднозначно заданих екземплярів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що на основі запропонованого методу розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє вирішувати завдання класифікації в умовах невизначеності або неповноти вихідних даних.

Список літератури: 1. *Субботін С.О.* Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень : навч. посібник / *С.О. Субботін*. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с. 2. *Лбов Г.С.* Анализ статистических данных с использованием деревьев решений [электронный ресурс] / *Г.С. Лбов, В.Б. Бериков*. – Режим доступа: <http://math.nsc.ru/AP/datamine/decisiontree.htm>. 3. *Rokach L.* Data Mining with Decision Trees. Theory and Applications / *L. Rokach, O. Maimon*. – London : World Scientific Publishing Co, 2008. – 264 p. 4. *Classification and regression trees* / *L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, C.J. Stone*. – California : Wadsworth & Brooks, 1984. – 368 p. 5. *Smets P.* The transferable Belief Model / *P. Smets, R. Kennes* // *Artificial Intelligence*. – 1994. – № 66. – P. 191–234. 6. *Shafer G.* A mathematical theory of evidence / *G. Shafer*. – New Jersey : Princeton University Press, 1976. – 246 p. 7. *Smets P.* Belief functions: the disjunctive rule of combination and the generalized Bayesian theorem / *P. Smets* // *International Journal of Approximate Reasoning*. – 1993. – № 9. – P. 1–35. 8. *Quinlan J. R.* Induction of decision trees / *J.R. Quinlan* // *Machine Learning*. – 1986. – № 1. – P. 81–106. 9. *Quinlan J. R.* C4.5: Programs for machine learning / *J.R. Quinlan*. – San Mateo : Morgan Kaufmann, 1993. – 312 p. 10. *Гофман Е. А.* Использование деревьев решений для диагностирования автотранспортных средств / *Е.А. Гофман, А.А. Олейник, С.А. Субботин* // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг: II Международная научно-техническая конференция ИУС и КМ-2011, 2011 г.: материалы конференции. – Донецк, 2011. – С. 159–163.

УДК 004.93

Синтез деревьев решений на основе выборок данных с пропущенными значениями / Гофман Е.А., Олейник А.А., Субботин С.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 35 – 45.

Рассмотрена задача построения моделей в виде деревьев решений на основе выборок данных с пропущенными значениями. Предложен новый метод идентификации деревьев решений, который использует теорию функций доверия для работы в условиях неопределенности параметров при решении задачи автоматической классификации по признакам. Разработанный метод позволяет идентифицировать структуру и параметры деревьев решений. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: дерево решений, идентификация, классификация, неопределенность, функция доверия.

UDC 004.93

Decision trees synthesis based on data samples with missing values / Gofman E.A., Oliinyk A.A., Subbotin S.A. // Herald of the National State University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NSU "KhPI". – 2011. – № 36. – С. 35 – 45.

The problem of constructing models in the form of decision trees based on data samples with missing values is considered. A new method of the identification of decision trees, which uses the theory of confidence functions to work in conditions of parameters uncertainty in solving the problem of automatic classification is proposed. The developed method allows us to identify the structure and parameters of decision trees. Tabl.:1. Refs.: 9 titles

Keywords: decision tree, identification, classification, uncertainty, belief function.

Поступила в редакцію 03.09.2011

О.К. ДИДИК, к.т.н., доц. каф. АВП КНТУ, м. Кіровоград,
М.С. МІРОШНИЧЕНКО, асистент кафедри АВП КНТУ,
м. Кіровоград

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТОКУ ХЛІБНОЇ МАСИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

В статті приведена процедура синтезу оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси на прикладі зернозбирального комбайну КЗС-9-1 "Славутич". Визначені структура та параметри оптимального багатовимірного регулятора, застосування якого дало б змогу підвищити продуктивність зернозбирального комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: оптимальна система стабілізації, потік хлібної маси, зернозбиральний комбайн, багатовимірний регулятор.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день одним з напрямків розвитку зернозбиральної техніки є підвищення продуктивності. Можливим шляхом вирішення даного питання, що не потребує внесення суттєвих змін в конструкцію комбайну є застосування оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси у молотарці зернозбирального комбайну. Дана система крім підвищення продуктивності комбайну дасть змогу покращити якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. Тому розробка даної системи є актуальною на сьогоднішній день, оскільки вітчизняна зернозбиральна техніка не обладнана такого роду системами.

Аналіз літератури. Про необхідність стабілізації потоку хлібної маси для підвищення продуктивності зернозбирального комбайну, зменшення втрат та покращення якості зерна говорять багато вчених [1 – 4]. На сьогоднішній день існує багато розробок систем стабілізації потоку хлібної маси [1, 3, 4]. Але на комбайнах, що випускаються в країнах СНД впровадження даних розробок гальмується недостатньою їх якістю. Основним недоліком даних систем є те, що вони не враховують динамічних властивостей об'єкту стабілізації та зовнішніх збурень, які суттєво впливають на точність стабілізації. Застосування алгоритмів сучасної теорії управління [5 – 8] та врахування динамічних властивостей елементів системи та зовнішніх збурень [9, 10] дають можливість підвищити точність стабілізації потоку хлібної маси, а разом з тим продуктивність та якість збору зернових культур.

Мета статті. Визначити структуру та параметри оптимального багатовимірного регулятора системи стабілізації потоку хлібної маси, застосування якого дало б змогу підвищити продуктивність зернозбирального комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна.

Основні матеріали досліджень. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну виконувався відповідно до алгоритму наведеного в [8]. Для цього система була приведена до вигляду зображеного на рис., де M_0 та P_0 – поліноміальні матриці, що описують рух об'єкту стабілізації, K_0 – матриця передаточних функцій вимірювачів потоку хлібної маси та урожайності, W – матриця передаточних функцій регулятора, x_0 , u – вихідний та вхідний сигнали об'єкту стабілізації, ψ_0 – вектор збурень, що діють в системі, φ_0 – вектор шумів вимірювачів.

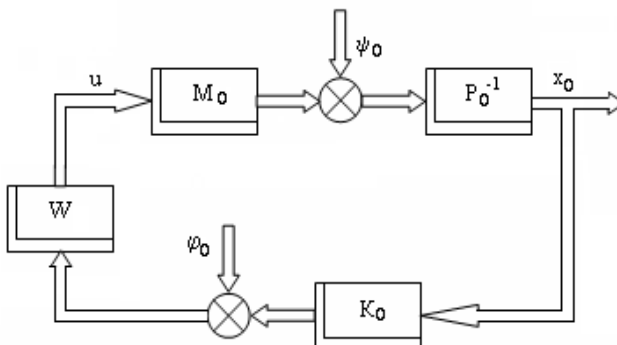


Рис. Структурна схема еквівалентної системи стабілізації

Виходом об'єкту стабілізації є потік хлібної маси, а управляючим сигналом – положення ручки управління швидкістю комбайну. Збуреннями в даній системі є зміна урожайності по ходу руху комбайну, нерівності поля та власні шуми гідротрансмісії й інших елементів комбайну. В результаті виконання ідентифікації [9, 10] та структурних перетворень були одержані наступні вихідні дані для розрахунку оптимального регулятора W :

– об'єкт описується поліноміальними матрицями

$$M_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad P_0 = \begin{bmatrix} 0,099 \cdot s \cdot (s + 3) & -0,099 \cdot s \cdot (s + 3) \\ 0 & 0,389 \end{bmatrix}; \quad (1)$$

– вимірювачі описуються матрицею

$$K_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2,57 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

– матриця спектральних щільностей збурень

$$S_{\psi_0\psi_0} = \begin{bmatrix} \frac{-1,624 \cdot 10^{-5} \cdot (s+1,5) \cdot (s-1,5)}{s^2 \cdot (s+0,04) \cdot (s-0,04)} & 0 \\ 0 & \frac{-3,9 \cdot 10^{-6}}{(s+0,01) \cdot (s-0,01)} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

– матриця спектральних щільностей шумів вимірювачів

$$S_{\varphi_0\varphi_0} = \begin{bmatrix} 2,58 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 3,9 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для розрахунку був взятий наступний функціонал якості [8]

$$J = \langle x_0 R x_0' \rangle + \langle u C u' \rangle, \quad (5)$$

де R , C – невід’ємно визначені поліноміальні вагові матриці; " ' " – знак транспонування; $\langle \rangle$ – знак математичного очікування.

Для розрахунків вагові коефіцієнти функціоналу якості приймаємо $R = 1$, $C = 1$. Далі виконуємо розрахунки відповідно до алгоритму.

Знаходимо вираз $G_* G$ та виконуємо факторизацію праворуч

$$G_* G = 0,0098 \cdot (s^2 + 14,5 \cdot s + 100) \cdot (s^2 - 14,5 \cdot s + 100); \quad (6)$$

$$G = 0,099 \cdot (s^2 + 14,5 \cdot s + 100). \quad (7)$$

Знаходимо дробово-раціональний вираз Γ

$$\Gamma = \frac{(s^2 + 14,5 \cdot s + 100)}{s \cdot (s + 3)}. \quad (8)$$

Далі відповідно до алгоритму [8] визначимо дробово-раціональну матрицю DD^* та виконаємо факторизацію ліворуч даної матриці. Оскільки в подальших розрахунках необхідна обернена матриця D^{-1} , тому виконаємо одразу й обернення результату факторизації

$$DD_* = \begin{bmatrix} DD_{11} & DD_{21} \\ DD_{12} & DD_{22} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned} DD_{11} &= \frac{2,595 \cdot 10^{-5} |(s+3)(s+0,71)(s^2+0,78 \cdot s+0,56)|^2}{s^2 \cdot (s+0,04) \cdot (s-0,04)}; \\ DD_{12} &= -2,275 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot (s-3); \\ DD_{21} &= -2,275 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot (s+3); \\ DD_{22} &= \frac{8,918 \cdot 10^{-6} (s+0,66)(s-0,66)}{(s+0,01) \cdot (s-0,01)}. \end{aligned}$$

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{21} \\ D_{12} & D_{22} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де

$$\begin{aligned} D_{11} &= \frac{196s(s+0,04)}{(s+3)(s+0,73)(s^2+0,78s+0,56)}; \\ D_{12} &= \frac{29,7s(s+0,57)(s+0,04)}{(s+3)(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)}; \\ D_{21} &= \frac{-45(s+0,01)(s^2+0,96s+0,38)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)}; \\ D_{22} &= \frac{338(s+0,01)(s+0,7)}{(s+0,73)(s+0,65)}. \end{aligned}$$

Знаходимо матрицю N та виконуємо її сепарацію згідно алгоритму [8]. В результаті одержуємо

$$N_0 + N_+ = \begin{bmatrix} \frac{0,08(s^2+0,73s+0,25)}{s^2(s+0,04)} & \frac{0,013(s^2+0,56s+0,2)}{s^2(s+0,04)} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Далі знаходимо матриці F_u^Ψ та F_x^Ψ

$$F_u^\Psi = [F_1 \quad F_2], \quad (12)$$

де

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{-16(s+0,66)(s^2+0,73s+0,25)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)}; \\ F_2 &= \frac{-4,3s(s+0,47)(s+3)(s^2+0,68s+0,33)}{(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)}. \end{aligned}$$

$$F_x^\Psi = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{21} \\ F_{12} & F_{22} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

де

$$F_{11} = \frac{10s(s+0,66)(s+0,04)(s^2+16s+123)}{(s+3)(s+0,73)(s+0,65)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)};$$

$$F_{12} = 0;$$

$$F_{21} = \frac{2,57(s+0,36)(s+0,034)(s+0,027)(s^2+0,24s+0,17)(s^2+16s+124)}{(s+0,73)(s+0,65)(s+0,04)(s^2+0,78s+0,56)(s^2+14,5s+100)};$$

$$F_{22} = 6,61.$$

З одержаних результатів (12), (13) згідно алгоритму [8] знаходимо матрицю оптимального регулятора W

$$W = [W_1 \quad W_2], \quad (14)$$

де

$$W_1 = \frac{-1,6(s+0,66)(s+3)(s^2+0,73s+0,25)}{s(s+0,661)(s+0,04)(s^2+16s+123)};$$

$$W_2 = \frac{-0,024(s-5,49)(s+3)(s+0,23)(s+0,028)}{s(s+0,661)(s+0,04)(s^2+16s+123)}.$$

Висновок. Таким чином одержана структура та параметри матриці передаточних функцій оптимального регулятора системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну. Моделювання роботи даної системи показало, що застосування даного регулятора дає можливість на порядок зменшити середньоквадратичне відхилення коливань потоку відносно пропускної здатності молотарки, що дасть змогу підвищити продуктивність комбайну, якість зібраного урожаю та зменшити втрати зерна. В подальшому необхідно провести дослідження якості роботи даної системи при варіюванні параметрів об'єкту стабілізації та спектральних щільностей збурень, що діють на систему стабілізації потоку хлібної маси.

Список літератури: 1. *Войтюк Д.Г.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / *Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.* – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с. 2. *Долгов И.А.* Уборочные сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория, расчет): Учебник. / *И.А. Долгов* – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 707 с. 3. *Гельфенбейн С.П.* Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах / *С.П. Гельфенбейн, В.Л. Волчанов.* – М.: Агропромиздат, 1986. – 264 с. 4. *Карпенко А.Н.* Сельскохозяйственные машины [Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений] / *А.Н. Карпенко, В.М. Халанский.* – М.: Колос, 1983. – 495 с. 5. *Азарсков В.Н.* Методология конструирования систем стохастической стабилизации: Монография / *В.Н. Азарсков, Л.Н. Блюхин, Л.С. Житецкий.* – К.: НАУ, 2006. – 440 с.

6. Алиев Ф.А. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления / Ф.А. Алиев, В.Б. Ларин, В.Ц. Сунцев. – К.: Наук. думка, 1978. – 327 с. 7. Блохін Л.М. Статистична динаміка систем управління: Підручник / Л.М. Блохін, М.Ю. Буриченко. – К.: НАУ, 2003. – 208 с. 8. Осадчий С.І. Синтез оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню / С.І. Осадчий, О.К. Дідик, М.С. Віхрова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 102 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 71 – 73. 9. Каліч В.М. Вплив конструктивних особливостей гідротрансмісії на її динамічні характеристики / В.М. Каліч, С.І. Осадчий, М.С. Віхрова, С.М. Касімов // 36. наук. праць КНТУ / Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 18. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С. 242 – 244. 10. Дідик О.К. Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту / О.К. Дідик, М.С. Віхрова // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 40. – Ч. І. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 99 – 103.

Стаття представлена д.ф.-м.н. проф. КНТУ Гамалієм В.Ф.

УДК 62.505:681.513

Синтез оптимальной системы стабилизации потока хлебной массы зерноуборочного комбайна / Дидык А.К., Мирошніченко М.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 46 – 51.

В статье приведена процедура синтеза оптимальной системы стабилизации потока хлебной массы на примере зерноуборочного комбайна КЗС-9-1 "Славутич". Определены структура и параметры оптимального многомерного регулятора, применение которого позволило бы повысить производительность зерноуборочного комбайна, качество собранного урожая и уменьшить потери зерна. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: оптимальная система стабилизации, поток хлебной массы, зерноуборочный комбайн, многомерный регулятор.

UDC 62.505:681.513

Synthesis of the optimal stabilization of grain mass flow combine harvester / Didyk A.K. Miroshnichenko M.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 46 – 51.

The article describes the procedure of synthesis of optimal system stabilization of grain mass flow on the example of combine harvester KZS-9-1 "Slavutich". Determined the optimal structure and parameters of the multidimensional control, the use of which would improve the performance of the combine harvester, the quality of the crop and reduce grain losses. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: optimal system stabilization, grain mass flow, combine harvester, multidimensional control

Надійшла до редакції 30.06.2011

УДК 681.3

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д.т.н., проф. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
Т.В. ГЛАДКИХ, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
С.Ю. ЛЕОНОВ, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ К-ЗНАЧНЫХ НЕЙРОНОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РИСКОВ СБОЕВ

Выполнена разработка модуля, позволяющего с помощью K -значной нейронной сети автоматизировать диагностику проектируемых сложных вычислительных устройств, имеющих повышенное быстродействие. Этот модуль работает совместно с системой моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления и получает из нее K -значные сигналы. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: K -значная нейронная сеть, система моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления, K -значные сигналы, риски сбоев.

Постановка проблемы. В современных вычислительных устройствах с большой плотностью размещения компонентов очень часто возникают ситуации, когда при функционировании компонент возникают риски сбоев на их выходах. Риски сбоев могут возникать как из-за рассинхронизации последовательностей сигналов управления или данных, так и из-за "плавающих" задержек в отдельных составляющих СБИС. Работа СБИС в этом случае очень трудно поддается диагностике, поскольку такие сбои носят нерегулярный характер.

Большое преимущество при проектировании современных устройств повышенной степени интеграции может дать использование системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления [1]. Она позволяет представлять логические сигналы квантованными в K -значном алфавите, что значительно повышает точность моделирования при проектировании сложных устройств и увеличивает возможность выявления сбоев и рисков сбоев, обусловленных рассогласованием временных параметров сигналов и несоответствием амплитуд входных и выходных сигналов отдельных составляющих.

Для увеличения возможностей при проектировании современных устройств, заложенных в системе на основе K -значного дифференциального исчисления для выявления возможных сбойных ситуаций, предлагается использовать эту систему совместно с K -значными нейронными сетями, которые позволят автоматизировать диагностику рисков сбоев в проектируемых устройствах.

Анализ литературы. Работы по использованию дифференциального исчисления, вначале булевого, при моделировании

цифровых вычислительных устройств, начались еще в 80-х годах в работах Д. Бохмана и Х. Постхофа [2 – 4] в Германии. В дальнейшем вместо булевого дифференциального исчисления для моделирования вычислительных устройств было разработано K -значное дифференциальное исчисление [5] и на его основе создана система автоматизированного проектирования [6], использующая моделирование цифровых устройств в K -значном алфавите. Эта система для автоматизации диагностирования была дополнена K -значной нейронной сетью, работающей по правилу Хебба [7] и позволяющей автоматизировано выявлять риски сбоев в 13-значном алгоритме Фантози [8]. В статье рассматривается разработка K -значной нейронной сети, позволяющей выявлять риски сбоев, обусловленные "плавающими" задержками и разбросом временных параметров на выходе отдельных логических элементов в 13-значном алфавите Фантози. Однако полученную нейронную сеть не удавалось обучать распознавать сигналы из алфавита Фантози при больших интервалах задержек сигналов друг относительно друга. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования для расширения возможностей диагностирования устройств, имеющих сложную структуру элементов с различной технологией изготовления и большим разбросом параметров задержек.

Цель статьи – разработка модуля, представляющего собой K -значную нейронную сеть, и позволяющего автоматизировать выполнение диагностики сбойных ситуаций при проектировании сложных быстродействующих вычислительных устройств, проектируемых с помощью системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления.

Построение математической модели. Предложена K -значная нейронная сеть, позволяющая выявлять риски сбоев в 13-значном алфавите Фантози для K -значных логических сигналов. На рис. 1 проиллюстрированы все тринадцать видов сигналов, полученных в системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления при $K = 7$.

В соответствии с рисунком имеем тринадцать видов сигналов: сигнал вида " $_0$ " соответствует статическому сигналу нулевого уровня, значение " $_1$ " – значению уровня статической "единицы". Далее " $_A$ " соответствует переходу из нуля в неопределенность, " $_B$ " – переходу из единицы в неопределенность, " $_E$ " – гладкому переходу из нуля в единицу, " $_F$ " – динамическому риску сбоя при переключении из нуля в единицу, " $_H$ " – гладкому переходу из единицы в нуль, " $_I$ " – переходу из неопределенности в единицу, " $_L$ " – динамическому риску сбоя при

переключении из единицы в нуль, " $_P$ " – статическому риску сбоя в нуль, " $_O$ " – переходу из неопределенности в нуль, " $_V$ " – статическому риску сбоя в единицу, " $_X$ " – неопределенности.

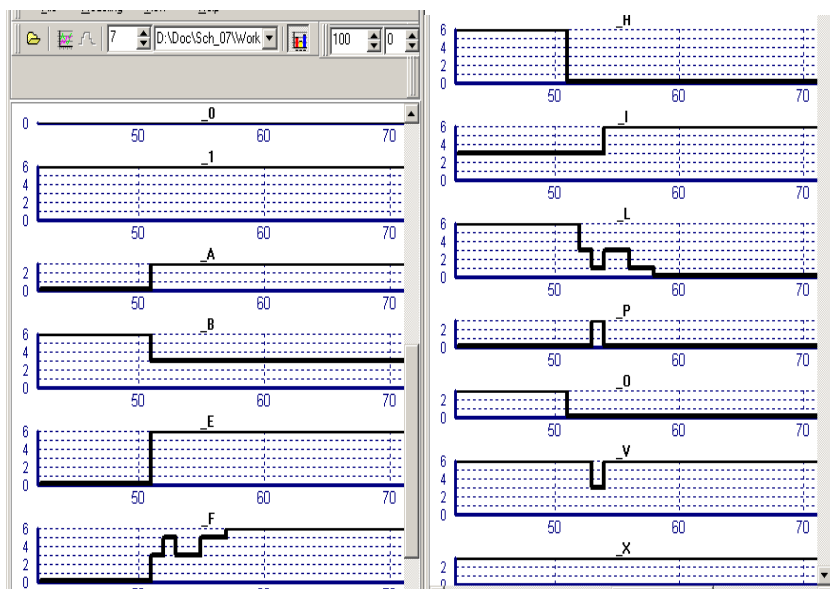


Рис. 1. Представление тринадцати видов сигналов в K -значном виде при использовании семизначного алфавита

При K -значном представлении сигналов цифровых устройств получим следующие 13 видов сигналов и сбоев: сигнал вида " $_0_K$ " – соответствует статическому бинарному сигналу нулевого уровня, значение " $_K - 1$ " – значению уровня статической бинарной "единицы", " $_K - 1/2$ " – значению неопределенности " $_X_K$ " при бинарном представлении сигналов, " $_A_K$ " – соответствует переходу из нуля в неопределенность " $_K - 1/2$ ", " $_B_K$ " – переходу из " $_K - 1$ " в неопределенность " $_K - 1/2$ ", " $_E_K$ " – переходу из нуля в " $_K - 1$ ", " $_F_K$ " – динамическому риску сбоя при переключении из нуля в " $_K - 1$ ", " $_H_K$ " – нормальному переходу из $(K - 1)$ в нуль, " $_I_K$ " – переходу из неопределенности " $_K - 1/2$ " в $(K - 1)$, " $_L_K$ " – динамическому риску сбоя при переключении из $(K - 1)$ в нуль, " $_P_K$ " – статическому риску сбоя в нуль, " $_O_K$ " – переходу из неопределенности " $_K - 1/2$ " в нуль, " $_V_K$ " – статическому риску сбоя в $(K - 1)$.

Каждый из этих сигналов может появляться на выходах элементов и устройств в интервале времени [1, 15] нс, что обусловлено разбросом времени задержки t_3 отдельных логических элементов, составляющих структуру СБИС. Некоторые из сигналов приведены в табл.

Таблица

Десять видов сигналов при $K=7$.

t	$_E$		$_A$		$_H$		$_B$		$_I$		$_O$		$_P$		$_V$		$_F$		$_L$	
1	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2	2	2	0	0	6	6	0	0	6	6
2	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2	2	2	0	0	6	6	0	0	6	6
3	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2	2	2	0	0	6	6	0	0	6	6
4	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2	2	2	0	0	6	6	3	0	4	6
5	3	0	3	0	3	6	3	6	3	2	2	2	2	0	4	6	3	3	3	4
6	5	0	4	0	1	6	2	6	5	2	1	2	3	0	3	6	1	3	3	3
7	5	0	4	0	1	6	2	6	5	2	1	2	3	0	3	6	2	1	5	3
8	6	0	4	0	0	6	2	6	6	2	0	2	0	0	6	6	5	2	4	5
9	6	3	4	3	0	3	2	3	6	3	0	2	0	2	6	4	6	5	1	4
10	6	5	4	4	0	1	2	2	6	5	0	1	0	3	6	3	6	6	0	1
11	6	5	4	4	0	1	2	2	6	5	0	1	0	3	6	3	6	6	0	0
12	6	6	4	4	0	0	2	2	6	6	0	0	0	0	6	6	6	6	0	0
13	6	6	4	4	0	0	2	2	6	6	0	0	0	0	6	6	6	6	0	0
14	6	6	4	4	0	0	2	2	6	6	0	0	0	0	6	6	6	6	0	0
15	6	6	4	4	0	0	2	2	6	6	0	0	0	0	6	6	6	6	0	0

В первом столбце таблицы находятся значения моментов времени, в пределах которого плавают задержки выходных сигналов. Далее в таблице приведены пары десяти различных 7-значных сигналов из алфавита Фантози, смещенных один относительно другого из-за наличия различных задержек на выходе микросхемы. Эти задержки находятся в пределах максимальной задержки выходного сигнала данной микросхемы. В частности, во втором и третьем столбцах таблицы приведены два сигнала, соответствующие переходу из нуля в логическую единицу при $K=7$. В четвертом и пятом столбцах таблицы приведены сигналы, соответствующие переходу из нуля в неопределенность, и т.д.

На рис. 2 приведена архитектура нейронной сети, распознающей сигналы из алфавита Фантози. S - и R -нейроны имеют K -значную функцию активации:

$$f_{actR} = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх}} \leq 0, \\ U_{\text{вх}}, & \text{если } U_{\text{вх}} \in \{1, 2, \dots, K-1\}, \\ K-1, & \text{если } U_{\text{вх}} \geq K-1. \end{cases}$$

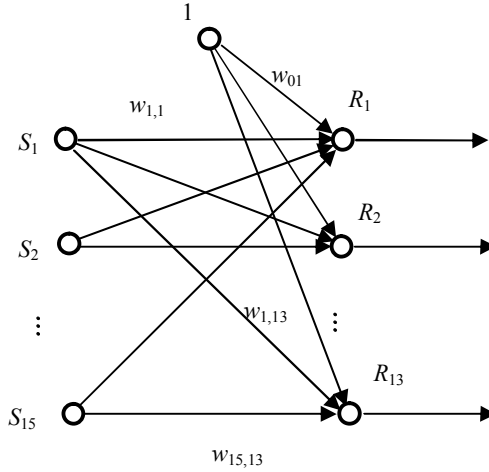


Рис. 2. K -значная нейронная сеть

На входные нейроны сети $S_1, S_2, \dots, S_{15}$ подаются квантованные по времени и амплитуде сигналы с выходов отдельных элементов из системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления. Выходные сигналы S -нейронов повторяют их входные сигналы:

$$U_{\text{вых}Sj} = U_{\text{вх}Sj}, \quad j = \overline{1, 15}.$$

Вектор выходных сигналов S -нейронов поступает на входы выходного слоя нейронной сети, состоящей из тринадцати K -значных нейронов (рис. 2).

Значения входных сигналов R -нейронов вычисляются по формуле

$$U_{\text{вх}Rj} = \sum_{i=1}^{15} U_{\text{вых}Si} w_{ij} + w_{0j}, \quad j = \overline{1, 13},$$

где w_{ij} – вес связи между i -м входным и j -м выходным нейронами сети ($i = \overline{1, 15}$, $j = \overline{1, 13}$); w_{0j} – вес связи смещения j -го нейрона, $j = \overline{1, 13}$.

Выходные сигналы R -нейронов рассчитываются с учетом K -значной функции активации и определяются выражением

$$U_{\text{вых}Rj} = f_{\text{act}R}(U_{\text{вх}Rj}).$$

При обучении нейронной сети выходные сигналы R -нейронов определялись следующим образом:

$$U_{\text{вых}Rj} = \begin{cases} K-1, & \text{если вектор входных сигналов} \\ & S_1, \dots, S_{15} \text{ соответствует } j\text{-му сигналу} \\ & \text{алфавита Фантози,} \\ 0, & \text{в противном случае, } j = \overline{1, 13}. \end{cases}$$

Обучение нейронной сети осуществлялось с помощью эвристического алгоритма, выполняющего коррекцию весов связей и смещений при наличии ошибок на выходе нейронной сети:

$$Err_j = \text{sign}(U_{\text{вых}Rj}^{\text{зад}} - U_{\text{вых}Rj}),$$

где $U_{\text{вых}Rj}$ – значение сигнала на выходе нейрона R_j ; $U_{\text{вых}Rj}^{\text{зад}}$ – требуемое значение выходного сигнала.

Наличие ненулевой ошибки требует коррекции весов связей и смещения:

$$w_{ij}^{\text{new}} = w_{ij}^{\text{old}} + \Delta w_{ij}, \quad b_j^{\text{new}} = b_j^{\text{old}} + \Delta b_j,$$

где $\Delta w_{ij} = Err_j \times S_i \eta$, $\Delta b_j = Err_j \times (K-1) \eta$, где η – постоянный коэффициент, который при $K = 7$ может принимать значения из множества $(\frac{1}{6}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$.

Коррекция выполняется до тех пор, пока реакция нейронной сети на входную комбинацию не будет соответствовать требуемой.

Результат тестирования нейронной сети приведен на рис. 3. На рисунке приведено 20 входных сигналов из 10 классов рисков сбоя. Каждый класс риска сбоя представлен двумя сигналами, сдвинутыми друг относительно друга из-за наличия плавающей задержки в элементах.

В частности, первыми приведены реакции нейронной сети на два сигнала из класса " E_K ", причем второй сигнал сдвинут относительно первого на 4 нс. При этом при обучении нейронной сети каждому сигналу этого класса риска сбоев соответствовала значение "6" на выходе первого R -нейрона и нулевых сигналов на выходе остальных нейронов во всем диапазоне плавающих задержек сигналов.

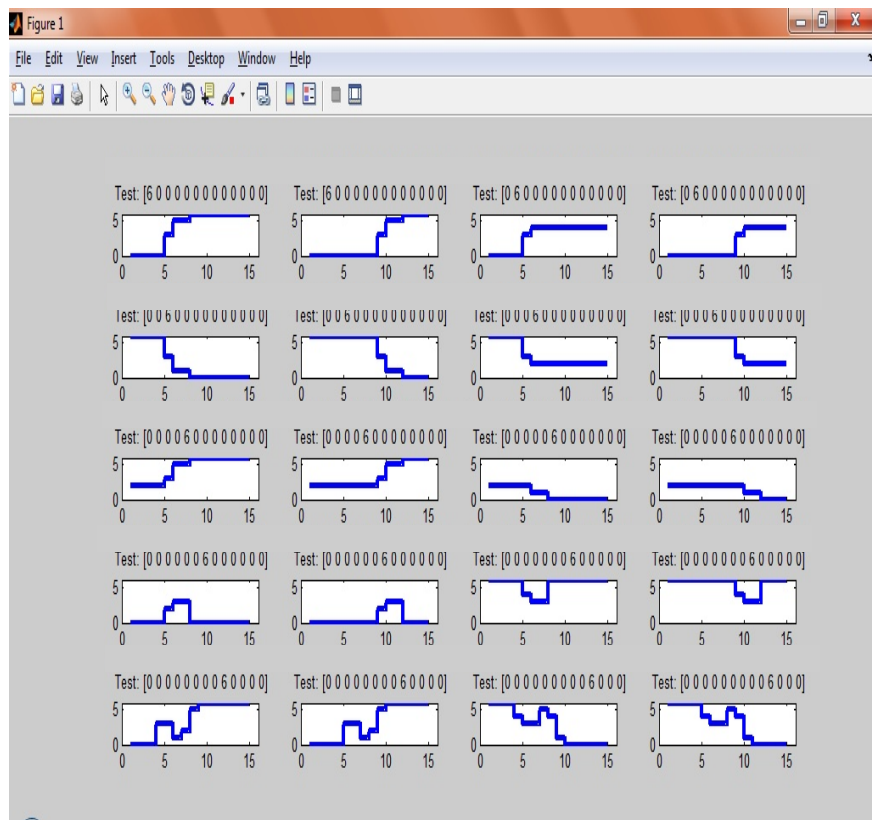


Рис. 3. Результат тестирования K -значной нейронной сети

Это соответствует выходным сигналам нейронов сети, приведенным над изображением первых двух сигналов. Аналогично представлены сигналы других рисков сбоев: A_K , H_K , ..., L_K , и соответствующие им выходные сигналы нейронной сети.

На рис. 4 приведены веса связей сети после ее обучения.

Figure 2

File Edit View Insert Tools Desktop Window Help

Веса связей

X 1	-6	-38	-8	-12	22	-8	-6	24	-24	6	0	0	0
X 2	-6	-38	-8	-12	22	-8	-6	24	-24	6	0	0	0
X 3	-6	-38	-8	-12	22	-8	-6	24	-24	6	0	0	0
X 4	-15	-188	44	244	105	0	-6	-19	32	-16	0	0	0
X 5	-36	78	28	-312	-380	19	0	-34	66	-18	0	0	0
X 6	-2	-147	25	285	250	-23	3	18	-13	-10	0	0	0
X 7	-5	19	-27	29	125	-31	3	-33	-61	12	0	0	0
X 8	23	80	-11	-55	-123	25	-6	30	-3	22	0	0	0
X 9	5	-2	-5	-112	-70	2	-2	-16	21	0	0	0	0
X 10	2	-39	-12	70	79	-35	0	-8	1	-13	0	0	0
X 11	2	-39	-3	85	79	-6	0	5	4	-17	0	0	0
X 12	4	8	-36	-16	-2	-6	-6	8	-6	-12	0	0	0
X 13	4	8	-36	-16	-2	-6	-6	8	-6	-12	0	0	0
X 14	4	8	-36	-16	-2	-6	-6	8	-6	-12	0	0	0
X 15	4	8	-36	-16	-2	-6	-6	8	-6	-12	0	0	0
В	-102	198	-168	-768	-558	114	18	-288	-66	-18	0	0	0
	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5	Y 6	Y 7	Y 8	Y 9	Y 10	Y 11	Y 12	Y 13

Рис. 4. Значения весов связей w_{ij} , w_{0j} ($i = \overline{1, 15}$, $j = \overline{1, 13}$) после обучения K -значной нейронной сети

Настройка разработанной K -значной нейронной сети выполнялась около 46 с при $\eta = 1$.

Выводы. В статье продемонстрировано функционирование разработанного модуля, представляющего собой K -значную нейронную сеть и позволяющего автоматизировать выполнение диагностики сбойных ситуаций при проектировании сложных быстродействующих вычислительных устройств, проектируемых с помощью системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления.

Список литературы: 1. Гладких Т.В. Верификация динамических параметров электронных устройств на основе K -значного дифференциального исчисления: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Т.В. Гладких. – Харьков, 2007. – 341 с. 2. Бохман Д. Двоичные динамические системы / Д. Бохман, Х. Постхоф. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с. 3. Bochmann D. Logikentwurf mit XBOOLE: Algorithmen und Programme / D. Bochmann. – Berlin: Verl. Technik, 1991. – 304 p. 4. Bochmann D. Modelle für ereignisdiskrete Systeme im Booleschen Differentialkalkül / D. Bochmann // Automatisierungstechnik. – 1997. – V. 45. – № 3. – P. 99 – 106. 5. Dmitrienko V.D. Research digital devices by means of modeling system on the basis of K -Value differential calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkikh // Radioelectronics & Informatics. – № 1. – 2008. – P. 63 – 69. 6. Dmitrienko V.D. System of K -Value simulation for research switching processes in digital devices calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkikh // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDTW'06). – Sochi,

Russia, 2006. – P. 428 – 435. 7. Модуль автоматизации диагностики переключательных процессов с использованием K -значной нейронной сети / Дмитриенко В.Д., Леонов С.Ю., Гладких Т.В., Пилипенко О.В. // Междунар. сб. научн. трудов: Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО "МГТУ", 2011. – С. 35 – 42. 8. Aktouf C. A complete strategy for testing an on-chip multiprocessor architecture / C. Aktouf // IEEE Design & Test of Computers. – 2002. – Issue:1. – P. 18 – 28.

УДК 681.3

Використання нейронної мережі на основі K -значних нейронів для розпізнавання ризиків збоїв / В.Д. Дмитрієнко, Т.В. Гладких, С.Ю. Леонов // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 52 – 60.

Виконана розробка модуля, що дозволяє за допомогою K -значної нейронної мережі автоматизувати діагностику проектуємих складних обчислювальних пристроїв, що мають підвищену швидкодію. Цей модуль працює спільно з системою моделювання на основі K -значного диференційного числення і отримує з неї K -значні сигнали. Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: K -значна нейронна мережа, система моделювання на основі K -значного диференційного числення, K -значні сигнали, ризики збоїв.

UDK 681.3

Use of neuron network on basis of K -value neurons for recognition of risks failures / V.D. Dmitrienko, T.V. Gladkikh, S.Yu. Leonov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 52 – 60.

Executed development module, allowing by K -value of neuron network to automatize diagnostics of the designed difficult computing devices, having an enhanceable fast-acting. This module works jointly with the system of design on the basis of K -value differential calculation and gets from it K -value signals. Figs.: 4. Table.: 1. Refs.: 8 titles.

Keywords: K -value neuron network, design system on the basis of K -value of differential calculation, K -value signals, risks of failures.

Поступила в редакцію 14.07.2011

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д.т.н., проф. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
А.Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
А.О. НЕСТЕРЕНКО, магистр НТУ "ХПИ", г. Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ФОРМЕ БРУНОВСКОГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УЧЕТОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Выполнен с помощью геометрической теории управления синтез линейной математической модели тягового асинхронного электропривода в пространстве “вход-состояние”. Полученная модель в канонической форме Бруновского позволяет исследовать и оптимизировать процессы не только разгона и движения состава с заданной скоростью, но и процессы буксования. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: геометрическая теория управления, модель тягового асинхронного электропривода, модель в канонической форме Бруновского.

Постановка проблемы и анализ литературы. Вопросы исследования и оптимизации функционирования тягового подвижного состава железных дорог в течении десятилетий привлекают внимание многих специалистов [1 – 8]. Большинство исследований выполняется с помощью математического моделирования на сложных моделях, описываемых системами обыкновенных дифференциальных нелинейных уравнений высокого порядка. Однако поиск оптимальных решений на таких моделях затруднен. Поэтому в большинстве случаев при решении задач оптимального управления используются математические модели 2 – 5 порядка. При оптимизации функционирования подвижного состава с тяговым асинхронным приводом использование моделей такого низкого порядка во многих случаях невозможно в силу того, что даже упрощенная модель тягового асинхронного привода с одним эквивалентным двигателем имеет пятый порядок системы обыкновенных дифференциальных нелинейных уравнений. В тоже время исследования параллельной работы двигателей, буксования, юза требует в математической модели не менее двух двигателей. Использование известных методов оптимального управления для решения задач оптимизации функционирования подобных объектов вызывает серьезные трудности [9, 10]. В связи с этим в работах [8, 11] была предпринята попытка привлечь для решения задач оптимального управления рассматриваемыми объектами методы геометрической теории управления [12], использующие динамическую линеаризацию исходной нелинейной модели. При этом удалось получить законы оптимального

управления для объектов, которые описывались системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений 5 – 6 порядка. Для поиска оптимальных законов управления реальным приводом с учетом параллельной работы электродвигателей необходимо уточнение используемых моделей (получение систем обыкновенных дифференциальных уравнений десятого и более высоких порядков) и разработка метода динамической линеаризации уточненных моделей (получение линейных моделей объекта управления в форме Бруновского), и поиск оптимальных законов управления с помощью этих моделей.

Целью статьи является синтез с помощью средств геометрической теории управления математической модели тягового электропривода в форме Бруновского для последующего решения задач оптимального управления с учетом параллельной работы тяговых двигателей.

Движение дизель-поезда в режиме тяги и в режиме перехода от тяги к буксованию в первом приближении может быть описано следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= k_1 V; \\ \frac{dV}{dt} &= k_2 (\Psi_1^1 \Psi_4^1 - \Psi_2^1 \Psi_3^1 + \Psi_1^2 \Psi_4^2 - \Psi_2^2 \Psi_3^2 - a_{20} - a_{21}V - a_{22}V^2); \\ \frac{d\Psi_1^q}{dt} &= a_{31}^q \Psi_1^q + a_{33}^q \Psi_3^q + U_1^q, \quad q = 1, 2; \\ \frac{d\Psi_2^q}{dt} &= a_{42}^q \Psi_2^q + a_{44}^q \Psi_4^q + U_2^q, \quad q = 1, 2; \\ \frac{d\Psi_3^q}{dt} &= a_{51}^q \Psi_1^q + a_{53}^q \Psi_3^q + a_{542}^q \Psi_4^q \Omega_q, \quad q = 1, 2; \\ \frac{d\Psi_4^q}{dt} &= a_{62}^q \Psi_2^q + a_{64}^q \Psi_4^q + a_{632}^q \Psi_3^q \Omega_q, \quad q = 1, 2, \end{aligned} \tag{1}$$

где S – расстояние, отсчитываемое от начала перегона; t – время; $k_1, k_2, a_{20}, a_{21}, a_{22}, a_{31}, a_{33}, \dots, a_{64}, a_{632}$ – постоянные коэффициенты определяемые параметрами привода; V – скорость движения состава; Ψ_1^q, Ψ_3^q ($q=1, 2$) – потокосцепления по оси u первого и второго двигателей; Ψ_2^q, Ψ_4^q ($q=1, 2$) – потокосцепления по оси v первого и

второго двигателей; Ω_1, Ω_2 – угловые скорости вращения роторов соответственно первого и второго асинхронных двигателей; $\Omega_q = V / (\pi D_q)$; D_q ($q = 1, 2$) – диаметр q -й колесной пары; U_1^q, U_2^q ($q = 1, 2$) – питающие напряжения, при гармоническом напряжении имеем:

$$U_1^q = A_q \cos(\Omega_q t); \quad U_2^q = A_q \sin(\Omega_q t),$$

где A_q, Ω_q ($q = 1, 2$) – соответственно амплитуды и частоты питающих напряжений первого и второго тяговых двигателей.

Обозначив $x_1 = S$; $x_2 = V$; $x_3 = \Psi_1^1$; $x_4 = \Psi_3^1$; $x_5 = \Psi_4^1$; $x_6 = \Psi_2^1$; $x_7 = \Psi_3^2$; $x_8 = \Psi_1^2$; $x_9 = \Psi_4^2$; $x_{10} = \Psi_2^2$, из системы уравнений (1) получим следующую модель, описывающую движение дизель-поезда:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{12}x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{235}x_3x_5 - a_{246}x_4x_6 + a_{289}x_8x_9 - a_{2,7,10}x_7x_{10} - a_{200} - a_{220}x_2 - a_{222}x_2^2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + U_1^1; \\ \frac{dx_4}{dt} &= a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{425}x_2x_5; \\ \frac{dx_5}{dt} &= a_{55}x_5 + a_{56}x_6 + a_{524}x_2x_4; \\ \frac{dx_6}{dt} &= a_{65}x_5 + a_{66}x_6 + U_1^1; \\ \frac{dx_7}{dt} &= a_{77}x_7 + a_{78}x_8 + a_{729}x_2x_9; \\ \frac{dx_8}{dt} &= a_{87}x_7 + a_{88}x_8 + U_1^2; \\ \frac{dx_9}{dt} &= a_{99}x_9 + a_{9,10}x_{10} + a_{927}x_2x_7; \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= a_{10,9}x_9 + a_{10,10}x_{10} + U_2^2, \end{aligned} \tag{2}$$

где $a_{12} = k_1$; $a_{235} = a_{246} = a_{289} = a_{2,7,10} = k_2$; $a_{200} = k_2 a_{20}$; $a_{220} = k_2 a_{21}$;
 $a_{222} = k_2 a_{22}$; $a_{33} = a_{31}^1$; $a_{34} = a_{33}^1$; $a_{43} = a_{51}^1$; $a_{44} = a_{53}^1$; $a_{425} = a_{541}^1$;
 $a_{55} = a_{64}^1$; $a_{56} = a_{62}^1$; $a_{524} = a_{631}^1 / (\pi D_1)$; $a_{65} = a_{44}^1$; $a_{66} = a_{42}^1$; $a_{77} = a_{53}^2$;
 $a_{78} = a_{51}^2$; $a_{729} = a_{542}^2 / (\pi D_2)$; $a_{87} = a_{33}^2$; $a_{88} = a_{31}^2$; $a_{99} = a_{6,4}^2$; $a_{9,10} = a_{6,2}^2$;
 $a_{927} = a_{632}^2 / (\pi D_2)$; $a_{10,9} = a_{44}^2$; $a_{10,10} = a_{42}^2$.

С системой дифференциальных уравнений (2) связаны следующие векторные поля:

$$X(x) = \begin{pmatrix} f_1 = a_{12}x_2 \\ f_2 = a_{235}x_3x_5 - a_{246}x_4x_6 + a_{289}x_8x_9 - a_{2,7,10}x_7x_{10} - a_{200} - a_{220}x_2 - a_{222}x_2^2 \\ f_3 = a_{33}x_3 + a_{34}x_4 \\ f_4 = a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{425}x_2x_5 \\ f_5 = a_{55}x_5 + a_{56}x_6 + a_{524}x_2x_4 \\ f_6 = a_{65}x_5 + a_{66}x_6 \\ f_7 = a_{77}x_7 + a_{78}x_8 + a_{729}x_2x_9 \\ f_8 = a_{87}x_7 + a_{88}x_8 \\ f_9 = a_{99}x_9 + a_{9,10}x_{10} + a_{927}x_2x_7 \\ f_{10} = a_{10,9}x_9 + a_{10,10}x_{10} \end{pmatrix};$$

$$Y_1 = |0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T; \quad Y_2 = |0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$Y_3 = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0|^T; \quad Y_4 = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1|^T.$$

Система уравнений (2) может быть преобразована к форме Бруновского только в случае, если инволютивны распределения M^0 , M^1 , M^2 для этой системы [12]. Поскольку векторные поля Y_i ($i = \overline{1,4}$) постоянны, то распределение $M^0 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$ – инволютивно и размерность распределения $\dim M^0 = 4$ (Здесь $\text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$ – линейная оболочка векторов Y_1, Y_2, Y_3, Y_4).

Проанализируем распределение $M^1 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4\}$, где $L_X Y_k$ ($k = \overline{1,4}$) – производные Ли вдоль векторного поля X векторных полей Y_k ($k = \overline{1,4}$). Производные Ли вычисляются следующим образом:

$$L_X Y_k = [X, Y_k] = \frac{\partial Y_k}{\partial x} X - \frac{\partial X}{\partial x} Y_k = -\frac{\partial X}{\partial x} Y_k =$$

$$= - \begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{10}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_{10}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{10}}{\partial x_1} & \frac{\partial f_{10}}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_{10}}{\partial x_{10}} \end{vmatrix} \cdot Y_k, \quad k = \overline{1, 4}.$$

Непосредственная проверка скобок Ли $[X_i, X_j]$, где X_i, X_j – векторные поля из множества $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4\}$, и ранга матриц $B_l = \|Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4, [X_i, X_j]\|$ показывает, что распределение M^1 не является инволютивным, однако все его подраспределения $M_k^1 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_k\}$, $k = \overline{1, 4}$, являются инволютивными. Поэтому дополнительные переменные или интеграторы можно вводить в любой канал управления. Однако введение одного, двух или трех интеграторов в любые каналы не позволяет решить проблему получения инволютивного распределения M^1 для расширенной системы. Распределение M^1 становится инволютивным только при введении одного интегратора в каждый канал объекта управления.

Для расширенной модели объекта управления введем следующие обозначения:

$$y_i = x_i, \quad i = \overline{1, 3}; \quad y_4 = U_1^1; \quad U_1 = \frac{dy_4}{dt}; \quad y_5 = x_4; \quad y_6 = x_5;$$

$$y_7 = x_6; \quad y_8 = U_2^1; \quad U_2 = \frac{dy_8}{dt}; \quad y_9 = x_7; \quad y_{10} = x_8;$$

$$y_{11} = U_1^2; \quad U_3 = \frac{dy_{11}}{dt}; \quad y_{12} = x_9; \quad y_{13} = x_{10}; \quad y_{14} = U_2^2; \quad U_4 = \frac{dy_{14}}{dt}.$$

В этих обозначениях расширенная модель объекта записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
\frac{dy_1}{dt} &= \varphi_1 = a_{12}y_2; \\
\frac{dy_2}{dt} &= \varphi_2 = a_{235}y_3y_6 - a_{246}y_5y_7 + a_{289}y_{10}y_{12} - a_{2,7,10}y_9y_{13} - a_{200} - a_{220}y_2 - a_{222}y_2^2; \\
\frac{dy_3}{dt} &= \varphi_3 = a_{33}y_3 + a_{34}y_5 + y_4; & \frac{dy_9}{dt} &= \varphi_9 = a_{77}y_9 + a_{78}y_{10} + a_{729}y_2y_{12}; \\
\frac{dy_4}{dt} &= U_1; \quad \varphi_4 = 0; & \frac{dy_{10}}{dt} &= \varphi_{10} = a_{87}y_9 + a_{88}y_{10} + y_{11}; \\
\frac{dy_5}{dt} &= \varphi_5 = a_{43}y_3 + a_{44}y_5 + a_{425}y_2y_6; & \frac{dy_{11}}{dt} &= U_3; \quad \varphi_{11} = 0; \\
\frac{dy_6}{dt} &= \varphi_6 = a_{55}y_6 + a_{56}y_7 + a_{524}y_2y_5; & \frac{dy_{12}}{dt} &= \varphi_{12} = a_{99}y_{12} + a_{9,10}y_{13} + a_{927}y_2y_9; \\
\frac{dy_7}{dt} &= \varphi_7 = a_{65}y_6 + a_{66}y_7 + y_8; & \frac{dy_{13}}{dt} &= \varphi_{13} = a_{10,9}y_{12} + a_{10,10}y_{13} + y_{14}; \\
\frac{dy_8}{dt} &= U_2; \quad \varphi_8 = 0; & \frac{dy_{14}}{dt} &= U_4; \quad \varphi_{14} = 0.
\end{aligned}$$

С этой моделью объекта управления связаны следующие векторные поля:

$$Y(y) = \left| \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14} \right|^T;$$

$$Y_1^* = |0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$Y_2^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$Y_3^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$Y_4^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0|^T.$$

Поскольку вектора $Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*$ постоянны, то распределение $M^{0*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*\}$ инволютивно.

Так как производные Ли вдоль векторного поля Y векторных полей Y_k^* ($k = \overline{1, 4}$) являются постоянными векторами:

$$L_Y Y_1^* = [Y, Y_1^*] = \frac{\partial Y_1^*}{\partial y} Y - \frac{\partial Y}{\partial y} Y_1^* = |0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_2^* = [Y, Y_2^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_2^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_3^* = [Y, Y_3^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_3^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_4^* = [Y, Y_4^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_4^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1|^T,$$

то распределение M^{1*} для расширенной системы является инволютивным.

Проверка инволютивности распределения $M^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_1^*, L_Y^2 Y_2^*, L_Y^2 Y_3^*, L_Y^2 Y_4^*\}$, где $L_Y^2 Y_k$ ($k = \overline{1, 4}$) – производные Ли второго порядка, показывает, что оно не является инволютивным. Однако инволютивными являются подраспределения распределения M^{2*} :

$$M_1^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_1^*\};$$

$$M_2^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_2^*\};$$

$$M_3^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_3^*\};$$

$$M_4^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_4^*\}.$$

Это оказывается достаточным для осуществления динамической линеаризации и получения системы линейных дифференциальных уравнений в форме Бруновского. На основании теории о линейных эквивалентах для нелинейных аффинных систем с m уравнениями [12], получим математическую модель объекта управления в форме Бруновского в пространстве "вход – состояние":

$$\frac{dz_i}{dt} = z_{i+1}, \quad i = \overline{1, 13}, \quad i \neq 4, 8, 11; \quad (3)$$

$$\frac{dz_4}{dt} = v_1; \quad \frac{dz_8}{dt} = v_2; \quad \frac{dz_{11}}{dt} = v_3; \quad \frac{dz_{14}}{dt} = v_4,$$

где v_j ($j = \overline{1, 4}$) – управления.

Поскольку модель объекта в форме Бруновского имеет четыре клетки, то необходимо определить четыре функции $T_j(y)$ ($j = \overline{1, 4}$),

преобразующие переменные расширенной модели объекта управления в переменные модели в форме Бруновского:

$$z_1 = T_1(y); \quad z_5 = T_2(y); \quad z_9 = T_3(y); \quad z_{12} = T_4(y).$$

Методика определения этих функций известна [8, 12]. В данном случае они являются однокомпонентными составляющими вектора $y = (y_1, y_2, \dots, y_{14})$. Из этих функций путем последовательного дифференцирования вдоль векторного поля $Y^* = Y + U_1 Y_1^* + U_2 Y_2^* + U_3 Y_3^* + U_4 Y_4^*$ можно получить выражения для определения соответственно z_2, z_3, z_4 (из функции $T_1(y)$), z_6, z_7, z_8 (из функции $T_2(y)$), z_{10}, z_{11} (из функции $T_3(y)$) и z_{13}, z_{14} (из функции $T_4(y)$). В качестве примера рассмотрим получение зависимостей для определения z_2, z_3, z_4 с помощью функции $T_1(y)$. Для исследуемого объекта управления имеем: $T_1(y) = y_1$, поэтому $z_1 = y_1$. Дифференцируя функцию $T_1(y)$ вдоль векторного поля Y^* и учитывая, что z_2, z_3 и их производные не зависят от управлений, получим

$$\begin{aligned} z_2 &= \frac{dz_1}{dt} = L_{Y^*} T_1(y) = L_Y T_1(y) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial T_1(y)}{\partial y_i} \varphi_i = a_{12} y_2; \\ z_3 &= \frac{dz_2}{dt} = L_{Y^*} (L_Y T_1(y)) = L_Y (a_{12} y_2) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial (L_Y T_1(y))}{\partial y_i} \varphi_i = a_{12} \varphi_2 = \\ &= a_{12} (a_{235} y_3 y_6 - a_{246} y_5 y_7 + a_{289} y_{10} y_{12} - a_{2,7,10} y_9 y_{13} - a_{200} - a_{220} y_2 - a_{222} y_2^2); \\ z_4 &= \frac{dz_3}{dt} = L_{Y^*} (L_Y^2 T_1(y)) = L_Y (a_{12} \varphi_2) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial (L_Y (a_{12} \varphi_2))}{\partial y_i} \varphi_i = \\ &= a_{12} [(-a_{220} - 2a_{222} y_2) \varphi_2 + a_{235} y_6 \varphi_3 - a_{246} y_7 \varphi_5 + a_{235} y_3 \varphi_6 - a_{246} y_5 \varphi_7 - \\ &\quad - a_{2,7,10} y_{13} \varphi_9 + a_{289} y_{12} \varphi_{10} + a_{289} y_{10} \varphi_{12} - a_{2,7,10} y_9 \varphi_{13}]. \end{aligned}$$

Аналогичным образом могут быть получены соотношения для определения остальных переменных модели Бруновского. Параллельное моделирование объекта управления в различных режимах с помощью исходной математической модели и модели в форме Бруновского показали полное совпадение процессов в обеих моделях при разгонах и движении состава по перегонам, в режимах буксования.

Выводы. Таким образом, впервые средствами геометрической теории управления получена работоспособная математическая модель в канонической форме Бруновского, которая позволяет исследовать и оптимизировать процессы управления дизель-поездом в режимах разгона и ведения состава по перегонам с известным профилем пути с учетом параллельной работы двигателей и процессов буксования.

Список литературы: 1. *Бауэр Х.П.* Оптимальное использование сцепления на электровозе с трехфазным тяговым приводом / *Х.П. Бауэр* // Железные дороги мира. – 1987. – № 8. – С. 10 – 23. 2. *Ohishi K.* Adhesion control of electric motor coach based on force control using disturbance observer / *K. Ohishi, Y. Ogawa* // IEEE, Advanced Motion Control. – April, 2000. – P. 323 – 328. 3. Тяговые и токовые характеристики электроподвижного состава с асинхронным тяговым двигателем / *Омельяненко В.И., Калужный Н.Н., Кулиш Т.А., Кривякин Г.В.* // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI международной конференции. – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 123. 4. *Шанран Е.Н.* Совершенствование микропроцессорных систем управления с высоким использованием сил сцепления / *Е.Н. Шанран* // Вісник НТУ "ХП". – Харків: НТУ "ХП". – 2006. – № 23. – С. 145 – 154. 5. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / *Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.* – Х.: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. 6. *Артеменко А.Н.* Система автоматического выравнивания нагрузки тягового электропривода карьерного электровоза / *А.Н. Артеменко* // Вісник Кременчуцького державного університету ім. Михайло Остроградського. – Кременчук: КДН ім. Михайло Остроградського. – 2010. – Вип. 4. – Частина 3. – С. 56 – 58. 7. *Притула М.Г., Шпакович Р.Р.* Моделювання та розрахунок оптимальних параметрів руху поїздів // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2007. – Вип. 5. – С. 139 – 145. 8. *Дмитриенко В.Д.* Синтез оптимальных законов управления тяговым электроприводом методами дифференциальной геометрии и принципа максимума / *В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный* // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 4 (78). – С. 42–51. 9. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти томах. Т. 4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. *К.А. Пупкова и И.Д. Егунова*. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 10. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / Под ред. *К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с. 11. *Дмитриенко В.Д.* Линеаризация математической модели привода методами дифференциальной геометрии / *В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный* // Вісник НТУ "ХП". – Харків: НТУ "ХП". – 2007. – № 19. – С. 64 – 77. 12. *Краснощеченко В.И.* Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / *В.И. Краснощеченко, А.П. Грищенко*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – 520 с.

УДК 621.9.01

Математична модель у формі Бруновського для дослідження та оптимізації електроприводу з урахуванням паралельної роботи двигунів / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю., Нестеренко А.О. // Вісник НТУ "ХП". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХП". – 2011. – № 36. – С. 61 – 70.

Виконано за допомогою геометричної теорії керування синтез лінійної математичної моделі тягового асинхронного електропривода в просторі "вхід-стан". Отримана модель у канонічній формі Бруновського дозволяє досліджувати й оптимізувати процеси не тільки розгону й руху рухомого складу із заданою швидкістю, а й процеси буксування. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: геометрична теорія керування, модель тягового асинхронного електроприводу, модель у канонічній формі Бруновського.

UDC 621.9.01

Mathematical model in form Brunovsky for research and optimize of electrical drive with parallel operation of motors / Dmitrienko V.D., Zakovorotnyi A.Y., Nesterenko A.O.
// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 61 – 70.

Done using the geometric theory control synthesis of linear mathematical model asynchronous electric drive in the space "input-state". The resulting model in canonical form Brunovsky can research and optimize not only the acceleration and movement of rolling stock with a given speed, but also the processes of slipping. Refs.: 12 titles.

Keywords: geometric control theory, the model of asynchronous electric drive, the model in canonical form Brunovsky.

Поступила в редакцію 14.07.2011

О.І. ДОРОШ, магістр НАУ "КМА", м. Київ,
Г.Л. КУЧМИЙ, к.т.н., доц. НУ "Львівська політехніка", м. Львів,
Н.В. ДОРОШ, к.т.н., доц. НУ "Львівська політехніка", м. Львів

МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ІНТЕРАКТИВНО-АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРИВАЛОГО КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

В статті розглянуто концепцію проектування інтерактивних медичних інформаційно-аналітичних систем комбінованого типу для аналізу та тривалого контролю біомедичних показників, що характеризують стан здоров'я людини. Система орієнтована на індивідуальне використання, має модульну структуру та програмно реалізована із веб-інтерфейсом, доступним через мережу інтернет. Розглянуто два метода програмної реалізації системи з використанням технологій GWT, HTML, CSS та бази даних MySQL: Лл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключеві слова: аналіз, контроль, медичні інформаційно-аналітичні системи, біомедичні показники.

Постановка проблеми. Існуючі інформаційні медичні системи можна розділити на професійні та індивідуальні. До професійних відносять експертні системи та системи підтримки прийняття рішень, госпітальні медичні інформаційні системи, але вони не завжди доступні практикуючим лікарям сімейної медицини і звичайним користувачам. Індивідуальні інтерактивні медичні системи та медичні калькулятори доступні всім, прості у використанні, але мають обмежені можливості.

Доцільно розробити структурну концепцію та методи програмної реалізації індивідуальної інформаційно-аналітичної системи комбінованого типу (для користувача-пацієнта та його сімейного лікаря). Така система, в першу чергу, надавала б людині можливість самостійного контролю та тривалого спостереження за біомедичними показниками, що характеризують стан її власного здоров'я (артеріальний тиск, параметри серцевого ритму, індекс маси тіла та ін.) та, при необхідності, забезпечувала б можливість доступу до цих даних сімейному лікарю, якому надаються більш широкі функціональні можливості для аналізу біомедичних показників їх пацієнтів у режимі віддаленого доступу (наприклад, аналіз ЕКГ, розрахунок реографічних індексів та ін.). Результати порівняльного аналізу біомедичних показників накопичуються у базі даних протягом тривалого часу, що надає можливість оцінити динаміку їх зміни, а також використовувати для профілактичного моніторингу стану здоров'я населення [1 – 3].

Аналіз літератури. До професійних медичних інформаційних систем (МІС) можна віднести МІС "Доктор Елекс" [4], "Емсїмед" [5], "Медіалог" [6], "TherDep" [7] та ін. Структурна організація таких МІС передбачає наявність таких підсистем, як електронна медична карта пацієнта, реєстратура, автоматизоване робоче місце лікаря, лабораторія, стаціонар, готель, підсистема обробки відео і медичних зображень, журнали та звіти, підсистема бухгалтерського обліку та ін. Підсистема "Веб-клієнт" МІС "Доктор Елекс" дає можливість лікарям оперативно переглянути медичні дані пацієнта, призначати та контролювати додаткові обстеження та аналізи, слідкувати за процесом лікування [4]. Професійні МІС використовуються в медичних закладах та практично недоступні пацієнтам та лікарям за їх межами.

Одним з нових напрямків систем медичного призначення є медичні калькулятори, інтерактивні системи та соціальні мережі, які дозволяють за допомогою Інтернет-ресурсів самостійно оцінювати стан свого здоров'я в on-line режимі [8, 9]. С точки зору структурної організації медичні калькулятори – це прості програмні засоби, які дозволяють провести нескладні розрахунки окремих фізіологічних показників організму людини, порівняти їх з нормативними (еталонними) значеннями та встановити, наприклад, наявність відхилення від норми. Найбільш поширеними є медичні калькулятори, що оцінюють ростові показники людини, визначають ідеальну масу тіла, підраховують необхідну кількість калорій при споживанні вибраного набору продуктів харчування [8]. У роботі [9] приведено також приклади медичних калькуляторів для оцінювання концентрації кальція в організмі, "Шкала коми Глазго", "Шкала SCORE" та ін. Медичні калькулятори мають обмежені функції та не забезпечують можливості тривалого спостереження за станом здоров'я людини.

Мета статті. Розглянути структурну концепцію та особливості програмної реалізації основних модулів індивідуальної інформаційно-аналітичної системи (ІНАНС) комбінованого типу (пацієнт-лікар) для тривалого контролю та аналізу біомедичних показників, що характеризують стан здоров'я людини, а також навести результати її практичного використання для оцінювання фізичної інактивності молоді.

Структурна та функціональна організація системи. На основі проведеного аналізу структурної організації медичних інформаційних систем різного типу було запропоновано концепцію розроблення системи комбінованого типу [10]. В залежності від типу даних, що підлягають аналізу, структура та функції системи можуть змінюватися, тому для побудови такої системи доцільно вибирати модульну структуру, з тим що

набір модулів та функцій можна було змінювати та доповнювати залежності від поставленої задачі. Для функціонування подібної структури необхідно такі основні модулі, як модуль аутентифікації, модуль навігації, програмні аналітично-розрахункові модулі та модуль пам'яті.

Модуль аутентифікації призначений для того, щоб розпізнати зареєстрованого користувача. Модуль навігації несе в собі завдання розділити інформацію в системі на відповідні категорії та надати доступ до них за допомогою різних меню. Доступ до програмних модулів організований через меню вибору підсистем. Кожен з цих модулів містить в собі блок форми вводу даних, розрахунковий блок, блок, що порівнює отримані дані з нормативними та блок виводу результатів. До модуля пам'яті відноситься база даних та блок перегляду результатів. До бази даних можна заносити ім'я користувача, його входні дані, дату отримання результату, результат обчислення або контролю фізіологічних параметрів та їх оцінку (норма, наявність відхилення від норми, тип відхилення та ін.). Доступ здійснюється через меню результатів.

Функціональна організація програмних аналітично-розрахункових модулів передбачає можливість введення даних вимірювання біомедичних показників; проведення необхідних аналітичних розрахунків; вивід результатів порівняльного аналізу на екран, або їх запис у базу даних.

На рис. 1 показано схему функціональної організації системи для користувача-пацієнта, а на рис. 2 – для користувача-лікаря

В системі ІНАНС-1 користувачу-пацієнту доступна можливість аналізу частоти серцевих скорочень (ЧСС); визначення типу серцевого ритму (норма, ознаки брадикардії (сповільнений серцевий ритм), ознаки тахікардії (прискорений серцевий ритм), або ознаки аритмії (нерівномірний серцевий ритм)); аналізу артеріального тиску (АТ); оцінювання антропометричних показників (індекс маси тіла (ІМ), росто-ваговий показник (РВІ), індекс Кетле, що дозволяє визначити тип тілобудови, ін.).

Користувач-пацієнт має доступ до модуля комплексного тестування, де може пройти ряд тестів та оцінити, наприклад, вірогідну тривалість життя, схильність до гіпертонії та інших патологій серцево-судинної системи та ін.

На даний час, користувачу-лікарю доступна можливість проведення таких спеціалізованих розрахунків з аналізом результатів (рис. 2.):

- можливість аналізу амплітудно-часових, інтервальних та сегментних параметрів електрокардіограм та визначення відхилень параметрів від норми;

- можливість проведення розрахунку та аналізу положення електричної вісі серця (ЕВС);
- можливість аналізу амплітудно-часових параметрів реографічних сигналів (наприклад, реоенцефалограм), що характеризують стан судин головного мозку.
- розрахунок реографічних індексів та їх аналіз.

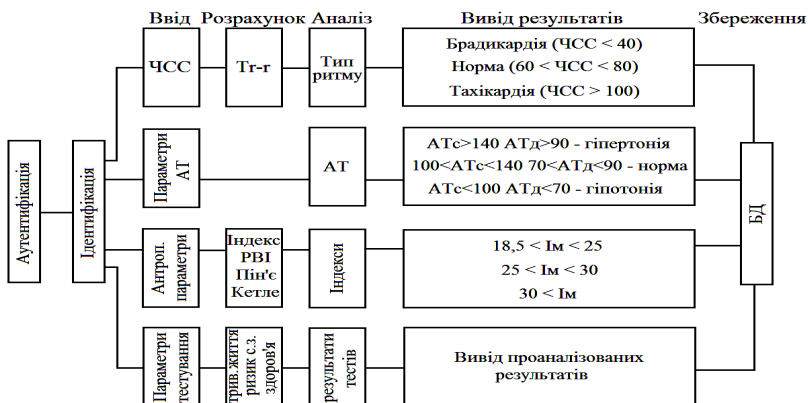


Рис. 1. Схема функціональної організації системи для користувача-пацієнта

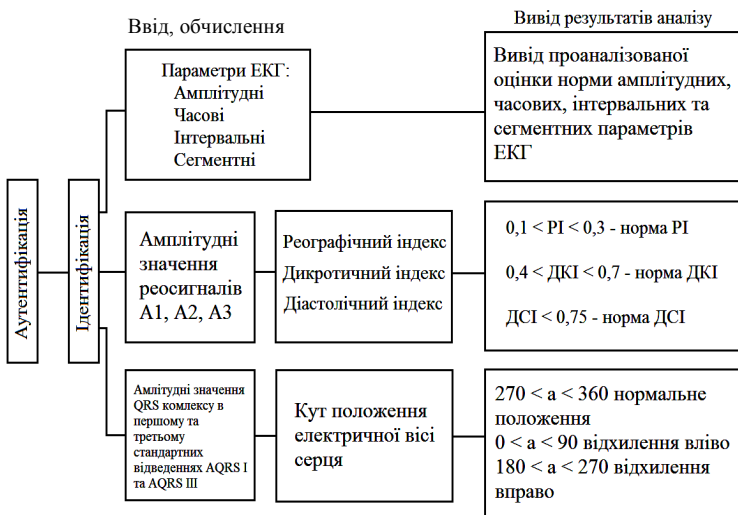


Рис. 2. Схема функціональної організації системи для користувача-лікаря

Програмна реалізація системи. Практично реалізовано дві модифікації системи (ІНАНС-1 та ІНАНС-2). Одна з перших версій системи ІНАНС-1 реалізована за допомогою мови PHP на базі середовища Denwer з використанням пакету Dreamweaver, як редактора коду. Перевагами системи ІНАНС-1 є низький поріг входження для програмістів, що хотіли б вести її подальше вдосконалення, простий, зручний інтерфейс, розширюваний програмний код. Недоліками системи ІНАНС-1 є вузькі можливості щодо ведення обліку користувачів, немасштабованість програмного коду.

Для програмної реалізації модернізованої версії системи (ІНАНС-2) було використано фреймворк Google Web Toolkit (GWT), що дозволяє створювати веб-застосування на мові Java. При компіляції GWT клієнтська частина транслюється у AJAX, відповідно, велика частина програмного коду виконується на стороні клієнта, що дозволяє зняти навантаження із сервера. Серверна частина продовжує працювати на мові Java, це дозволяє використовувати її широкі можливості, наприклад, під'єднання корисних бібліотек, а також зв'язок із СКБД. Зв'язок між клієнтом і сервером відбувається через інфраструктуру асинхронних викликів процедур (RPC). У ІНАНС-2 введено широкі можливості ведення спостереження за біомедичними показниками користувачів, також існує розширена служба облікових записів. Серверна частина системи написана таким чином, що нові модулі до неї можна під'єднувати без внесення модифікацій у код ядра. Це сприяє масштабованості системи, і дозволить програмістам створювати нові модулі, оперуючи відносно невеликим набором знань. У системі застосована низка патернів проектування, зокрема фабричний метод, сінглтон, та MVP. Недоліками системи є порівняно високий поріг входження програмістів для розробки додаткових модулів Система ІНАНС-2 має можливості до подальшої функціональної декомпозиції на рівні клієнта. Основні модулі розробленої системи практично реалізовані у вигляді веб-ресурсу, який доступний за адресою: <http://digger.ukma.kiev.ua:8080/war/>

За допомогою розробленої системи ІНАНС було проведено експериментальні дослідження антропометричних показників у студентів II курсу Національного Львівського медичного університету ім. Д. Галицького та учнів шкіл. Під час експерименту розраховувався індекс маси тіла, проводився контроль ваги та артеріального тиску (АТ), комплексне тестування. Було встановлено що у 79% досліджуваних параметри відповідали нормі, але фізичну інактивність (за даними опитування та комплексного тестування) було встановлено у 45%

підлітків і у 38% студентів, що в майбутньому може привести до ризику виникнення ожиріння, серцево-судинних захворювань, діабету та ін.

Розроблену систему буде також використано для профілактичного моніторингу стану здоров'я працівників у галузі освіти в рамках програми транскордонного співробітництва Польща – Україна – Білорусь.

Висновки. На основі проведеного аналітичного огляду сучасних інформаційних медичних систем було запропоновано структурну концепцію та методи програмної реалізації інтерактивної системи комбінованого типу, що орієнтована на індивідуальне використання (для користувача-пацієнта та його сімейного лікаря) для тривалого спостереження за станом здоров'я людини. Розроблена система має модульну структуру. Основні модулі: модуль аутентифікації, модуль навігації, аналітично-розрахункові модулі та модуль пам'яті для збереження результатів. На даний час доступними є аналітично-розрахункові модулі: "Антропометричні показники і АТ", "Серцево-судинна система" та модуль "Комплексне тестування". Передбачено можливість розширення функціональних можливостей системи за рахунок підключення інших модулів.

Практично розроблено програмне забезпечення для модулів з використанням мов програмування: HTML – для розмітки сторінки, GWT – для створення захисту і розрахунків, а також забезпечення зв'язку із сервером через систему віддалених викликів процедур, CSS – для дизайну та СКБД MySQL – для збереження результатів. Створене програмне забезпечення передбачає розмежування доступу до ресурсів системи в залежності від рівня користувачів.

Розроблено методичне забезпечення системи у вигляді інструкцій для користувача та адміністратора. Проведено тестування працездатності системи, а також експериментальні дослідження рівня інактивності молоді з використанням системи ІНАНС.

Структура системи є достатньо універсальною, її також можна використовувати для навчання та оцінювання рівня знань студентів та медичного персоналу та адаптувати для інших галузей науки та техніки.

Список літератури: 1. Абакумов В.Г. Біомедичні сигнали та їх обробка / В.Г. Абакумов, В.О. Геранін та ін. // К.: Нора-принт. – 2003. – 516 с. 2. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних електрографічних сигналів. Навчальний посібник / За ред. З.Ю. Готри. – Л.: Ліга-Прес. – 2010. – 308 с. 3. Нечипоренко Ю.Л. Стандарти та взаємодія складових медичних інформаційних систем / Ю.Л. Нечипоренко // Збірник праць першого всеукраїнського з'їзду "Медична та біологічна інформатика і кібернетика". – 2010. – С. 61. 4. Медична Інформаційна Система "Доктор Елекс". – Режим доступу <http://www.doctor.eleks.com/Home-uk.aspx>. 5. Медична Інформаційна Система "ЕмсіМЕД". – Режим доступу: <http://mcmed.ua/>. 6. Медична Інформаційна Система "МЕДИАЛОГ" –

Режим доступу: <http://www.medialog.ru/>. 7. Медична Інформаційна Система "Therdep5". – Режим доступу: <http://www.therdep5.narod.ru>. 8. Медичні калькулятори. – Режим доступу: <http://www.klinrek.ru>. 9. Медичні калькулятори. – Режим доступу: <http://golodanie.su/forum/showthread>. 10. *Дорош О.І.* Структурна та програмна реалізація інтерактивних медичних систем комбінованого типу / *О.І. Дорош, М.П. Девда, Н.В. Дорош, О. Степанюк* // Збірник праць конференції з міжнародною участю "Медична та біологічна інформатика і кібернетика: віхи розвитку". – Київ, 20-23 квітня 2011 р. – С. 56-57.

Стаття представлена д.т.н. проф. НУ "Львовская политехника" Голякою Р.Л.

УДК 651.84

Методы создания индивидуальных интерактивно-аналитических систем для длительного контроля и анализа биомедицинских показателей / Дорош О.И., Кучмий Г.Л., Дорош Н.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 71 – 77.

В статье рассмотрена концепция проектирования интерактивных медицинских информационно-аналитических систем комбинированного типа для анализа и длительного контроля биомедицинских показателей, что характеризуют состояние здоровья человека. Система ориентирована на индивидуальное использование, имеет модульную структуру и программно реализована с веб-интерфейсом, доступным через сеть Интернет. Рассмотрены два метода программной реализации системы с использованием технологий GWT, HTML, CSS и базы данных MySQL. Ил.: 2. Библиог.: 10 назв.

Ключевые слова: анализ, контроль, медицинские информационно-аналитические системы, биомедицинские показатели.

UDC 651.84

The methods of designing of individual interactively-analytical systems for long control and analysis of biomedical indexes / Dorosh O.I., Kuchmiy H.L., Dorosh N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 71 – 77.

The article considers the concept of designing interactively medical information analytical systems of the combined type for long controls of of human health parameters . System The system has a modular construction and software is implemented with a Web interface accessible via the Internet. We consider Two methods of program implementation system are considered. Promising technologies is the use of GWT, HTML, CSS and database MySQL. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: analysis, control, medical information analytical systems, biomedical indexes.

Надійшла до редакції 30.06.2011

И.Ф. ЗАНЕВСКИЙ, д.т.н., проф. технического университета
им. К. Пулаского, г. Радом, Польша

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ СТРЕЛЫ ЛУКА

Методом Лагранжа создана математическая модель взаимодействия стрелы с луком в форме системы десяти дифференциальных уравнений и начальных условий. Соответствующая задача Коши решена методом Рунге-Кутты с применением программы NDSolve из пакета Mathematica. Модель показала пригодность для изучения основных параметров внутренней баллистики стрелы лука. Ил.: 4. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: стрела, лук, математическая модель, задача Коши, метод Рунге-Кутты, пакет Mathematica, баллистика.

Постановка проблемы. В стрельбе из лука спортивный результат в равной мере зависит от мастерства стрелка и качества подгонки параметров лука, которая является сложным и трудоёмким процессом [1]. Моделирование выстрела позволяет интенсифицировать этот процесс, сократив усилия на пробы и ошибки [2]. Работа выполнена по теме № 2814/58/P "Исследование процессов взаимодействия тела человека со спортивным инвентарём (на примере стрелковых видов спорта)" согласно плану научных исследований Министерства высшего образования и науки Республики Польша.

Анализ литературы. В основу модели лука C.N. Hickman положил трёхзвенную кинематическую цепь, состоящую из прямых недеформируемых стержней, соединённых между собой двумя идеальными шарнирами с пружиной Архимеда и нерастяжимой нитью [3]. W.C. Marlow [4] развил эту модель, учтя упругость тетивы и моделируя стрелу материальной точкой. B.W. Kooi и J.A. Sparenberg [5] смоделировали плечо лука эластичной полосой, а S. Ohsima и A. Ohtsuki [6] применили эту модель для исследования статики и динамики традиционного японского лука. J.L. Park [7] разработал модель блочного спортивного лука. Нами учтена несимметричность системы стрела – лук в вертикальной плоскости [8], предложена модель трёх-стержневого стабилизатора [9], исследованы колебания в системе стрела – лук – тело стрелка [10, 11]. Однако практически пригодной модели для изучения внутренней баллистики стрелы спортивного лука пока не создано.

Цель статьи – обобщить математическую модель взаимодействия стрелы с луком и создать компьютерную модель внутренней баллистики стрелы в вертикальной плоскости.

Результаты. Схема модели системы стрела – лук представлена на рис. 1. Исходя из современных принципов выполнения выстрела, принято условие неподвижности точки упора руки стрелка в рукоять лука (т. О). Математическая модель представлена системой десяти уравнений Лангранжа 2-го рода и соответствующими начальными условиями. Решение системы получено методом Рунге-Кутты и реализовано в программе NDSolve из пакета Mathematica.

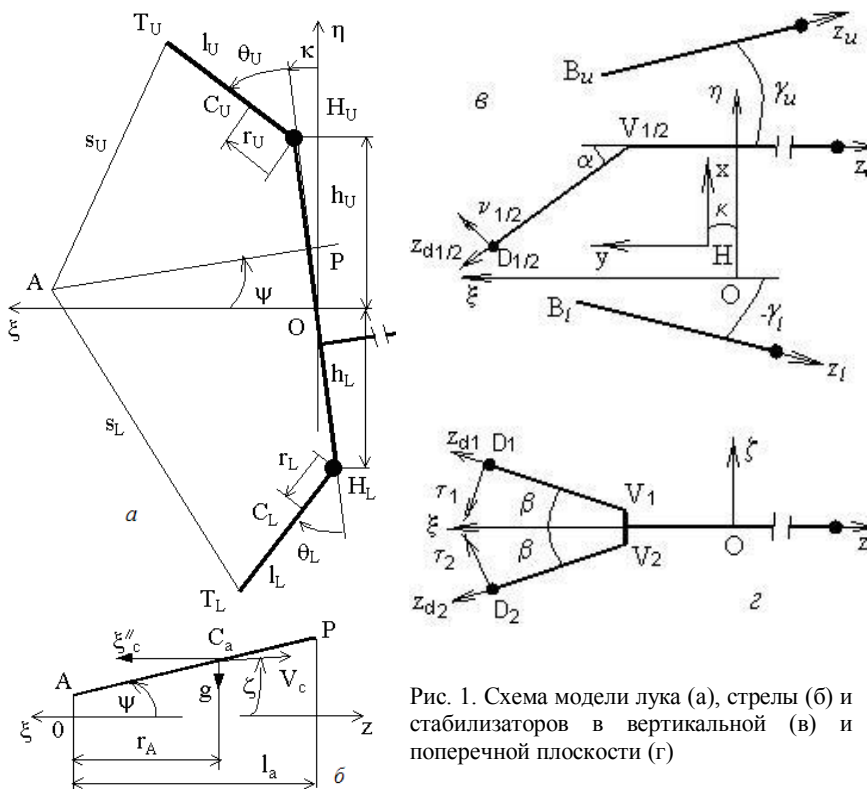


Рис. 1. Схема модели лука (а), стрелы (б) и стабилизаторов в вертикальной (в) и поперечной плоскости (г)

Условные обозначения: c_U, c_L – жёсткость плеч лука; c_c – жёсткость центрального стабилизатора; l_c – его длина; m_c – масса стержня; M_c – масса наконечника; m_V и I_V – масса и момент инерции блока крепления стабилизатора относительно его общего центра масс; f – жёсткость тетивы; h_U, h_L – размеры рукояти; I_U, I_L – моменты

инерции плеч лука; I_H – момент инерции рукояти; l_U, l_L – длина плеч; l_a – длина стрелы; m_U, m_L – масса плеч; m_A – масса хвостовика стрелы; m_s – масса тетивы; m_a – масса стрелы; m_V – масса блока крепления стабилизатора; r_U, r_L – расстояние до центра массы плеча; s_U, s_L – длина ветвей растянутой тетивы; S_U, S_L – длина ветвей нерастянутой тетивы; g – ускорение свободного падения; t – время. Индексы “ U ” and “ L ” использованы для обозначения параметров соответственно верхнего и нижнего плеч.

Уравнения движения системы:

$$\begin{aligned}
I_U(\ddot{\theta}_U + \ddot{\kappa}) + m_U r_U h_U b_1 \ddot{\kappa} + c_U(\theta_U + \varphi_U) + e_U l_U(S_{U\xi} b_1 - S_{U\eta} b_2) &= 0; \\
I_L(\ddot{\theta}_L - \ddot{\kappa}) - m_L r_L h_L b_3 \ddot{\kappa} + c_L(\theta_L + \varphi_L) + e_L l_L(S_{L\xi} b_3 + S_{L\eta} b_4) &= 0; \\
\left(\frac{33}{140} m_c + M_c\right) \ddot{q}_c + (m_c Q_{cm} + M_c Q_{cM}) \ddot{\kappa} + c_c q_c &= 0; \\
\left(\frac{33}{140} m_d + M_d\right) \ddot{q}_v + (m_d Q_{vm} + M_d Q_{vM}) \ddot{\kappa} + c_d q_v &= 0; \\
\left(\frac{33}{140} m_d + M_d\right) \ddot{q}_\tau + (m_d Q_{\tau m} + M_d Q_{\tau M}) \ddot{\kappa} + c_d q_\tau &= 0; \\
\left(\frac{33}{140} m_b + M_b\right) \ddot{q}_b + (m_b Q_{bm} + M_b Q_{bM}) \ddot{\kappa} + c_b q_b &= 0; \tag{1} \\
\left\{ I_H + I_U + I_L + m_U h_U^2 + m_L h_L^2 + I_V + m_V (x_V^2 + y_V^2) \right\} \ddot{\kappa} + \\
+ I_{cm} + I_{dm} + I_{bm} + I_{cM} + I_{dM} + I_{bM} \\
+ m_U r_U h_U \left[b_1 (\ddot{\theta}_U + 2\ddot{\kappa}) - b_2 (\ddot{\theta}_U + \ddot{\kappa})^2 \right] - m_L r_L h_L \left[b_3 (\ddot{\theta}_L - 2\ddot{\kappa}) - b_4 (\ddot{\theta}_L - \ddot{\kappa})^2 \right] + \\
+ I_U \ddot{\theta}_U - I_L \ddot{\theta}_L + 2m_d (Q_{vm} \ddot{q}_v + Q_{\tau m} \ddot{q}_\tau) + 2M_d (Q_{vM} \ddot{q}_v + Q_{\tau M} \ddot{q}_\tau) + \\
+ (m_c Q_{cm} + M_c Q_{cM}) \ddot{q}_c + (m_b Q_{bm} + M_b Q_{bM}) \ddot{q}_b + \\
+ e_U [S_2 (b_1 l_U + h_U) - S_1 b_2 l_U] - e_L [S_4 (b_3 l_L + h_L) + S_3 b_4 l_L] &= 0; \\
(m_A + m_a) \ddot{\eta}_A + m_a r_A \ddot{\Psi} + m_a g - e_U S_{U\eta} - e_L S_{L\eta} &= 0; \\
(m_A + m_a) \ddot{\xi}_A - e_U S_{U\xi} - e_L S_{L\xi} &= 0; \quad I_A \ddot{\Psi} + m_a r_A (\ddot{\eta}_A + \ddot{\xi}_A \Psi + g) = 0, \\
\text{где } I_{cm} = m_c \left(\frac{l_c^2}{3} + x_V^2 + y_V^2 - y_V l_c \right); \quad Q_{cm} = \frac{11}{40} l_c - \frac{3}{4} y_V; \quad Q_{bM} = r_b + l_b;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{cM} &= M_c \left[x_V^2 + (l_c - y_V)^2 \right]; \quad Q_{cM} = l_c - y_V; \\
I_{bm} &= m_b \left(x_b^2 + y_b^2 + l_b r_b + \frac{1}{3} l_b^2 \right); \quad Q_{bm} = \frac{3}{8} r_b + \frac{11}{40} l_b; \quad r_b = x_b \sin \gamma - y_b \cos \gamma; \\
I_{bM} &= M_b \left(x_b^2 + y_b^2 + 2l_b r_b + l_b^2 \right); \\
I_{dm} &= 2m_d \left[x_V^2 + y_V^2 + l_d (y_V \cos \alpha \cos \beta - x_V \sin \alpha) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{l_d^2}{3} (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta) \right]; \\
I_{dM} &= 2M_d \left[(x_V - l_d \sin \alpha)^2 + (y_V + l_d \cos \alpha \cos \beta)^2 \right]; \\
Q_{vm} &= \frac{3}{8} (x_V \sin \alpha \cos \beta - y_V \cos \alpha) - \frac{11}{40} l_d \cos \beta; \\
Q_{\tau m} &= \left(\frac{3}{8} x_V - \frac{11}{40} l_d \sin \alpha \right) \sin \beta; \\
Q_{vM} &= x_V \sin \alpha \cos \beta - y_V \cos \alpha - l_d \cos \beta; \quad Q_{\tau M} = (x_V - l_d \sin \alpha) \sin \beta; \\
e_U &= \frac{f(s_U - S_U)}{s_U S_U}; \quad e_L = \frac{f(s_L - S_L)}{s_L S_L}; \quad s_U = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}; \quad s_L = \sqrt{S_3^2 + S_4^2}; \\
S_1 &= h_U + l_U b_1 - \eta_A; \quad S_2 = h_U \kappa + l_U b_2 - \xi_A; \\
b_1 &= \cos(\theta_U + \kappa); \quad b_2 = \sin(\theta_U + \kappa); \quad S_3 = h_L + l_L b_3 + \eta_A; \\
S_4 &= h_L \kappa - l_L b_4 + \xi_A; \quad b_3 = \cos(\theta_L - \kappa); \quad b_4 = \sin(\theta_L - \kappa),
\end{aligned}$$

где m_V и I_V – масса и момент инерции блока крепления стабилизатора относительно его общего центра масс, имеющего координаты x_V, y_V ; x_b, y_b – координаты крепления верхнего стержня стабилизатора; l_b – его длина; m_b – масса стержня; M_b – масса наконечника; c_b – жёсткость верхнего стабилизатора; m_d – масса каждого из боковых стержней стабилизатора; M_d – масса каждого из наконечников; l_d – длина боковых стержней; c_d – жёсткость бокового стабилизатора относительно силы, приложенной на свободном конце нормально продольной оси стержня; γ – угол между осями центрального и верхнего стержней.

Начальные условия задачи:

$$\begin{aligned}
t &= 0, \quad \xi_A = \xi_{A0}; \quad \eta_A = \eta_{A0}; \quad \theta_U = \theta_{U0}; \\
\theta_L &= \theta_{L0}; \quad \kappa = 0; \quad \psi = \psi_0; \quad q_c = 0; \quad q_v = 0;
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} q_\tau = 0; \dot{\xi}_A = 0; \dot{\eta}_A = 0; \dot{\theta}_U = 0; \dot{\theta}_L = 0; \\ \dot{\kappa} = 0; \dot{\psi} = 0; \dot{q}_c = 0; \dot{q}_v = 0; \dot{q}_\tau = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где константы η_{A0} , θ_{U0} , θ_{L0} являются решением задачи статики (3).

Нулевые значения производных отражают особенности техники прицеливания: дыхание приостановлено, поза не изменяется.

$$\begin{aligned} \xi_A = l_U \sin \theta_U + s_U \sin \gamma_U; \quad \xi_A = l_L \sin \theta_L + s_L \sin \gamma_L; \\ \eta_A = h_U + l_U \cos \theta_U - s_U \cos \gamma_U; \quad \eta_A = s_L \cos \gamma_L - l_L \cos \theta_L - h_L; \\ c_U(\theta_U + \varphi_U) = F_U l_U \sin(\theta_U + \gamma_U); \quad c_L(\theta_L + \varphi_L) = F_L l_L \sin(\theta_L + \gamma_L); \quad (3) \\ F_\xi = -F_U \sin \gamma_U - F_L \sin \gamma_L; \quad F_\eta = F_U \cos \gamma_U - F_L \cos \gamma_L; \\ F_U = f \frac{s_U - S_U}{S_U}; \quad F_L = f \frac{s_L - S_L}{S_L}; \quad tg\phi = \frac{F_\eta}{F_\xi}; \quad tg\phi = \frac{\eta_A}{\xi_A}, \end{aligned}$$

где F_U, F_L – это силы натяжения ветвей тягивы; F_ξ, F_η – проекции силы натяжения лука, приложенной в т. A .

Программа NDSolve (Mathematica)

```

ξA0 = 0.7576; ηA0 = 0.0426237; eU0 = 0.765512; eL0 = 0.794188; mA = 0.0023;
mU = 0.107; mL = 0.107; rU = 0.228; rL = 0.228; IL = 0.00682; IH = 0.213;
lU = 0.531; lL = 0.531; hU = 0.342; hL = 0.342; SU = 0.780; ηP0 = 0.0426237;
SL = 0.840; f = 25515; IU = 0.00682; xV = -0.107; yV = -0.142; ξH0 = 0.009366;
cU = 69.1; cL = 69.1; φU = 0.604672; φL = 0.607552; xB = 0.221; yB = -0.018;
IA = 0.00736; mA = 0.0224; rA = 0.5103; lA = 0.783; ηH0 = 0.001062; g = 9.81;
mC = 0.193; cC = 485; lC = .76; mB = 0.088; cB = 833; lB = .42; QbM = lC + rB;
mD = 0.065; cD = 1170; lD = .25; α = .297; β = .617; χ = .157; QcM = lC - yV;
Mc = .043; Mb = .037; Md = .028; Mv = .119; Iv = .0021;
Icm = mC * (lC^2 / 3 + xV^2 + yV^2 - lC * yV); Qbm = .5 * (.55 * lC + .75 * rB);
IcM = Mc * (lC^2 + xV^2 + yV^2 - 2 * lC * yV);
Qcm = .5 * (.55 * lC - .75 * yV); IbM = Mb * (lB^2 + xB^2 + yB^2 + 2 * lB * rB);
rB = xB * Sin[χ] - yB * Cos[χ]; IbM = mB * (lB^2 / 3 + xB^2 + yB^2 + lB * rB);
Idm = 2 * mD * (xV^2 + yV^2 + (yV * Cos[α] * Cos[β] - xV * Sin[α]) * lD
* ((Sin[α])^2 + (Cos[α])^2 * (Cos[β])^2) * lD^2 / 3);
IdM = 2 * Md * ((xV - lD * Sin[α])^2 + (yV + lD * Cos[α] * Cos[β])^2);
Qvm = .5 * ((.75 * (xV * Sin[α] * Cos[β] - yV * Cos[α]) - .55 * lD * Cos[β]));
Qzm = .5 * ((.75 * xV - .55 * lD * Sin[α]) * Sin[β]); ψ0 = (ηP0 - ηA0) / lA;
QvM = xV * Sin[α] * Cos[β] - yV * Cos[α] - lD * Cos[β];
QτM = (xV - lD * Sin[α]) * Sin[β]; ζ = -ArcTan[(ηA'[t] + rA * ψ'[t]) / ξA'[t]];

```

$$s_U = \sqrt{S_{U\eta}^2 + S_{U\xi}^2}; s_L = \sqrt{S_{L\eta}^2 + S_{L\xi}^2}; e_U = \frac{f * (s_U - S_U)}{s_U * S_U}; e_L = \frac{f * (s_L - S_L)}{s_L * S_L};$$

$$S_{U\eta} = h_U + l_U * b_1 - \eta_A[t]; S_{U\xi} = h_U * \kappa[t] + l_U * b_2 - \xi_A[t];$$

$$S_{L\eta} = -h_L - l_L * b_3 - \eta_A[t]; S_{L\xi} = -h_L * \kappa[t] + l_L * b_4 - \xi_A[t];$$

$$b_1 = \text{Cos}[\kappa[t] + \theta_U[t]]; b_2 = \text{Sin}[\kappa[t] + \theta_U[t]]; \\ b_3 = \text{Cos}[-\kappa[t] + \theta_L[t]]; b_4 = \text{Sin}[-\kappa[t] + \theta_L[t]]; \\ \text{system} = \{ (m_A + m_a) * \xi_A''[t] - e_U * S_{U\xi} - e_L * S_{L\xi} == 0, \\ (m_A + m_a) * \eta_A''[t] + m_a * r_A * \psi''[t] + m_a * g - e_U * S_{U\eta} - e_L * S_{L\eta} == 0, \\ I_A * \psi''[t] + m_a * r_A * (\xi_A''[t] * \psi[t] + g + \eta_A''[t]) == 0, \\ I_U * (\theta_U''[t] + \kappa''[t]) + m_U * r_U * h_U * b_1 * \kappa''[t] + c_U * (\theta_U[t] + \varphi_U) + \\ e_U * l_U * (S_{U\xi} * b_1 - S_{U\eta} * b_2) == 0, \\ I_L * (\theta_L''[t] - \kappa''[t]) - m_L * r_L * h_L * b_3 * \kappa''[t] + c_L * (\theta_L[t] + \varphi_L) + \\ e_L * l_L * (S_{L\xi} * b_3 + S_{L\eta} * b_4) == 0, \\ (I_H + I_U + I_L + m_U * h_U^2 + m_L * h_L^2 + I_{cm} + I_{cM} + I_{dm} + I_{dM} + I_{bm} + \\ I_{bM} + I_v + M_v * (x_v^2 + y_v^2)) * \kappa''[t] + I_U * \theta_U''[t] - I_L * \theta_L''[t] + \\ m_U * r_U * h_U * (b_1 * (\theta_U''[t] + 2 * \kappa''[t]) - b_2 * (\theta_U'[t] + \kappa'[t])^2) \\ - m_L * r_L * h_L * (b_3 * (\theta_L''[t] - 2 * \kappa''[t]) - b_4 * (\theta_L'[t] - \kappa'[t])^2) \\ + (m_c * Q_{cm} + M_c * Q_{cM}) * q_c''[t] + (m_b * Q_{bm} + M_b * Q_{bM}) * q_b''[t] + \\ 2 * ((m_d * Q_{vm} + M_d * Q_{vM}) * q_v''[t] + (m_d * Q_{\tau m} + M_d * Q_{\tau M}) * q_{\tau}''[t]) + \\ e_U * (S_{U\xi} * (l_U * b_1 + h_U) - S_{U\eta} * l_U * b_2) - e_L * (S_{L\xi} * (l_L * b_3 + h_L) + S_{L\eta} * l_L * b_4) == 0, \\ (M_c + m_c * 33 / 140) * q_c''[t] + (m_c * Q_{cm} + M_c * Q_{cM}) * \kappa''[t] + c_c * q_c[t] == 0, \\ (M_b + m_b * 33 / 140) * q_b''[t] + (m_b * Q_{bm} + M_b * Q_{bM}) * \kappa''[t] + c_b * q_b[t] == 0, \\ (M_d + m_d * 33 / 140) * q_v''[t] + (m_d * Q_{vm} + M_d * Q_{vM}) * \kappa''[t] + c_d * q_v[t] == 0, \\ (M_d + m_d * 33 / 140) * q_{\tau}''[t] + (m_d * Q_{\tau m} + M_d * Q_{\tau M}) * \kappa''[t] + c_d * q_{\tau}[t] == 0, \\ \xi_A[0] == \xi_{A0}, \eta_A[0] == \eta_{A0}, \theta_L[0] == \theta_{L0}, \theta_U[0] == \theta_{U0}, \psi[0] == \psi_0, \\ \psi'[0] == 0, \kappa[0] == 0, \xi_A'[0] == 0, \eta_A'[0] == 0, \theta_L'[0] == 0, \\ \theta_U'[0] == 0, \kappa'[0] == 0, q_c[0] == 0, q_c'[0] == 0, q_b[0] == 0, \\ q_b'[0] == 0, q_v[0] == 0, q_v'[0] == 0, q_{\tau}[0] == 0, q_{\tau}'[0] == 0 \}; \\ t_0 = 0; t_1 = 0.01529; \\ \text{solution} = \text{NDSolve}[\text{system}, \\ \{ \xi_A, \eta_A, \psi, \theta_L, \theta_U, \kappa, q_c, q_v, q_{\tau}, q_b \}, \{ t, t_0, t_1 \}, \\ \text{Method} \rightarrow \text{ExplicitRungeKutta}]$$

Результаты моделирования для современного спортивного лука, соответствующего стандарту FITA (Международной федерации стрельбы из лука) [12], представлены в графической форме (рис. 2 – 4). Внутренняя баллистика стрелы характеризуется интенсивными колебаниями с частотой около 430 Гц (см. рис. 2). Время совместного движения стрелы с тетивой составляет 15,3 мс.

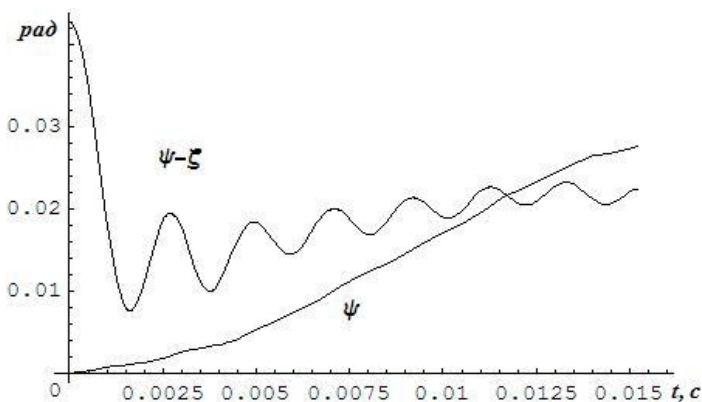


Рис. 2. Угол положения (ψ) и угол атаки ($\psi - \zeta$) стрелы лука

После выпуска тетивы сила растяжения в её ветвях в результате трёх циклов колебаний возрастает примерно в три раза по сравнению с силой натяжения лука при прицеливании (см. рис. 4). Сила отдачи, в это же время, в противофазе силе растяжения тетивы практически плавно спадает до нуля.

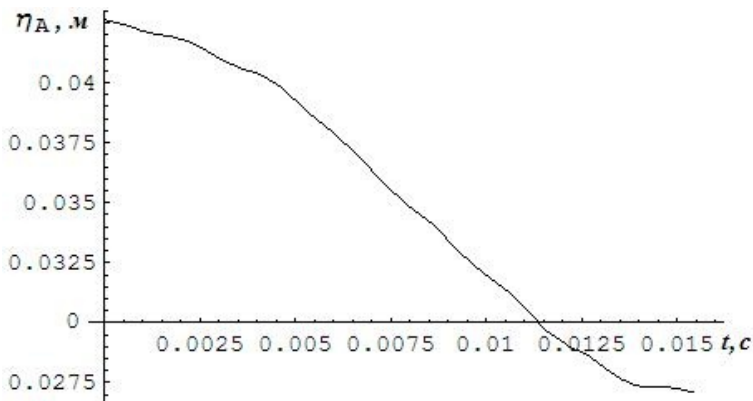


Рис. 3. Поперечная координата хвостовика стрелы

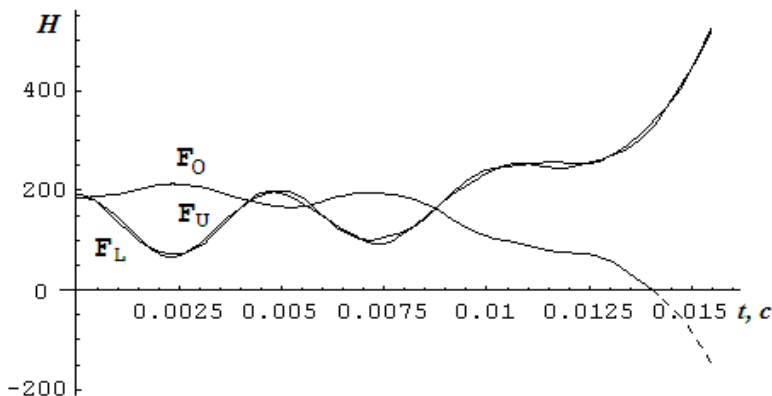


Рис. 4. Сила отдачи при выстреле (F_O) и силы натяжения верхней (F_U) и нижней (F_L) ветвей тетивы

Выводы. Модель показала свою пригодность для изучения основных кинематических и кинетических параметров взаимодействия стрелы с луком в вертикальной плоскости. С использованием результатов имитационного моделирования внутренней баллистики стрелы представляется возможным в дальнейшем разработать расчётную методику согласования параметров лука и стрел с индивидуальными особенностями техники выполнения выстрела.

Список литературы: 1. Coaches Manual. Entry Level. [Электронный ресурс] / International Archery Federation: FITA Coaches Committee, 2009. – Режим доступа: http://www.archery.org/content.asp?id=1036&me_id=836&cnt_id=2625. 2. Виноградський Б.А. Моделювання складних біомеханічних систем і його реалізація в спорті / Б.А. Виноградський. – Львів: ЗУКЦ, 2007. – 284 с. 3. Hickman C.N. Dynamics of a bow and arrow / C.N. Hickman // Journal of Applied Physics. – 1937. – V. 8. – P. 404-409. 4. Marlow W.C. Bow and arrow dynamics / W.C. Marlow // American Journal of Physics. – 1981. – V. 49. – № 4. – P. 320-333. 5. Kooi B.W. On the static deformation of a bow / B.W. Kooi, J.A. Sparenberg // Journal of Engineering Mathematics. – 1980. – V. 14. – № 1. – P. 27-45. 6. Ohsima S. Simulation of the shape and dynamics of Japanese bow – Application of large deflection theory / S. Ohsima, A. Ohtsuki // The Book of the 4th International Conference on Engineering of Sport, Kyoto, 2002. – P. 102-107. 7. Park J.L. Compound-archery-bow nocking-point locus in the vertical plane / J.L. Park // Proc. IMechE, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology. – 2009. – V. 224. – № 4. – P. 141-153. 8. Zanevskyy I. Bow tuning in the vertical plane / I. Zanevskyy // Sports Engineering. – 2006. – V. 9. – № 4. – P. 77-86. 9. Zanevskyy I. Modeling and computer simulation of bow stabilization in the vertical plane / I. Zanevskyy // International Journal of Sports Science and Engineering. – 2008. – V. 2. – № 1. – P. 3-14. 10. Zanevskyy I. Modeling of the archery bow and arrow vibrations / I. Zanevskyy // Shock and Vibration. – 2009. – V. 16. – № 4. – P. 203-212. 11. Zanevskyy I. Archer-bow-arrow behaviour in the vertical plane / I. Zanevskyy // Acta of Bioengineering and Biomechanics. – 2008. – V. 8. – № 1. – P. 65-82. 12. Recurve bow. [Электронный ресурс] / International Archery Federation: Equipment, 2010. – Режим доступа: <http://www.archery.org>.

УДК 799.322.2:623.446.4

Комп'ютерна модель внутрішньої балістики стріли лука / Заневський І.П
// Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 78 – 86.

Методом Лагранжа створено математичну модель взаємодії стріли з луком у формі системи десяти диференціальних рівнянь і початкових умов. Відповідну задачу Коші розв'язано методом Рунге-Кутта із застосуванням програми NDSolve з пакету Mathematica. Модель показала придатність для вивчення основних параметрів внутрішньої балістики стріли лука. Іл.: 4. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: стріла, лук, математична модель, задача Коші, метод Рунге-Кутта, пакет Mathematica, балістика.

UDC 799.322.2:623.446.4

Computer model of the archery arrow internal ballistics / Zanevskyy I.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 78 – 86.

A mathematical model of bow and arrow interaction was created using Lagrange method as a system of ten differential equations and initial conditions. Correspondent Cauchy problem was solved using Runge-Kutta method and NDSolve programs from Mathematica package. The model shown its possibility for studying of the main parameters of the archery arrow internal ballistics. Figs.: 4. Refs.: 12 titles.

Keywords: arrow, bow, mathematical model, Cauchy problem, Runge-Kutta method, Mathematica package, ballistics.

Поступила в редакцію 01.05.2011

ЗАЦЕРКЛЯНИЙ М.М., д.т.н., проф. ХНУВС, м. Харків,
УЗЛОВ Д.Ю., начальник відділу УБОЗ ГУ МВС України в
Харківській області, м. Харків

ЛІНГВІСТИЧНИЙ ПРОЦЕСОР ДЛЯ ПОШУКУ ТА ОПРАЦЮВАННЯ КРИМІНАЛЬНО НАЗНАЧИМОЇ ІНФОРМАЦІЇ В НЕСТРУКТУРОВАНИХ МАСИВАХ

В статті запропонована модель лінгвістичного процесора для пошуку та опрацювання кримінально значимої інформації з неструктурованих текстових масивів з використанням статистичних методів виділення колокацій та латентно-семантичного аналізу.

Ключові слова: лінгвістичний процесор, колокація, латентно-семантичний аналіз, кримінально значима інформація, модель.

Постановка проблеми. Інтенсивне наповнення інформаційного простору і наявності в ньому інформації, що має значення для оперативно-службової діяльності правоохоронних органів ставить ряд проблем, пов'язаних із можливістю автоматичного вилучення кримінально значимої інформації. Однією з важливих задач є організація автоматичного чи напівавтоматичного вибору фрагментів текстів, що відповідають контрольному переліку інформації аналітичних підрозділів правоохоронних органів [1]. Пошук нової інформації в нових джерелах тільки одна із задач необхідних для оперативно-службової діяльності. Іншою важливою задачею є ретроспективний пошук латентних закономірностей у неструктурованих масивах, подібних добовим відомостям подій у правоохоронних органах, тобто задача полягає в пошуку подій схожих за якимись параметрами (місце вчинення, вид, механізм, учасники, тощо), зареєстрованим у добових відомостях. Розв'язування цієї задачі дозволить зменшити кількість нерозкритих злочинів, сприяти прогнозуванню і регулюванню криміногенної обстановки.

Аналіз літератури. Для пошуку необхідної інформації користувач звертається до інформаційно-пошуковій системі (ІПС) у вигляді запиту. Формулювання запиту є відповідальним і важко формалізованим етапом. Крім того, проблема полягає в тому, що потреба правоохоронців знаходиться в досить вузькоспеціалізованій області зі спеціальною термінологією і формулювання запиту природною мовою часто призводить до великої захарашеності результату нерелевантними даними у зв'язку, зокрема, з полісемією природної мови [2]. Використання спеціальної термінології досить звужує коло пошуку. Ця проблема обумовлена тим, що розробники ІПС не прагнуть до розвитку мов

запитів. Їхні зусилля спрямовані на облік інформації, яка міститься в запиті, а також виявлення переваг і очікувань "масового користувача" [3]. Для користувачів зі специфічними інформаційними потребами необхідно усунути дисбаланс між універсальністю пошукової машини (ПМ) і специфічністю інформаційних потреб на етапі формулювання запитів. З цією метою необхідно модифікувати запит у спеціалізованій метапошуковій машині (ММ). Традиційно модифікація запиту здійснюється за допомогою семантичних словників – тезаурусів. Тезауруси не застосовуються в універсальних повнотекстових ПМ у зв'язку зі складністю побудови тезауруса, який відповідав би тематичним розмаїттям інформації, що індексується універсальною ПМ. Проте, можна вважати, що саме тезауруси сформовані з метаданих фактографічних систем баз даних правоохоронних органів будуть ефективними при побудові відповідної ММ. Більш ефективним буде використання словника стійких словосполучень кримінальної значимості – колокацій.

В зв'язку з цим виникають дві задачі:

- формування тезаурусів і колокацій, які мають кримінальну значимість;
- виявлення окремих слів і колокацій, які мають кримінальну значимість, у текстових масивах.

Метою статті є розгляд методів статистичного аналізу текстів щодо виявлення кримінально значимих слів та словосполучень, можливість складання відповідних тезаурусів та словників колокацій, модифікація методу LSA під застосування колокацій та розробка функціональної моделі лінгвістичного процесора для автоматичної обробки текстів щодо виявлення кримінально значимої інформації.

1. Функціональна модель лінгвістичного процесора. На рис. приведена функціональна схема запропонованого лінгвістичного процесора для пошуку та опрацювання кримінально значимої інформації в неструктурованих масивах. Його призначення полягає у розв'язуванні щойно сформульованих задач.

Вхідний текст із пошукової машини надходить на модуль індексації, де відбувається його розкладання на елементарні слова з урахуванням знаків пунктуації. Далі, розкладений текст, перетворюється в модулі "Транслятор" у текст з метаданими, які використовуються в тезаурусі, при цьому, в модулі коригування помилок відбувається пошук слів із друкарськими помилками і здійснюється їх коригування з використанням тезауруса. Перетворений текст опрацьовується в модулі "Тематичний фільтр", де на основі метаданих (із використанням онтологічної моделі)

визначається передбачувана тематична область тексту (визначається семантика) і підключається для проведення порівняння методом LSA з відповідною колекцією бази опрацьованих текстів "Text". Одночасно відбувається статистичний аналіз за частотою і мірою взаємозв'язку слів у модулі статистичного аналізатора з метою виявлення колокацій в нових текстах і поповнення відповідного словника, а також виділення додаткових метаданих у вигляді певної статистики, прив'язки їх до тексту і переміщення в базу даних опрацьованих текстів.

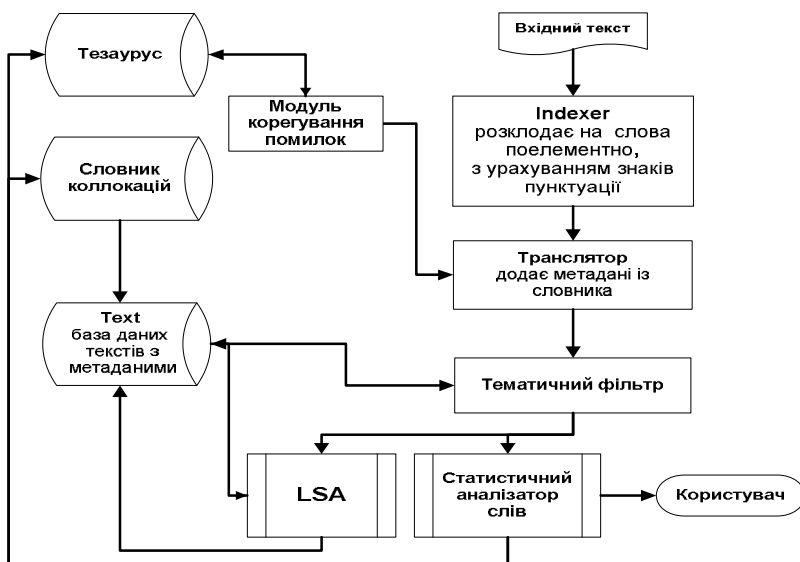


Рис. Функціональна модель лінгвістичного процесора

2. Метод латентно-семантичного аналізу ЛСА. Латентно-семантичний аналіз, або індексування, (LSA/LSI) – це метод вилучення "прихованих" контекстно-залежних значень термів зі структури семантичних взаємозв'язків між ними шляхом статистичного опрацювання великих наборів текстових даних.

Вибір цього методу для виділення кримінально значимої інформації в неструктурованих текстових масивах ґрунтується на тому, що:

- в якості початкових даних LSA використовує частоту використання слів в уривках тексту, а не частоту спільного використання слів;

– метод збирає дані не про спільне використання слів, а про використану множину слів у великому текстовому масиві.

Зміст методу ЛСА полягає у порівнянні множини всіх контекстів, у яких вживаються потрібні слова чи групи слів із подальшим ранжуванням за мірою близькості слів або груп слів, тобто розв'язуються задачі класифікації, кластеризації, складання тезаурусів і ранжування виділеної інформації.

При розв'язуванні цих задач потрібно виконати розбиття текстових масивів на систему підмножин, відмічених змістовними описувачами (автоматичну кластеризацію) на основі метаданих фактографічних баз даних. Для цього використовується матриця, яка описує вживання слів або сталих словосполучень у текстах. Стовпчики матриці відповідають документам, а рядки – словам (сполученням слів), що зустрічаються в документах. Елементом матриці в даному випадку є кількість використання конкретного слова (сполучення слів) в цьому тексті.

Аналіз текстових масивів природною мовою пов'язаний із розв'язуванням деяких проблем:

- синонімії, коли одне поняття описується різними наборами слів;
- полісемії, коли одне слово або одна комбінація слів описують різні поняття;
- невизначеність, коли слово (сполучення слів) містить розмиту якісну оцінку поняття.

Останню проблему варто віднести до fuzzy logic (нечітка логіка) [Л. Заде]. Дві інші проблеми можна розв'язати шляхом пониження рангу матриці, тобто шляхом апроксимації її матрицею меншого рангу. Пониження рангу впливає зі зменшення розміру матриці, пов'язане зі словами (сполученнями слів), які мають близькі значення. У разі полісемії слова, коли одне з його значень відповідає змістовим елементам тексту, його елемент об'єднується з матричними елементами слів з таким самим значенням. В іншому випадку – відповідний елемент буде відкинутим. Зниження рангу необхідно також для фільтрації шуму – випадкового попадання слів, що не відповідають змісту тексту.

Матриця, яка відображає використання слів (сполучень слів) у текстових фрагментах має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & \cdots & a_{m,n} \end{pmatrix}.$$

Кожний елемент цієї матриці є кількістю використань слова (сполучення слів) i у j -му фрагменті. Отже, кожний рядок матриці є

вектором, що відповідає слову (сполученню слів) і відображає його використання у кожному документі,

$$t_i^T = [a_{i,1}, \dots, a_{i,n}], \quad i = \overline{1, m}.$$

Аналогічно, кожний стовпчик є вектором, що відповідає певному фрагменту і відображає використання слів (сполучень слів) у цьому фрагменті:

$$d_j = \begin{pmatrix} a_{1,j} \\ \vdots \\ a_{m,j} \end{pmatrix}, \quad j = \overline{1, n}.$$

На основі роботи [5] одержується сингулярний розклад початкової матриці:

$$A = V \times W \times U^T,$$

або

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & \dots & a_{m,n} \end{pmatrix} = \left(\begin{pmatrix} \vdots \\ u_1 \end{pmatrix} \dots \begin{pmatrix} \vdots \\ u_l \end{pmatrix} \right) \cdot \begin{pmatrix} w_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & w_l \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} [v_i] \\ \vdots \\ [v_l] \end{pmatrix}.$$

Числа $w_1, \dots, w_l$ є сингулярними числами, а вектори $u_1, \dots, u_l$ та $v_1, \dots, v_l$ правими і лівими сингулярними векторами відповідно.

Якщо з усіх сингулярних значень відібрати k найбільших, то одержуємо апроксимацію початкової матриці матрицею рангу k [4]:

$$A - A_k = \sum_{l=k+1}^{\gamma} w_l v_l u_l^* \Rightarrow \|A - A_k\|_2 = w_{k+1}.$$

В результаті такої апроксимації у початковій матриці відкидається "надлишкова інформація", а отже, дістається матриця меншого рангу. Вибір найкращого розміру матриці залежить від задачі і встановлюється експериментальним шляхом: з одного боку ранг повинен бути як можна меншим, аби позбавитись "шуму", а з другого – достатньо великим, аби достатньо повно відобразити реально існуючу структуру даних.

3. Коллокації як індикативні ознаки наявності в текстах кримінально значимої інформації. Слова, що описують злочинні діяння мають свою специфіку і часто саме вони є індикативним ознакою, за якою здійснюється відбір документів. Зрозумілими є словосполучення ножове поранення, ознаки насильства, вогнепальне поранення, вибухова речовина, наркотична речовина, угон автомобіля, заволодіння майном,

умисний підпал, крадіжка грошей тощо. Проте є менш звичні, але більш ефективні поєднання слів для пошуку кримінально значимої інформації, наприклад "винт солянка". В цьому прикладі використовуються сленгові назви наркотичних засобів та прекурсорів (допоміжних речовин, що використовуються при виготовленні наркотиків): винт (сленгова назва наркотику) солянка (сленгова назва соляної кислоти, що є прекурсором при виготовленні наркотику "Винт").

Кожне з наведених словосполучень у професійних працівників правоохоронної системи викликає асоціацію з певним видом злочину, а отже, наявність їх у тексті вимагає в крайньому випадку глибокого вивчення цього тексту.

В рамках семантико-синтаксичного підходу стійкі словосполучення (колокації) розглядаються як семантико-синтаксичні одиниці або лексично визначені елементи граматичних структур. Вони характеризуються семантичною, синтаксичною і дистрибутивною регулярностями [5].

Отже, стійкі словосполучення (колокації) є потужним засобом у пошуку кримінально значимої інформації. А тому пошукова система їх повинна будувати і віднаходити в неструктурованих чи слабкоструктурованих масивах.

На сьогодні в лінгвістиці існує декілька способів для обчислення міри пов'язаності частин тієї чи іншої колокації. В рамках запропонованого лінгвістичного процесора для пошуку та опрацювання кримінально значимої інформації в неструктурованих масивах у модулі "Статистичний аналізатор слів" використовуються статистичні критерії MI , $\log$ -likelihood. Кожний із них має як свої переваги, так і свої недоліки.

3.1. Критерій MI . Міра MI дозволяє виділити стійкі словосполучення, імена власні, а також низькочастотні спеціальні терміни [6]. Слова, у яких MI приймає найбільшу величину, менш частотні і мають обмежену сполучуваність.

MI (коефіцієнт взаємної інформації) порівнює залежні контекстно-пов'язані частоти появи слів із незалежними, тобто тими, які у тексті з'являлися випадково, і обчислюється за формулою:

$$MI = \log_2 \frac{f(n, c) \times N}{f(n) \times f(c)},$$

де n – ключове слово; c – коллокат; $f(n, c)$ – відносна частота зустрічальності ключового слова n в парі з коллокатом c ; $f(n)$, $f(c)$ – відносні частоти ключового слова n і слова c в тексті; N – загальне число словоформ у тексті.

Міра MI залежить від розміру тексту: чим більшим є досліджуваний текст, тим вище в середньому одержувані для нього значення MI . Ця властивість відображає міру довіри до даних, одержаних для великих текстів.

MI використовується як засіб ранжування коллокацій всередині одного тексту за мірою їх зв'язності.

При підрахунку міри MI порядок слів всередині коллокацій не враховується: ця міра відображає взаємозалежність двох лексем, але не значимість конкретної колокації.

3.2. Критерій Log-Likelihood. Цей критерій відомий як логарифмічна функція правдоподібності або логарифмічна міра подібності. Він показує міру близькості слів у тексті і обчислюється для кожного слова за формулою [7]:

$$G = 2 \times \left(\left(fr_{domain} \times \log \left(\frac{fr_{domain}}{frExpected_{domain}} \right) \right) + \left(fr_{general} \times \log \left(\frac{fr_{general}}{frExpected_{general}} \right) \right) \right),$$

де $frExpected_{domain}$ та $frExpected_{general}$ – очікувані частоти в тексті предметної області і в неспеціалізованому тексті відповідно; fr_{domain} та $fr_{general}$ реально спостережувані частоти в тексті предметної області і в неспеціалізованому тексті відповідно.

Для обчислення очікуваних частот використовуються такі формули:

$$frExpected_{domain} = size_{domain} \times R_fr,$$

$$frExpected_{general} = size_{general} \times R_fr,$$

де $R_fr = \frac{fr_{domain} + fr_{general}}{size_{domain} + size_{general}}$, $size_{domain}$ та $size_{general}$ – розміри відповідних текстів, обчислені за кількістю слів.

Опрацювання даним методом, дозволяє одержати з текстового масиву список слів із їх вагою, яка відповідає ймовірності цих слів бути термінами певної предметної області.

Критерій Log-Likelihood використовується також у модулі "Статистичний аналізатор слів".

В результаті роботи модуля одержуються два словники – тезаурус, що містить кримінально значимі терміни, і словник кримінально значимих коллокацій, що містить характерні для даної предметної області зв'язки слів.

Висновок. В роботі запропоновано та розглянуто функціональну модель лінгвістичного процесору на основі ЛСА та статистичних методів для опрацювання кримінально значимої інформації в текстових масивах.

Список літератури: 1. Бандурка О.М. Особливості виділення кримінально значимої інформації в текстових масивах / О.М. Бандурка, М.М. Зацеркляний, Д.В. Лазарєв, Д.Ю. Узлов. – Науково-практичний журнал "Наше право". – 2011. – № 2. – Ч. 1. – С. 79-83. 2. Андреев А.М. Лингвистический процессор для информационно-поисковой системы / А.М. Андреев, Д.В. Березкин, А.В. Брик. – Режим доступа: http://www.inteltec.ru/publish/articles/textan/art_21br.shtml. 3. Браславский П.И. Тезаурус для расширения запросов к машинам поиска Интернета: структура и функции / П.И. Браславский. Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/Archive/2003/Braslavskij.htm>. 4. Соболев М.С. Метод латентно-семантического анализа. Магистерская диссертация / М.С. Соболев. – М.: МФТИ. – 2007. Режим доступа: <http://rykov-dp.narod.ru/Sobolev.pdf>. 5. Захаров В.П. Анализ эффективности статистических методов выявления коллокаций в текстах на русском языке / В.П. Захаров, М.В. Хохлова. – Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/dialog2010/materials/html/22.htm>. 6. Захаров В.П. Статистический метод выявления коллокаций / В.П. Захаров, М.В. Хохлова. Режим доступа: www.ict.edu.ru/vconf/files/10374.pdf. 7. Гельбух А.Ф. Автоматический поиск и классификация однословных терминов в корпусе предметной области с использованием логарифмической меры сходства с неспециализированным корпусом / А.Ф. Гельбух, Г.О. Сидоров, Э. Лавин-Вуйа. – Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/dialog2010/materials/html/14.htm>. 8. Introduction to Information Retrieval [Електронний ресурс] Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan & Hinrich Schütze – Режим доступа: <http://nlp.stanford.edu/IR-book/information-retrieval-book.html>.

УДК 343.982.4:004

Лингвистический процессор для поиска и обработки криминально значимой информации в неструктурированных массивах / Зацеркляний Н.М., Узлов Д.Ю. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 87 – 94.

В статье предложена модель лингвистического процессора для поиска и выделения криминально значимой информации из неструктурированных текстовых массивов с использованием статистических методов выделения коллокаций и латентно-семантического анализа. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: лингвистический процессор, криминально значимая информация, статистические методы, коллокации, латентно-семантический анализ.

UDC 343.982.4:004

Linguistic processor for searching and processing criminal information important in unstructured array / Zatserklyany N.M., Uzlov D.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 87 – 94.

In the article the model of linguistic processor is offered for a search and selection criminally of meaningful information from the unstructured text arrays with the use of statistical methods of selection of collotions and latently-semantic analysis. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

Key words: linguistic processor, criminally relevant information, statistical methods, collocation, latent-semantic analysis.

Надійшла до редакції 30.06.2011

Ю.Е. КРЮК, к.б.н., докторант ОИЭЯИ-"Сосны", г. Минск,
И.Е. КУНЕЦ, ГУО "Кадры индустрии", г. Минск

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПТИМИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Рассмотрена возможность использования метода многокритериальной оптимизации с булевыми переменными при организации радиационной защиты персонала. Показано, что применение известного математического аппарата позволяет поставить и решить задачу минимизации облучения работников без дополнительных финансовых затрат. Табл.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: метод многокритериальной оптимизации, радиационная защита персонала, минимизации облучения.

Постановка проблемы. Профессиональное облучение может произойти на целом ряде предприятий, использующих источники ионизирующего излучения. Для безопасного и приемлемого использования ионизирующего излучения в процессе работы необходима организация адекватной радиационной защиты персонала, в основе которой лежат три принципа: нормирование, обоснование и оптимизация [1].

Согласно современным подходам, принцип оптимизации должен определять такой уровень безопасности использования источников, при котором индивидуальные дозы облучения и число облучаемых лиц настолько малы, насколько это достижимо с учетом существующих экономических и социальных факторов. Требование к проведению оптимизации является одной из наиболее важных составляющих системы ограничения вредного воздействия радиации, вне зависимости от того, каков тип источника, какова ситуация облучения или характеристики облученного индивидуума [2]. Однако непосредственное применение данного принципа на практике вызывает затруднение в виду сложности установления зависимости величины облучения от экономических и социальных факторов.

Анализ литературы. В период становления радиационной защиты основные требования к ограничению облучения гласили, что если индивидуальная доза не превысит определенного порогового уровня, то вреда здоровью человека не будет [3]. В дальнейшем исследования в области воздействия источников привели к признанию факта, что никакое облучение не может быть абсолютно безопасным [1]. Начиная с этого момента принцип оптимизации, устанавливающий определенные ограничения на величину индивидуальной дозы или риска, является центральным принципом системы защиты и должен применяться для

всех ситуаций облучения [2]. Тем не менее, реализация данного подхода на практике продолжает вызывать затруднения [4, 5, 6]. Главный вопрос, на который согласно международным рекомендациям необходимо дать ответ в процессе проведения оптимизации – "сделано ли все разумное в данных обстоятельствах для уменьшения дозы облучения?". При этом необходимо учесть как технические, так и социальные факторы и экономические возможности, и требуется вынесение как качественных, так и количественных суждений. Несмотря на существующие методики проведения оптимизации радиационной защиты, окончательное решение по ее результатам носит субъективный характер. Основным инструментом, предлагаемым в помощь лицу, принимающему решения, является анализ "затраты – польза" [5, 6]. Данный метод призван соотнести экономические затраты на организацию защиты и экономический ущерб от возможного вреда, наносимого облучением. На практике в силу необходимости учета большого количества параметров такой подход находит применение далеко не всегда. Его используют чаще всего для обоснования крупных первоначальных вложений в организацию защиты, когда реализация требований к безопасности определяет будущие дозы облучения. В условиях уже установившейся практики дополнительные существенные экономические затраты на снижение существующего облучения, не превышающего установленные пределы доз, не признаются "разумными" и процесс оптимизации начинает носить формальный характер. Следовательно, в этих условиях необходим поиск других методов, позволяющих проводить оптимизацию доз облучения без существенных экономических вложений. При этом ключевым параметром оптимизации должна оставаться коллективная доза [2].

Цель статьи – исследование возможности использования математических методов моделирования в решении проблемы проведения оптимизации радиационной защиты персонала без существенных экономических затрат.

Построение математической модели задачи. В реальных рабочих условиях нормальной практики использования источников n -ое число работников находится в m -м количестве радиационных полей четко определенное время. Оценка эффективной дозы, получаемой работниками в конкретных неизменных условиях облучения, описывается следующей формулой:

$$D_i = R_j \times k \times t_{ij}, \quad (1)$$

где D_i – величина эффективной дозы i -го работника; R_j – радиационный

параметр в j -ой зоне работ (мощность дозы, мощность воздушной кермы и т.д.); k – коэффициент перехода от радиационного параметра к эффективной дозе; t_{ij} – время, которое i -ый работник находится j -ой зоне.

Коллективная доза D_n определяется как сумма индивидуальных доз работников:

$$D_n = \sum_{i=1}^n D_i. \quad (2)$$

В соответствии с формулой (1) влиять на величину получаемой работниками дозы можно улучшая параметры радиационной обстановки или за счет уменьшения времени пребывания в радиационных полях. При этом нужно понимать, что снижение параметров облучения для всех рабочих зон – дорогая и часто невыполнимая задача, а сокращение рабочего времени не должно негативно отражаться на качестве. Следовательно, в ходе оптимизации должна ставиться задача минимизации суммарной дозы и времени выполнения работ без лишних затрат.

В качестве решения поставленной задачи можно рассматривать решение известной в математике задачи двухкритериальной булевой оптимизации – задачи о назначениях, в которой требуется распределить n -ое количество кандидатов по m типам работ с соблюдением условий минимизации или максимизации двух критериев [7]. В случае, когда число работников равно количеству мест ($n = m$), задача является симметричной. Формулировка такой задачи включает две целевые функции, а переменные принимают булевы значения. Если обозначить c_{ij} и d_{ij} – как критерии эффективности распределения работников и ввести булевы переменные $x_{ij} = 1$, если i -го работника назначают на j -ое рабочее место и $x_{ij} = 0$, если не назначают, то математическая постановка задачи будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min (\max)_{x \in \Delta_{\beta}}, \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min (\max)_{x \in \Delta_{\beta}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где множество допустимых альтернатив Δ_{β} формируется следующей системой ограничений (4):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij}=1, (\forall i \in \{1, 2, ..., n\}); \\ \sum_{i=1}^n x_{ij}=1, (\forall j \in \{1, 2, ..., n\}); \\ x_{ij} \in \{0,1\}, (\forall i, j \in \{1, 2, ..., n\}). \end{cases} \quad (4)$$

Первое ограничение в системе соответствует требованию назначения каждого кандидата на выполнение только одной работы, а второе – выполнение работы в данный момент только одним работником.

Применение модели в оптимизации радиационной защиты. Рассмотрим ситуацию облучения группы из пяти работников (1-й, 2-й и т.д.) лаборатории радиоизотопной техники и радиационной безопасности, обеспечивающих техническое обслуживание источника одного из промышленных предприятий. Все пять сотрудников имеют одинаковое образование и могут выполнять одинаковые задания, но имеют разный стаж работы и разную интенсивность труда. В качестве мест выполнения заданий рассмотрим пять рабочих зон вокруг источника (А, В, С, D, Е), отличающиеся по радиационным параметрам. При этом в качестве первого критерия c_{ij} будем понимать усредненные дозы облучения, формируемые у работников в различных зонах (табл. 1) при выполнении одинаковых заданий, в качестве d_{ij} – средние временные затраты работников на работы в различных зонах (табл. 2).

Таблица 1

Дозы облучения работников при выполнении заданий в разных зонах, мкЗв

	1-й	2-ой	3-й	4-й	5-й
А	1,07	0,75	1,39	1,81	0,85
В	0,53	0,57	0,41	0,37	0,78
С	1,6	1,3	1,8	2,2	1,6
D	1,2	1,3	1,4	1,2	1,4
Е	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8

Таблица 2

Время выполнения заданий в разных зонах работниками, мин

	1-й	2-ой	3-й	4-й	5-й
А	100	70	130	170	80
В	130	140	100	90	190
С	80	100	80	50	40
D	90	110	90	70	70
Е	120	90	100	80	90

Временные и дозовые различия могут объясняться как разным опытом работы и, следовательно, навыками выполнения заданий, так

расположенностью сотрудников выполнять определенный вид работ. Можем предположить, что одна из проблем обеспечения радиационной безопасности на рабочем месте связана непосредственно с компетентностью и психологической предрасположенностью работников к выполнению заданий в особо опасных условиях.

Согласно поставленной цели оптимизации радиационной защиты минимизации подлежат как суммарная доза облучения работников, так и общее время выполнения заданий. Следовательно, целевые функции (3) для рассматриваемого случая можно записать в виде:

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x \in \Delta_{\beta}}, \quad \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x \in \Delta_{\beta}}. \quad (5)$$

Для решения такого класса задач разработаны различные методы [7, 8]. В данном исследовании был применен базовый метод для решения задач многокритериальной оптимизации с булевыми переменными – метод уступок. С использованием данного метода был выполнен анализ оптимального распределения заданий между работниками в разных зонах с целью минимизации дозовых и временных затрат. Для сравнения был также выполнен анализ распределения сотрудников, дающий максимальный вклад в суммарную дозу. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение максимального вклада сотрудников

	Минимум	Максимум	% экономии
Коллективная доза, мкЗв	4,36	6,29	31
Суммарное время, мин	450	650	

Таким образом, только использование оптимизации распределения сотрудников по заданиям может обеспечить снижение коллективной дозы облучения до 30%. Однако предложенное решение является эффективным методом минимизации суммарного облучения работников только в краткосрочном периоде. С учетом проблемы старения персонала в отрасли без проведения систематического обучения и формирования профессиональной компетенции у молодых сотрудников по безопасным способам выполнения работы добиться необходимого снижения доз облучения будет затруднительно.

Выводы. В ходе научной работы решалась задача многокритериальной оптимизации с булевыми переменными при организации радиационной защиты персонала. Показано, что применение

известного математического аппарата позволяет решать задачу минимизации облучения работников и снижать коллективную дозу и время выполнения работ до 30% без дополнительных финансовых затрат. Вместе с тем, сделан вывод о необходимости специальных программ по подготовке и обучению молодых сотрудников для сохранения потенциала проведения такого рода оптимизации.

Список литературы: 1. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication 60; ed. J. Valentin. – Oxford: Elsevier, 1991. – № 60. – P. 201. 2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication; ed. J. Valentin. – Oxford: Elsevier, 2007. – № 103. – P. 332. 3. The 1971 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection/ Annals of the ICRP Publication 26; ed. J. Valentin. – Oxford: Pergamon Press, 1971. – № 26. – P. 53. 4. Optimization and Decision Making in Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication 55; ed. J. Valentin. – Oxford: Pergamon Press, 1980. – № 55. – P. 60. 5. The optimization of radiological protection: Broadening the process / Annals of the ICRP Publication 101, part2; ed. J. Valentin – Oxford: Elsevier, 2005. – № 101. – P. 64 – 104. 6. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала / Серия докладов по безопасности МАГАТЭ. – Вена: МАГАТЭ, 2003. – № 21. – P. 81. 7. Лотов В.А. Многокритериальные задачи принятия решений / В.А. Лотов, И.И. Поспелова – М.: МАКСПресс, 2008. – 197 с. 8. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация / М.М. Кавалев. – Едиториал УРСС, 1977. – 191 с.

Статья представлена д.т.н. доц. ОИЭЯИ-"Сосны" Трифоновым А.Г.

УДК 519.854.33: 331.435

Математичні методи моделювання в оптимізації радіаційного захисту / Крюк Ю.Е., Кунец І.Е. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 95 – 100.

Розглянуто можливість використання методу багатокритеріальної оптимізації при організації радіаційного захисту персоналу. Показано, що застосування відомого математичного апарату дозволяє поставити і вирішити задачу мінімізації опромінення працівників без додаткових фінансових витрат. Табл.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: метод багатокритеріальної оптимізації, радіаційний захист персоналу, мінімізації опромінення.

UDC 519.854.33: 331.435

Mathematical simulation methods in the optimization of radiation protection / Kruk Y.E., Kunec I.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 95 – 100.

The possibility of using the multi-objective optimization method in the organization of radiation protection is considered. It is shown that the use of well-known mathematical tool allows solving the problem of minimizing the exposure of workers without any additional financial costs. Tabl.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: multi-objective optimization method, radiation protection of personnel, to minimize exposure.

Поступила в редакцию 07.06.2011

О.С. ЛОГУНОВА, д.т.н., доц. каф. ВТ и ПМ, ФГБОУ ВПО "МГТУ",
г. Магнитогорск,
М.В. ЗАРЕЦКИЙ, ст. преп. каф. ВТ и ПМ, ФГБОУ ВПО "МГТУ",
г. Магнитогорск,
В.В. ПАВЛОВ, вед. инж. сталеплавильной лаборатории ОАО
"ММК", г. Магнитогорск,
И.И. АДЕЛЬМУРЗИН, студент, ФГБОУ ВПО "МГТУ",
г. Магнитогорск

СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА²

Рассмотрена проблема краткосрочного прогнозирования химического состава чугуна. Определена специфика прогноза в условиях действующего доменного производства. Предложен эмпирический алгоритм прогнозирования, основанный на методике искусственных нейронных сетей. Получены краткосрочные прогнозы с ошибкой, не превышающей 10%. Ил.: 4. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: прогнозирование, химический состав чугуна, искусственные нейронные сети.

Постановка проблемы. Конкуренция на рынке металлургической продукции обуславливает необходимость внедрения автоматизированных систем, обеспечивающих достижение необходимого качества продукции. Внедренные в настоящее время в доменном производстве ОАО "ММК" Manufacturing Execution Systems (MES) задействованы в управлении технологическим процессом [1, 2]. В то же время существует необходимость в выработке методов оперативного прогнозирования основных характеристик продукции на период до четырех плавов. Оперативный прогноз предназначен для выявления нежелательных тенденций и выработки корректирующих воздействий, направленных на их предупреждение.

Качество перепельного чугуна характеризуется его химическим составом. Действующим стандартом [3] в зависимости от марки чугуна, группы, класса, категории нормируются массовая доля кремния, марганца, фосфора, серы. К характерным особенностям доменного производства относятся:

² Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 – 2013 годы.

- наличие временного лага непостоянной величины между производством агломерата, кокса и их использованием в доменном процессе;
- усредненность по времени и производственным агрегатам, поступающих в доменное производство шихтовых материалов;
- случайный характер изменения временного лага и параметров усреднения [4].

В соответствии с принятой классификацией доменная печь относится к разряду уникальных технических объектов, обладающих сложной многоэлементной структурой [5]. Таким образом, прогноз должен выполняться отдельно по каждому нормируемому параметру для каждой доменной печи.

Несмотря на существующие разработки, остается актуальной следующая проблема: разработка программных модулей для прогнозирования химического состава чугуна в условиях действующего производства, пригодных для интеграции в состав MES.

Анализ литературы. В настоящее время для решения задач прогнозирования применяются разнообразные подходы. Классические методы анализа и прогнозирования временных рядов представлены в монографиях Дж. Бокса и Г. Дженкинса [6, 7], Т. Андерсона [8]. Развитие данных подходов, ориентированное на прогнозирование хаотических временных рядов, в частности, популярный метод "гусеница", представлено в монографии [9].

Во многих сферах науки и техники было успешно выполнено прогнозирование с использованием метода группового учета аргументов (МГУА) А.Г. Ивахненко [10, 11].

Большое количество методов прогнозирования в настоящее время основано на нейросетевой парадигме [5, 12, 13]. Искусственные нейронные сети в наибольшей степени соответствуют концепции "черного ящика". Имеется опыт применения нейросетевого подхода к анализу аглодоменного процесса [14].

Анализ литературы показывает, что для применения любого из рассмотренных подходов в новой предметной области требуется его адаптация.

Цель статьи. Построение методики прогнозирования химического состава чугуна в условиях наличия непостоянного по величине временного лага в использовании шихтовых материалов и их усреднения.

В рассматриваемом случае наиболее подходящей является методика, основанная на применении искусственных нейронных сетей. Динамика каждого из нормируемых параметров для каждой из доменных печей

была рассмотрена в виде временного ряда. Все данные были проиндексированы в порядке их получения во времени.

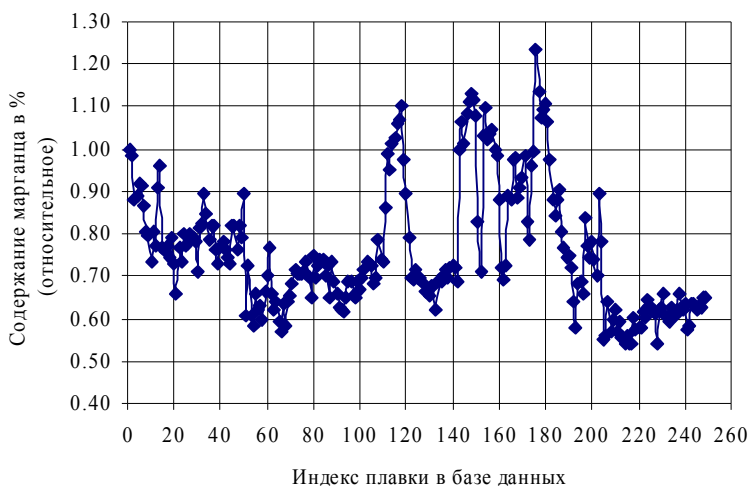


Рис. 1. Динамика изменения содержания марганца в чугуна

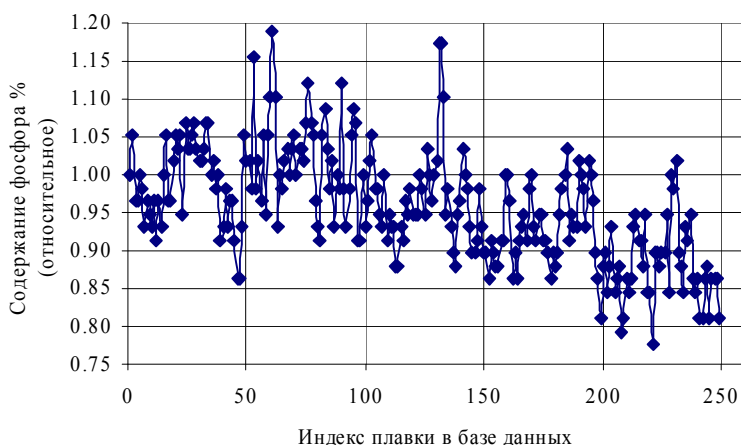


Рис. 2. Динамика изменения содержания фосфора в чугуна

Анализ представленных временных рядов (рис. 1 и рис. 2) показывает, что на каждый из них влияет случайное сочетание факторов

технического, экономического, организационного характера. Данные такого вида принято считать неопределенными [9]. В таком случае можно считать, что для временного ряда преобладающее значение имеет случайная компонента, определяемая сочетаниями неопределенных факторов.

При построении методики прогнозирования был использован трехслойный персептрон. Активационные функции всех нейронов – сигмоидные. Для обучения персептрона использовался метод обратного распространения ошибки [12].

Количество нейронов в слоях было определено эвристическим путем. Проводилось обучение сетей с различным количеством нейронов в слоях, не более 18, выбирались сети, дающие наименьшую ошибку прогноза.

Средняя относительная ошибка аппроксимации для выполненных прогнозов не превышает 10%. Данный результат является достоверным при прогнозировании тенденции временного ряда. Прогноз отслеживает, в основном, тенденцию изменения прогнозируемого временного ряда (рис. 3 и рис. 4).

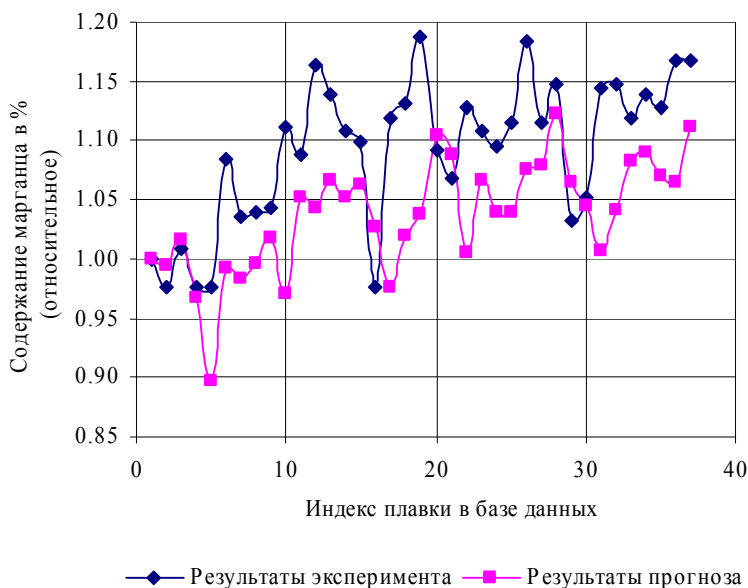


Рис. 3. Содержание марганца в чугуна

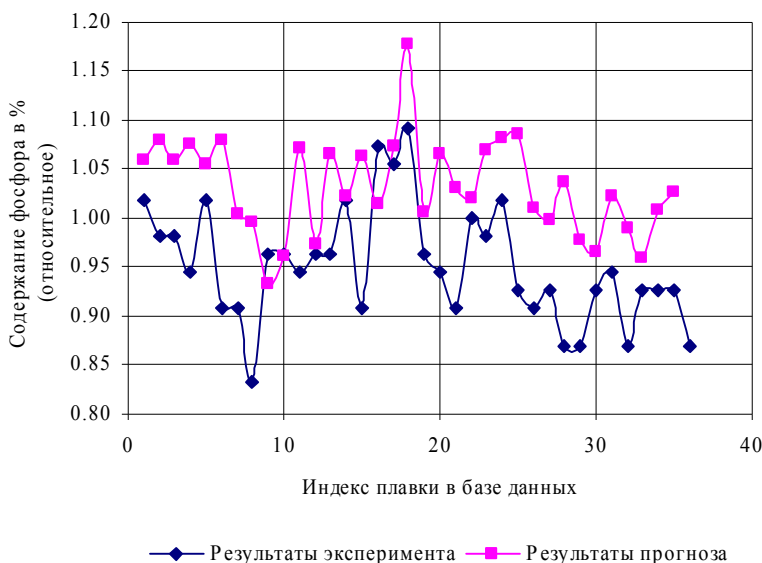


Рис. 4. Содержание фосфора в чугуна

Выводы:

- выявлена специфика исходных данных, характеризующих качество чугуна, определяемая наличием непостоянного по величине временного лага, непостоянных по характеристикам усреднения;
- предложена модель для прогнозирования химического состава чугуна на основе трехслойного персептрона с сигмоидными активационными функциями;
- получены достоверные результаты прогнозирования химического состава чугуна.

Список литературы: 1. *Спирин Н.А.* Модельная система поддержки принятия решений для управления доменной плавкой / *Н.А. Спирин, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев* и др. // Доменное производство – XXI век. Труды международного конгресса доменщиков. – М.: Издательский дом "Кодекс", 2010. – С. 454–459. 2. *Спирин Н.А.* Информационные системы в металлургии: Учебник для вузов / *Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов* и др. – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – УПИ, 2001. – 617 с. 3. Чугун переделный. Технические условия. ГОСТ 805-95. – [Введен в действие с 2000–01–01]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации и сертификации, 1995. – 7 с. 4. Металлургия чугуна: Учебник для вузов. 3 – е изд., перераб. и доп. / Под ред. *Ю.С. Юсфина*. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2004. – 774 с. 5. *Назаров А.В.*, Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / *А.В. Назаров, А.И. Лоскутов*. – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с. 6. *Бокс Дж.* Анализ временных рядов: Прогноз и

управление. Вып.1 / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 405 с. 7. Бокс Дж Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Вып.2 / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 197 с. 8. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М.: Мир, 1976. – 755 с. 9. Крянев А.В Математические методы обработки неопределенных данных / А.В. Крянев, Г.В. Лукин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 216 с. 10. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – К.: Техніка, 1975. – 312 с. 11. Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г. Ивахненко, Й.А. Мюллер. – К.: Техніка, 1985.; Берлин: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с. 12. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского / Д. Рутковская, М. Пилиньский., Л. Рутковский.. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 13. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник / О.Г. Руденко, Є.В. Бодяньський. – Харків: ТОВ "Компанія СМІТ" , 2006. – 404 с. 14. Девятков Д.Х. Применение нейросетевой модели для формирования экспертной оценки технологии аглодомного комплекса / Д.Х. Девятков, Ю.В. Кочержинская, Е.В. Прохоров // Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации. Сборник трудов Российской научно-технической конференции. – Магнитогорск, 2007. – Вып. 2. – С. 12-14.

Статья представлена д.т.н., проф. Вдовиным К.Н.

УДК 669.16.02:004.32.26

Система прогнозування хімічного складу чавуну / Логунова О.С., Зарецький М.В., Павлов В.В., Адельмурзін І.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 101 – 106.

Розглянуто проблему короткострокового прогнозування хімічного складу чавуну. Визначено специфіку прогнозу за умов діючого доменного виробництва. Запропоновано емпіричний алгоритм прогнозування, заснований на методиці штучних нейронних мереж. Отримано короткострокові прогнози з помилкою, яка не перевищує 10%. Іл.: 4. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: прогнозування, хімічний склад чавуну, штучні нейронні мережі.

UDC 669.16.02:004.32.26

The forecasting system of chemical composition of steelmaking iron / Logunova O.S., Zaretsky M.V., Pavlov V.V., Adelmurzin I.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 101 – 106.

The problem of short-term forecasting of chemical composition of steelmaking iron is considered. The specificity of the forecasting in the current blast-furnace iron making is described. An empirical forecasting algorithm based on the methodology of artificial neural networks is proposed. Short-term forecasts with an error not exceeding 10% are obtained. Figs.: 4. Refs.: 14 titles.

Keywords: forecasting, chemical composition of steelmaking iron, artificial neural networks.

Поступила в редакцию 12.07.2011

Ю.В. ЛОМОНОСОВ, к.т.н., проф. НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков,
В.Г. ИВАНОВ, д.т.н., проф. НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков,
М.Г. ЛЮБАРСКИЙ, д.физ.-мат.н., проф. НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков,
Н.А. КОШЕВА, к.т.н., доц. НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков,
М.В. ГВОЗДЕНКО, ст. преп., НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков,
Н.И. МАЗНИЧЕНКО, ст. преп. НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", г. Харьков

ПОВЫШЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХЭТАПНОГО АЛГОРИТМА СЖАТИЯ СИМВОЛЬНЫХ ДАННЫХ

Показано, что использование коротких первичных словарей в двухэтапном алгоритме сжатия символьных данных дает возможность уменьшить время кодирования на 20–25%. Представлены способы и критерии формирования первичных словарей символов, а также показатель их итерационного использования. Ил.: 5. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: сжатие символьных данных, словарь символов, двухэтапный алгоритм сжатия.

Постановка задачи. Применение методов классификации является перспективным и развивающимся направлением в теории и практике сжатия изображений [1 – 4]. Особое значение эти методы приобретают при сжатии изображений текста, которые используются для перевода печатных изданий в электронный вид. Известно, что из-за резких контрастных границ символов и их большого числа в строке неудовлетворительно работают стандартные методы сжатия, основанные на ортогональных преобразованиях, в том числе на преобразовании Фурье и вейвлет-анализе [4, 6].

В работах авторов [7 – 9] представлен метод сжатия изображений текста, основанный на выделении связанных символов и их классификации. Установлено, что степень сжатия изображений текста является очень высокой при качестве восстановленного текста существенно лучшем (благодаря операциям усреднения), чем у исходного текста. Однако минимизация вычислительных затрат предлагаемых алгоритмов в этих работах не рассматривалась. Настоящей работой восполняется этот пробел.

Анализ литературы. В работах [7 – 9] использование двухэтапного алгоритма классификации символьных данных позволяет сформировать графический словарь изображений символов, который содержит практически минимально возможное число классов. Это позволило повысить степень сжатия изображений текста для всех разрешений по сравнению с алгоритмом JB2 (формат DjVu) почти на 20%.

В ранее предложенном двухэтапном алгоритме [7], на каждом этапе классификации применялись различные модификации метода "просеивания" [5]. Основная классификация (первый этап) проводилась непосредственно с помощью алгоритма просеивания и последующим усреднением представителей каждого класса. Это достаточно быстрая процедура. Однако, после первого этапа обработки, в сформированном графическом словаре встречались одинаковые символы, которые принадлежали различным классам. Применение повторной классификации, которая основана на алгоритме "наращивания областей", устраняет этот недостаток. Эта классификация требует большего времени на обработку, но в силу того, что классифицируются не все символы изображения текста, а только центры классов уже сформированного графического словаря, время обработки находится в допустимых пределах. Количество получаемых классов графического словаря уменьшается по сравнению с алгоритмом JB2 (формат DjVu) в 2,5 раза.

Основным недостатком двухэтапной классификации [7 – 9] является то, что на первом этапе классификации участвуют все символы, в том числе и те, которые образуют классы состоящие из одного представителя и являются уникальными. Это приводит к неоправданным временным затратам, когда подобный символ изображения текста сравнивается с остальными и в результате не находится ни одного подобного символа, образуя класс, состоящий из одного представителя.

На рис. 1 приведены примеры символов, которые являются одинаковыми, но не попали в один класс после первого этапа классификации по различным причинам. Это целое семейство символов "точка" и символа "г". В первом случае все символы при практически равных геометрических размерах (высота, ширина) значительно разнятся по периметру (отклонение, которого допускается не более 10%, что соответствует несовпадению всего двух точек в изображении данного символа). Во втором случае представленные символы не были классифицированы в один класс в ходе плоскопараллельного переноса и вычисления симметрической разности с совмещенными центрами тяжести при процедуре "просеивания". Наличие символов "а" и "г" – это результат слияния этих двух символов, которые в совокупности также образуют уникальных класс с одним представителем.

Поэтому возникает идея – на первом этапе классификации собрать в графический словарь сначала все символы, которые формируют классы с большим числом представителей, исключив их таким образом из дальнейшей классификации при формировании следующих классов. Когда дойдет очередь до классификации уникальных символов, то число сравниваемых с ними символов будет гораздо меньше, что позволит сократить общее время обработки всего символьного изображения.



Рис. 1. Примеры классов изображений символов с одним представителем.

Цель статьи. Создание общего графического словаря символов путем использования более коротких словарей, которые последовательно формируются на участках изображения текста. Разработка метода сокращения общего времени классификации синтезированных символьных изображений.

Описание методов. Необходимо напомнить, что классификация символов на первом этапе проводится методом "просеивания" [5, 10], который состоит в следующем. Выбирается произвольный элемент из классифицируемого множества и в один класс с ним помещаются все элементы близкие к нему. Далее рассматриваются только элементы, не вошедшие в первый класс. Из их числа произвольно выбирается какой-либо элемент и аналогичным образом строится второй класс. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будут исчерпаны все элементы исходного множества.

Второй этап классификации реализует алгоритм "наращивания областей", который заключается в том, что на первом шаге, начиная с

произвольно выбранного элемента классифицируемого множества, к его классу присоединяются все достаточно близкие элементы. На втором шаге к вновь присоединенным элементам добавляются все элементы, близкие к ним. Процесс "наращивания" повторяется до тех пор, пока на каком-то шаге не окажется новых элементов, которые можно было бы присоединить. Далее все элементы "выращенного" класса исключаются из классифицируемого множества и "выращивается" следующий класс. Алгоритм заканчивает работу, когда в классифицируемом множестве не остается ни одного элемента.

В представленной работе приводится иной подход к созданию общего словаря символов путем классификации символов изображения короткими словарями, которые последовательно формируются на участках изображения текста. Составление первичных словарей осуществляется на основе оценки их эффективности. Количество первичных словарей определяется такой условной характеристикой, как среднее число классифицированных символов первичного словаря.

Эффективность первичного словаря (K) представлена как отношение количества центров (классов) вошедших в словарь (N_{dic}) к количеству символов на котором формировался данный первичный словарь ($N_{symbols}$)

$$K = \frac{N_{dic}}{N_{symbols}}. \quad (1)$$

На рис. 2 представлен график изменения эффективности словаря – K (выражение (1)), на всем множестве классифицируемых символов. На рис. 3 приведена пошаговая разность (приращение) эффективности первичного словаря – $\Delta K = K_{(i+1)} - K_{(i)}$ на том же множестве обрабатываемых символов.

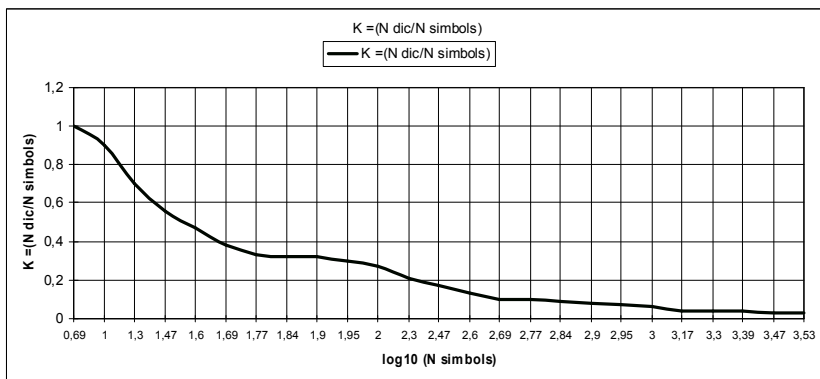


Рис. 2. Эффективность первичного словаря K

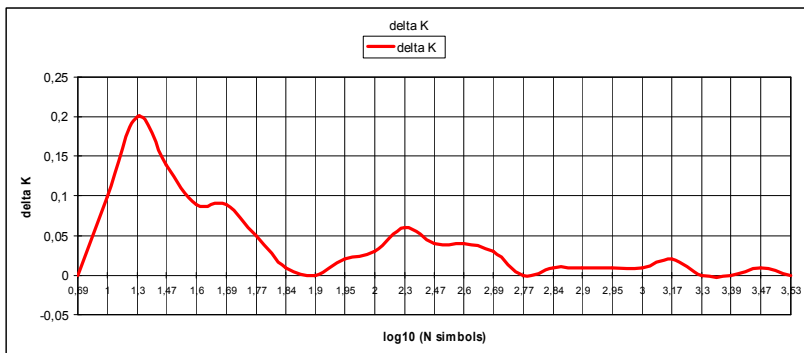


Рис. 3. Изменение эффективности первичного словаря

Максимум на рис. 3 определяет участок изображения текста, где сформированный первичный словарь будет наиболее эффективным. Дальнейшее увеличение области формирования первичного словаря (N symbols) в (1) не приводит к его интенсивному пополнению и его дальнейшее формирование необходимо остановить на полученном интервале. Далее осуществляется классификация символов всего изображения текста только центрами первичного словаря в соответствии с алгоритмом "просеивания".

Число итераций использования первичного словаря при обработке изображения текста определяется условной величиной – среднее количество классифицированных символов одним центром первичного словаря. В выражении (2), среднее количество символов в классе ($K1$) определяется как отношение количества классифицированных символов ($N_{classific_symbols}$) к количеству центров первичного словаря ($N_{classes}$)

$$K1 = \frac{N_{classific_symbols}}{N_{classes}}. \quad (2)$$

На рис. 4 представлено распределение символов изображения текста после их классификации центрами первичного словаря на две категории: классифицировано – непрерывная кривая; не классифицировано – пунктирная линия. Наглядно видно, что количество классифицированных символов (непрерывная кривая) быстро убывает, что свидетельствует о снижении эффективности классификации центрами первичного словаря. На оси абсцисс указано количество необработанных символов при i -ой итерации. На рис. 5 представлено среднее количество символов в классе на множестве необработанных символов – сплошная линия, а

приращение среднего количества символов в классе после классификации символов центрами первичного словаря – пунктирная кривая. Максимум приращения среднего числа символов в классе определяет число итераций.

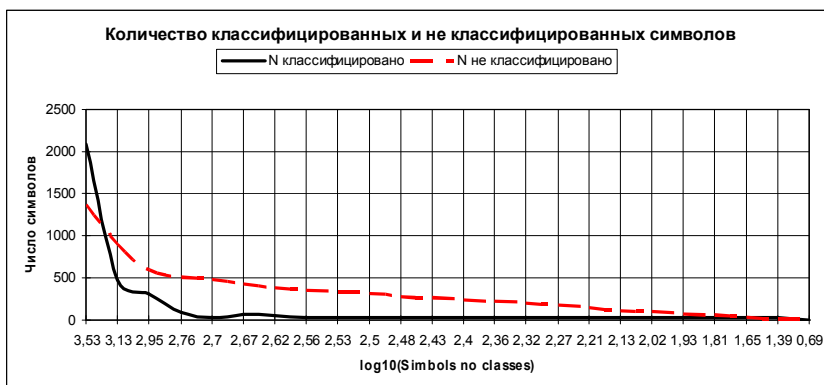


Рис. 4. Количество классифицированных и неклассифицированных символов

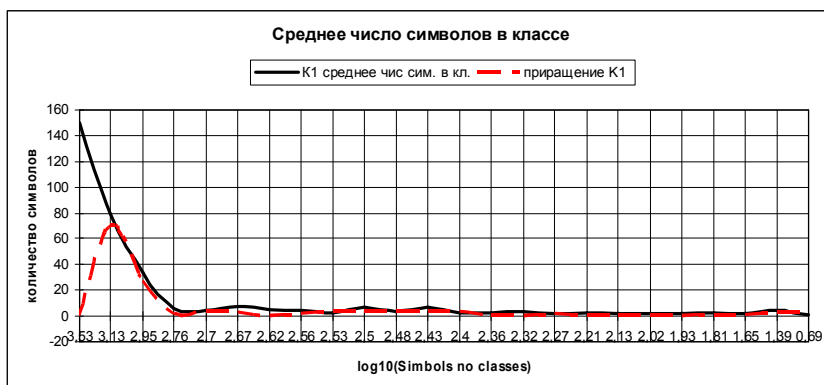


Рис. 5. Среднее число символов в классе и его приращение

Таким образом, на данном изображении классификация символов центрами первичных словарей наиболее эффективна при двух итерациях. Оставшееся множество символов можно классифицировать методом "просеивания" и далее на втором этапе методом "наращивания областей".

Выводы. Использование первичных словарей на первом этапе классификации методом "просеивания" (прямым перебором) позволило исключить из классифицируемого множества те символы, которые формируют классы с большим количеством представителей. Это позволило снизить общее время классификации на 20 – 25% по сравнению с последовательным применением метода "просеивания" и метода "наращивания областей" ко всему множеству изображений символов.

Список литературы. 1. Земсков В.Н. Сжатие изображений на основе автоматической классификации / В.Н. Земсков, И.С. Ким // Известия вузов. Электроника. – 2003. – № 2. – С. 50-56. 2. Gupta Maya R., Stroilov A. Segmenting for wavelet compression [Электронный ресурс]: Data Compression Conference, 2005. Proceedings. DCC 2005, 29-31 March 2005, USA, Utah, Snowbird. – 462 p. – Режим доступа: <http://www.computer.org/portal/web/csd/ proceedings/> – 10.04.2010 г. 3. Иванов В.Г. Сокращение содержательной избыточности изображений на основе классификации объектов и фона / В.Г. Иванов, М.Г. Любарский, Ю.В. Ломоносов // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 3. – С. 93-102. 4. Иванов В.Г. Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов / В.Г. Иванов, Ю.В. Ломоносов, М.Г. Любарский // Проблемы управления и информатики. – 2009. – №1 – С. 52-63. 5. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: справочник / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков и др.; под общ. ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. 6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. Иванов В.Г. Сжатие изображения текста на основе выделения символов и их классификации / В.Г. Иванов, М.Г. Любарский, Ю.В. Ломоносов // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 6. – С. 74-84. 8. Иванов В.Г. Сжатие символьных изображений на основе новой классифицирующей метрики / В.Г. Иванов, М.Г. Любарский, Ю.В. Ломоносов, С.В. Деркач // 17 міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика -2010". Тези доповідей. – Том 2. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 162-164. 306 с. 9. Иванов В.Г. Компресія зображень тексту на основі класифікуючої метрики з подавленням шумів друку та сканування / В.Г. Иванов, М.Г. Любарський, Ю.В. Ломоносов, С.В. Котляр // Праці 10-ї всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів" (УкрОБРАЗ'2010). – К., 2010. – С. 161-165. 10. Шлезингер М.И. Математические средства обработки изображений / М.И. Шлезингер. – К.: Наукова думка, 1983. – 200 с.

УДК 004.627

Підвищення обчислювальної ефективності двох-етапного алгоритму стиску символьних даних / Ломоносов Ю.В., Иванов В.Г., Любарський М.Г., Кошева Н.А., Гвозденко М.В., Мазниченко Н.І. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 107 – 114.

Показано, що при використанні у двох-етапному алгоритмі стиску символьних даних коротких первинних словників дає можливість зменшити час обробки на 20–25%. Представлені способи та критерії формування первинних словників класифікації символів, а також показник їх ітераційного використання. Іл.: 5. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: стиск символьних даних, словник символів, двох-етапний алгоритм стиску.

UDC 004.627

Rise of computing effectiveness double-step algorithm of compression of character data / Lomonosov U.V., Ivanov V.G., Lyubarsky M.G., Kosheva N.A., Gvozdenko M.V.,

Maznichenko N.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 107 – 114.

It is shown, that at usage in double-step algorithm of compression of the character given short primary dictionaries the general processing time can be reduced by 20-25 %. Modes and measure of creation of primary dictionaries of classification of characters, and as an index of their iterative usage are presented. Figs.: 5. Refs.: 10 titles.

Keywords: compression of character data, the dictionary of characters, double-step algorithm of compression.

Поступила в редакцию 15.06.2011

И.И. МАЦКО, аспирант каф. ВТ и ПМ, ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", г. Магнитогорск,

О.С. ЛОГУНОВА, д.т.н., проф. каф. ВТ и ПМ, ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", г. Магнитогорск

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ: МЕТОДИКИ УЛУЧШЕНИЯ И СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Рассмотрено описание автоматизированной системы принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки. Приведены схема классификации изображений серных отпечатков для автоматизированной системы оценки качества и методика улучшения и сегментации изображения. Ил.: 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: автоматизированная система принятия решения, качество непрерывно-литой заготовки, классификации изображений, методика улучшения и сегментации изображения.

Постановка проблемы и анализ литературы. Все современные металлургические предприятия в настоящее время активно эксплуатируют системы менеджмента качества для оценки готовой продукции, ведения производства и документооборота. Системный анализ информационных потоков металлургического предприятия [1, 2] позволил определить их важность в промышленной системе управления. Для анализа и оценки макроструктуры непрерывно-литой заготовки квадратного и прямоугольного сечения в условиях ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" изготавливаются и используются серные отпечатки и фотографии образцов (темплетов) [3]. Для автоматизации данного процесса предлагается ввести автоматизированные анализаторы на основе программного обеспечения средств вычислительной техники.

В ходе патентного поиска были проанализированы 2000 патентов на возможность использования результатов при проектировании программного анализатора в области оценки качества металлургической продукции. Из них было отобрано 236 аналогов.

В настоящее время запатентован "Способ и устройство автоматизированного видеоанализа темплетов при непрерывном литье заготовок на МНЛЗ (система СВАТ)" [4]. Недостатком системы является использование сложного сканирующего модуля.

Для найденных аналогов в металлургической области характерно использование обработки графической информации для выявления

дефектов микро- и макроструктуры, оценки износостойкости металла, а также измерения габаритов листа сложной формы.

Цель статьи – повышение качества информации, поступающей в MES, за счет использования инструментально-аппаратного комплекса, который включает в себя блоки детерминированно-статистической регистрации и оценки, традиционной регистрации и оценки по ОСТ 14–4–73 [5] и ОСТ 14–1–235–91 [6], нейросетевой регистрации, и обладает свойствами адаптации и обучения.

Автоматизированная система принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки. Разрабатываемая автоматизированная система принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки включает в себя инструментальный программно-аппаратный комплекс, выполняющий три параллельных процесса по регистрации и оценке качества непрерывно-литой заготовки: традиционные регистрация и оценка по [5] и [6]; детерминированно-статистические регистрация и оценка; нейросетевые регистрация и оценка.

Особенностью системы сбора данных является то, что она осуществляет синтетическую оценку качества непрерывно-литой заготовки на основе результатов функционирования трех процессов, повышая достоверность, полноту и адекватность собранной информации.

На рис. 1 приведена обобщенная схема разрабатываемой системы. С производственных участков по выпуску непрерывно-литой заготовки на участки подготовки темплетов и оценки качества отправляются образцы для оценки качества и идентификационные номера плавок (1). Проводится инструментально-аппаратный сбор данных (2). Полученные данные направляются в информационно-аналитические отделы системы управления производством (3) для формирования обратной связи с производственными участками выпуска (4) и предоставления отчетов в информационно-аналитические отделы системы управления предприятием (5).

Результирующая синтетическая оценка выставляется в результате вычислений по выражению:

$$\beta = \alpha_1 \cdot \beta_1 + \alpha_2 \cdot \beta_2 + \alpha_3 \cdot \beta_3 ,$$

где β – итоговая синтетическая оценка качества заготовки по выбранному баллу дефекта, балл; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – оценки качества заготовки, полученные в каждом модуле, приведенном на рис. 1; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты соответствующих оценок. Коэффициенты α_i устанавливаются эмпирически на основе изучения опыта экспертов, имеющих стаж выполняемых работ не менее 15 – 20 лет. Наличие этих коэффициентов, устанавливаемых в автоматизированном режиме, дает

возможность оператору системы, усиливать или ослаблять вложения каждого вида оценки. Самым простым способом является усреднении полученных результатов в результате выбора равных долей.

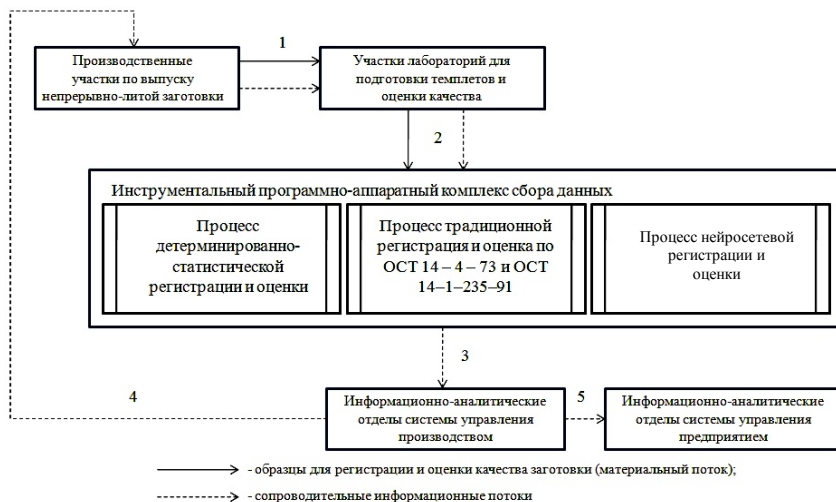


Рис. 1. Обобщенная схема разрабатываемой автоматизированной системы принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки

Методика улучшения и сегментации изображения. Для реализации моделей системы разработаны алгоритмы и их программная реализация.

Процесс детерминированной статистической оценки реализуется на основе операций морфологического анализа. Для этой оценки была построена классификация изображений по шести признакам принадлежности и общая методика улучшения и сегментации изображений для объектов нерегулярной формы. На рис. 2 приведена схема классификации изображений серых отпечатков для автоматизированной системы оценки качества.

Нельзя сказать, что применение одной из операций приводит к удовлетворительному результату. Авторами работы предлагается методика сочетания нескольких морфологических операций для улучшения изображения и принятия решений о его структуре [7]. Учитывая, что каждая морфологическая операция имеет определенную область применения и назначение, была определена методика улучшения и сегментации изображения, алгоритм которой приведен на рис. 4.

Для реализации блока нейросетевой регистрации оценки предложено использовать гибридную сеть, представленную на рис. 3 [8].

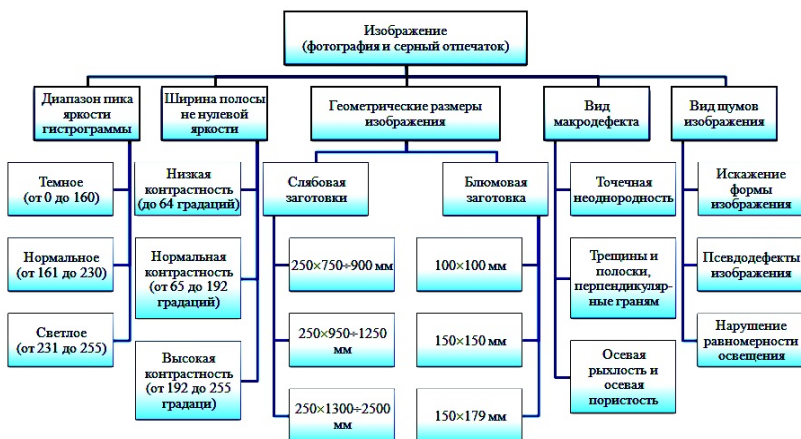


Рис. 2. Схема классификации серых отпечатков темплетов



Рис. 3. Схема нейросетевой структуры для сегментации низкоконтрастного изображения

Выводы. Представлены особенности системы сбора данных и обобщенная схема разрабатываемой системы. Построена классификация изображений серных отпечатков темплетов. Была определена методика улучшения и сегментации изображения. Предложена гибридная нейросетевая структура.

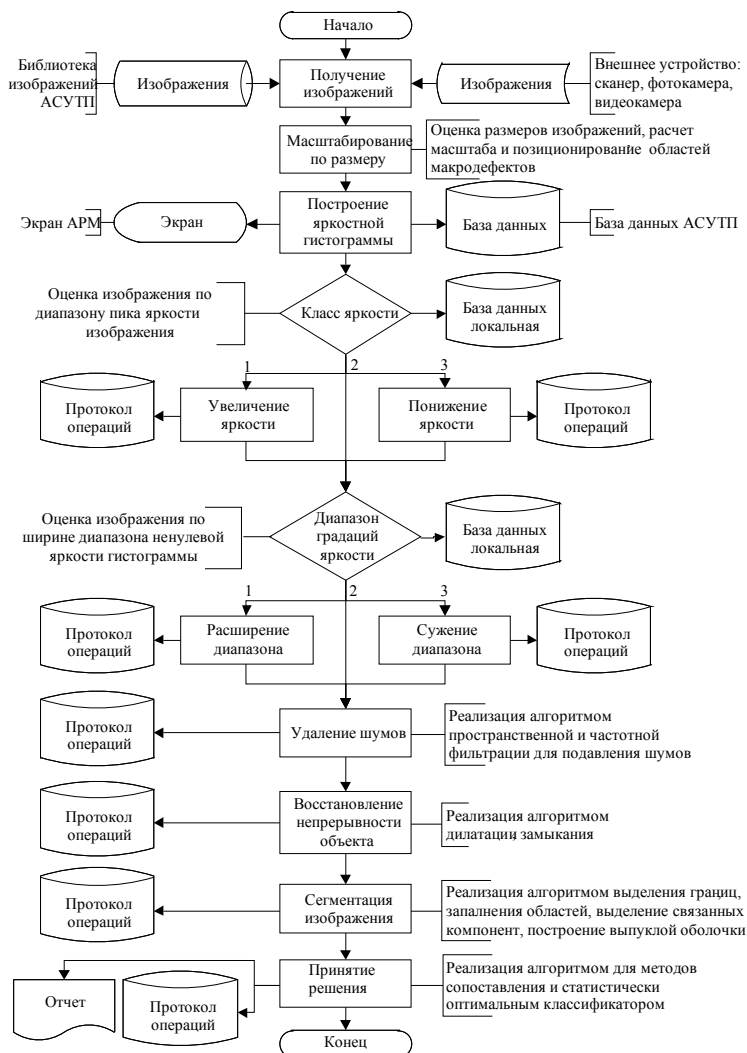


Рис. 4. Функциональная схема работы системы для обработки изображения

Список литературы: 1. *Логунова О.С.* Системный подход к исследованию информационных потоков в управлении качеством непрерывно-литой заготовки / *О.С. Логунова* // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 6. – С. 56 – 62. 2. *Логунова О.С.* Технология исследования информационных потоков на металлургическом предприятии / *О.С. Логунова* // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2008. – № 3. – С. 32 – 37. 3. *Logunova O.S.* Internal-defect formation and the thermal state of continuous-cast billet / *O.S. Logunova* // Steel in Translation. – 2008. – Т. 38. – № 10. – С. 849 – 852. 4. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК7 G 06 K 9/78. Способ и устройство автоматизированного видеоанализа темплетов при непрерывном литье заготовок на МНЛЗ (система СВАН) / *Тахаутдинов Р.С., Носов А.Д., Хребто В.Е., Лукьянов В.П., Гайнанов Д.Н., Фадеев В.В., Ардашов М.Г., Маевский В.В., Корзунин Л.Г., Терентьев О.В., Брагин В.Н.*; заявитель и патентообладатель ООО Фирма "ДАТА-ЦЕНТР". – № 2003111505/09; заявл. 21.04.03; опубл. 27.09.05, Бюл. № 27. 5. ОСТ 14-4-73. Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки (слитка), полученной методом непрерывной разливки, введ. 1973.07.01. – М.: Министерство черной металлургии СССР, 1973. – 15 с. 6. ОСТ 14-1-235-91. Сталь. Метод контроля макроструктуры непрерывнолитой заготовки для производства сортового проката и трубных заготовок. Взамен ОСТ 14-4-73 в части непрерывнолитой заготовки квадратного сечения; введ. 1992.01.01. – М.: Министерство металлургии СССР, 1991. – 37 с. 7. *Миков А.Ю.* Методика обработки изображений металлургической продукции с использованием операций морфологического анализа / *А.Ю. Миков, И.А. Посохов, О.С. Логунова* // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов III Международ. научн.-практ. конф.: в 2-х частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – Ч. 1. – С. 95 – 100. 8. *Миков А.Ю.* Синтез нейросетевой структуры для обработки изображений металлургической продукции / *А.Ю. Миков, И.И. Мацко, О.С. Логунова* // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов III Международ. научн.-практ. конф.: в 2-х частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – Ч. 1. – С. 100 – 105.

Статья представлена д.т.н., проф., проректором по научной работе ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова" Вдовиным В.К.

УДК 621.746.5.047:004.414

Автоматизована система прийняття рішення про якість безперервно-ливої заготовки: методика поліпшення і сегментації зображення безперервно-ливої заготовки / *Мацко І.І., Логунова О.С.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 115 – 121.

Розглянуто опис автоматизованої системи прийняття рішення про якість безперервно-ливої заготовки. Приведені схема класифікації зображень сірчанних відбитків для автоматизованої системи оцінки якості та методика поліпшення і сегментації зображення. Іл.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: автоматизована система прийняття рішення, якість безперервно-ливої заготовки, класифікації зображень, методика поліпшення і сегментації зображення.

UDC 621.746.5.047:004.414

Automated decision-making system of continuously cast billets quality: technique for continuous-casted billets images improvement and segmentation // *Matsko I.I., Logunova O.S.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 115 – 121.

Description of the automated decision-making system of continuously cast billets quality is considered. Presented the classification scheme of of sulfur prints images for automated quality assessment system and technique for images improving and segmentation. Figs.: 4. Refs.: 8 titles.

Keywords: automated decision-making system, continuously cast billets quality, technique for image improving and segmentation, the classification scheme.

Поступила в редакцию 15.06.2011

А.А. НИКОЛЕНКО, к.т.н., доц. ОНПУ, г. Одесса,
О.Ю. БАБИЛУНГА, к.т.н., доц. ОНПУ, г. Одесса,
В.Н. ЗАЙКОВСКИЙ, студент ОНПУ, г.Одесса

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНЫХ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРОВ

Предложено для локализации характерных фрагментов на изображении использовать двумерную фильтрацию на основе непрерывного вейвлет-преобразования. Двумерные вейвлет-фильтры получены матричным умножением коэффициентов одномерных вейвлет-фильтров. Предложена методика локализации характерных фрагментов изображения, приведены результаты ее апробации для различных приложений. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: изображение, локализация, характерные фрагменты, непрерывное вейвлет-преобразование, двумерные вейвлет-фильтры.

Постановка проблемы. Во многих прикладных задачах компьютерной обработки и распознавания объектов на изображении актуальной является задача поиска и локализации характерных фрагментов. Под характерным фрагментом будем понимать область изображения с определенными пространственно-частотными характеристиками, соответствующую объектам, подлежащим распознаванию – номерному знаку на автомобилях, маркировке на железнодорожных вагонах и контейнерах, текстовым надписям на упаковках с различным фоном, элементам лица человека на цифровых фотографиях и т.п.

Для решения задачи локализации характерных фрагментов используется множество методов на основе корреляции, контурной и текстурной сегментации, преобразования Фурье, вейвлет-преобразования [1 – 4]. При этом широкое применение последних долгое время ограничивалось возможностями вычислительной техники, и стало реальным благодаря усовершенствованию методов и алгоритмов обработки изображений и росту производительности компьютеров.

Анализ литературы. Из научно-технических источников известен ряд методов обработки изображений на основе вейвлет-преобразования, применяемого для решения задачи локализации [3 – 9]. Все они базируются на построчной или постолбцовой обработке изображений с использованием дискретного или непрерывного вейвлет-преобразования, которое позволяет выполнить сегментацию изображения и определить границы объекта в анализируемой строке (или столбце). Для таких

характерных фрагментов как текстовые надписи имеются методики автоматического выбора масштаба непрерывного вейвлет-преобразования, обеспечивающие локализацию такого фрагмента при различных размерах шрифтов [6, 7, 9]. Однако при этом практически не учитываются пространственные соотношения между элементами объекта, т.е. особенности его формы. Учет формы объекта с использованием корреляционных методов [1 – 4] затрудняется тем, что объект может иметь различные размеры и расположение относительно координатных осей. В [1] описывается подход Лавса (Laws) к вычислению энергетических текстурных характеристик с использованием двумерных масок, полученных матричным умножением соответствующих одномерных масок (с требуемыми характеристиками – усредняющие маски, маски для обнаружения края и т.д.), который может применяться для локализации текстурных фрагментов на изображении.

Цель статьи – разработка методики локализации характерных фрагментов изображения на основе двумерных вейвлет-фильтров, учитывающих пространственно-частотные особенности объектов, для применения в системах автоматической обработки и распознавания изображений.

Локализация характерных фрагментов изображения. В процессе локализации характерного фрагмента (определения координат его границ) на изображении часто используется отфильтрованное изображение. Основное требование к последнему состоит в подчеркивании пространственно-частотных особенностей характерного фрагмента без изменения масштаба изображения, что в дальнейшем позволит провести выделение этого фрагмента. Для решения таких задач в работе предлагается использовать непрерывное вейвлет-преобразование на основе двумерных вейвлет-фильтров [1, 4, 5, 10]. Для дальнейшего развития подхода Лавса (Laws) [1], с учетом пространственно-частотных особенностей характерного фрагмента, подбираем либо один двумерный фильтр, либо два одномерных фильтра (для обработки изображения по столбцам и строкам соответственно). Матричное перемножение коэффициентов одномерных фильтров образует матрицу коэффициентов двумерного фильтра, с помощью которого обрабатывается изображение. В качестве одномерных фильтров можно использовать вейвлеты Хаара, Гаусса, базисные функции гиперболического вейвлет-преобразования и другие [6 – 8]. Возможно также использование фильтров, которые не являются вейвлет-фильтрами в обычном смысле, но количество коэффициентов которых, можно изменять при сохранении формы их импульсной характеристики, что

эквивалентно изменению масштаба в вейвлет-преобразовании. На этапе предварительной обработки изображения осуществляется либо двумерная свертка исходного изображения с двумерным фильтром, либо последовательные одномерные свертки с соответствующими фильтрами по строкам и столбцам. Во втором случае можно использовать быстрые алгоритмы на основе преобразования Фурье для выполнения свертки.

Методика локализации характерных фрагментов изображения на основе двумерных вейвлет-фильтров предполагает выполнение следующих этапов:

Этап 1. Исходное изображение преобразуется в полутоновое.

Этап 2. Для сжатия динамического диапазона и ослабления влияния мультипликативной помехи осуществляется логарифмическое преобразование интенсивности изображения.

Этап 3. Осуществляется нормализация значений интенсивности полученного изображения к диапазону 0-255.

Этап 4. Выполняется свертка нормализованного изображения с двумерным фильтром. Во избежание краевых эффектов перед сверткой изображение расширяется по краям на величину, определяемую соответствующими размерами маски фильтра.

Этап 5. Осуществляется подсчет энергии значений интенсивности изображения в пределах скользящего (с перекрытием) окна, размеры (в пикселях) и форма которого соответствуют локализуемому объекту.

Полученное значение энергии в локальной области (в пределах окна) присваивается в результирующем изображении пикселю, координаты которого совпадают с координатами левого верхнего угла окна.

Этап 6. Определяется максимальное значение интенсивности в полученном изображении и его координаты.

Этап 7. На основании найденных координат максимума и известных размеров окна определяется расположение локализуемого объекта на исходном изображении.

Как правило, в практических приложениях известны не только размеры объекта, но и ориентировочная область его расположения, что позволяет ускорить процесс локализации за счет отказа от обработки участков изображения, где заведомо не может быть интересующего нас объекта.

Использование комбинаций различных фильтров для обработки строк и столбцов изображения способствует повышению точности локализации характерных фрагментов на изображении.

Полученные теоретические результаты апробированы при реализации процедуры локализации характерных фрагментов

изображения в различных прикладных задачах распознавания образов: номерных знаков на автомобилях, маркировки на железнодорожных вагонах и контейнерах, текстовых надписей на упаковках с различным фоном, элементов лица человека на цифровых фотографиях и т.п. Примеры локализации характерных фрагментов представлены на рис.

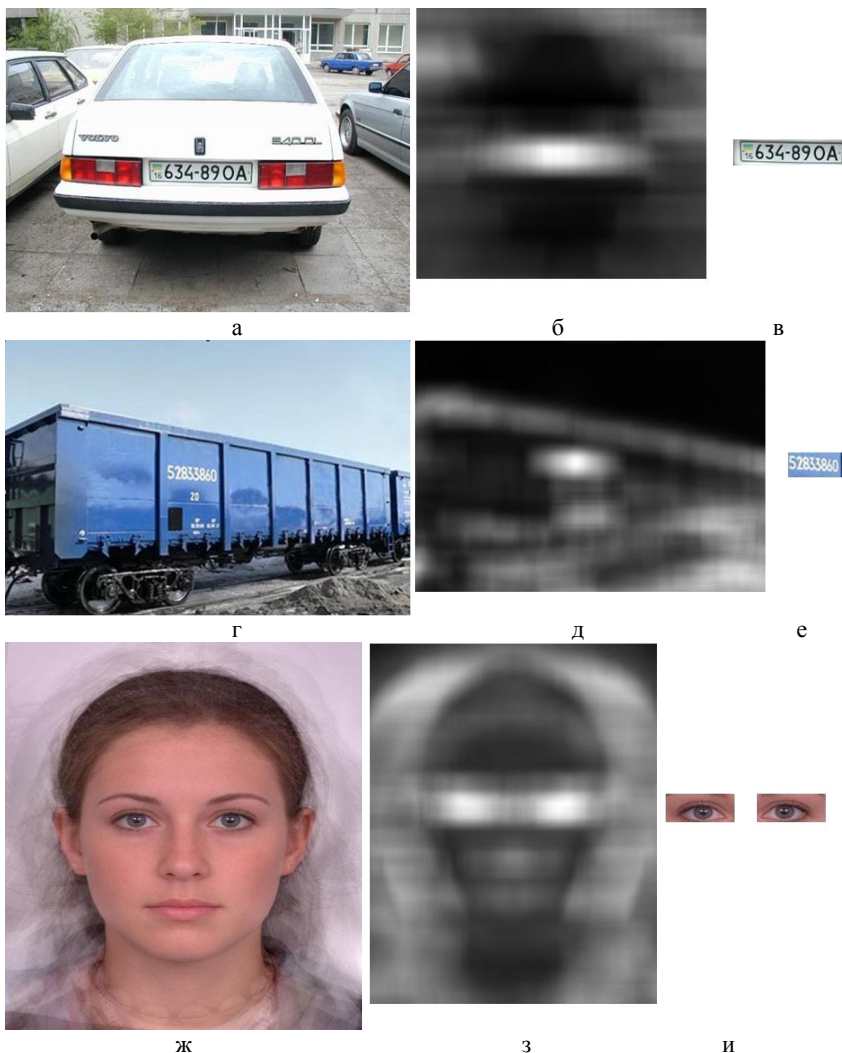


Рис. Примеры локализации характерных фрагментов

Для локализации характерных фрагментов (рис.) использовались двумерные фильтры размером 25×5 , полученные матричным умножением вейвлета Гаусса (первая производная функции Гаусса – взято 25 отсчетов на интервале $[-4; 4]$) и гиперболического вейвлета (5 отсчетов на интервале $[0.5; -0.5]$). На рис. б, д, з показаны изображения, полученные в результате вычисления энергии в скользящем окне (этап 5 методики). На этих рисунках отчетливо видны области, соответствующие максимальным значениям интенсивности, определяющие положение характерных фрагментов. При необходимости выделить несколько характерных фрагментов необходимо после обнаружения первого фрагмента обнулить интенсивность соответствующего участка на изображении энергии (рис. б, д, з) и вновь выполнить поиск максимума интенсивности.

Выводы. Предложено для локализации характерных фрагментов на изображении использовать на этапе предварительной обработки изображения двумерную фильтрацию на основе непрерывного вейвлет-преобразования.

Двумерные вейвлет-фильтры получены матричным умножением коэффициентов одномерных вейвлет-фильтров. Их применение приводит к подчеркиванию границ фрагментов изображения с заданными характеристиками. В дальнейшем находится максимум энергии интенсивности пикселей в пределах, задаваемых некоторым окном (в простейшем случае прямоугольным), скользящим по отфильтрованному изображению. По координатам максимума и известным размерам окна выполняется локализация характерного фрагмента.

В зависимости от поставленной цели обработки и характеристик выделяемых фрагментов изображения, предложено использовать комбинации различных одномерных вейвлет-фильтров (Гаусса, Хаара и др.) с соответствующими масштабами. При этом возможно использование фильтров, которые не являются вейвлет-фильтрами в обычном смысле, но количество коэффициентов которых, можно изменять при сохранении формы их импульсной характеристики, что эквивалентно изменению масштаба в вейвлет-преобразовании.

Разработанная методика локализации характерных фрагментов на изображении представляет интерес для специалистов, занимающихся компьютерной обработкой и распознаванием изображений.

Список литературы: 1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 2. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и переработке зрительных образов / Д. Марр. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с. 3. Бабицунга О.Ю. Формальное описание лиц в системах

компьютерного распознавания / *О.Ю. Бабилунга, Т.А. Бурак* // Мат. Міжнарод. наук. молод. школи. "Системы та засоби штучного інтелекту". – Донецьк: ІПШ "Наука і освіта". – 2008. – С. 9 – 12. **4.** *Малла С.* Вейвлеты в обработке сигналов / *С. Малла*. – М.: Мир, 2005. – 671 с. **5.** *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам / *Под ред. А.П. Петухова*. – М.: Ижевск, Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с. **6.** *Антощук С.Г.* Анализ базисных функций вейвлет-преобразования при мультимасштабном контурном представлении изображений / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко* // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2009. – Вип. 72. – С. 15 – 19. **7.** *Антощук С.Г.* Использование вейвлет-преобразования при локализации последовательностей символов / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко, О.Ю. Бабилунга* // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 23 – 29. **8.** *Антощук С.Г.* Адаптивна локалізація символічних написів на зображеннях методом вейвлет-аналізу / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко, О.Ю. Бабилунга* // Вісник ЖІТІ. – 2008. – № 4. – С. 125 – 130. **9.** *Антощук С.Г.* Локалізація квазіперіодических послідовностей на зображеннях / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Тьен Т.К. Нгуен* // Комп'ютерні науки і технології. – 2009. – № 2. – С. 35 – 40. **10.** *Короновский А.А.* Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / *А.А. Короновский, А.Е. Храмов*. – М.: Физматлит, 2003. – 176 с.

Статья представлена д.т.н., проф. ОНПУ Копытчуком Н.Б.

УДК 004.932

Локалізація характерних фрагментів зображення на основі двовірних вейвлет-фільтрів / *Николенко А.О., Бабилунга О.Ю., Зайковский В.М.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 122 – 127.

Запропоновано для локалізації характерних фрагментів на зображенні використовувати двовірну фільтрацію на основі неперервного вейвлет-перетворення. Двовірні вейвлет-фільтри одержані матричним множенням коефіцієнтів одновірних вейвлет-фільтрів. Запропонована методика локалізації характерних фрагментів зображення, наведені результати її апробації для різних приложень. Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: зображення, локалізація, характерні фрагменти, неперервне вейвлет-перетворення, двовірні вейвлет-фільтри.

UDC 004.932

Localization of specific image fragments based on two-dimensional wavelet filters / *Nikolenko A.A., Babilunga O.Yu., Zaykovskij V.N.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 122 – 127.

The localization of specific image fragments using a two-dimensional filtering based on continuous wavelet transform is offered. Two-dimensional wavelet filters are obtained by matrix multiplication of the coefficients of one-dimensional wavelet filters. Technique localization of specific image fragments is offered. Results of testing for different applications are considered. Figs.:1. Refs.: 10 titles.

Keywords: image, localization, image fragments, continuous wavelet transform, two-dimensional wavelet filters.

Поступила в редакцію 11.07.2011

С.И. ОСАДЧИЙ, к.т.н., доц., зав. каф. КНТУ, г. Кировоград,
Л.Г. ВИХРОВА, к.т.н., проф., декан КНТУ, г. Кировоград

СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ В ЗАДАЧЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОДОЛЬНОГО ГЛИССИРОВАНИЯ ТРАНЦА СУПЕРКАВИТАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

В статье рассмотрены особенности линеаризации уравнений продольного движения суперкавитационного объекта в условиях глиссирования его кормы в вертикальной плоскости и обоснован новый алгоритм структурной идентификации, позволяющий заменить нелинейную связь с запаздыванием эквивалентным векторным динамическим звеном, на выходе которого действует стохастическое возмущение. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: линеаризация, структурная идентификация, выход, возмущение.

Постановка проблемы. Достижение наивысшей точности движения суперкавитационных объектов (СКО) [1, 2] по заданной траектории при минимальных затратах на управление может быть осуществлено [3] в оптимальных системах стохастической стабилизации. Одна из эффективных методологий создания оптимальных замкнутых систем управления [4] основана на использовании линеаризованной модели динамики объекта управления и квадратичного критерия качества. Этот критерий учитывает как характеристики отклонений от заданной траектории движения, так и характеристики отклонений управляющих воздействий от балансирующих значений. Разработка модели динамики движения СКО представляет собой сложную научно-техническую задачу, поскольку взаимодействие этого объекта с окружающей средой [5, 6] в носовой части носит линейный характер, а в кормовой – нелинейный с зоной нечувствительности.

Анализ литературы. Получению линеаризованных уравнений движения СКО посвящено целый ряд работ, к примеру [1, 6, 7]. При этом процесс линеаризации основан на принятии ряда допущений. Например, в работе [7] полагают, что в месте взаимодействия транца СКО с газопаровой смесью диаметр каверны [8] приближается к диаметру корпуса объекта и постоянен, а угол погружения мал, и заменяют нелинейную функцию давления, полученную Логвиновичем Г.В., на двумодальную линейную функцию. Главным недостатком такого подхода к созданию модели динамики объекта управления является появление в контурах управления реальной системы малых

дополнительных сигналов, которые в случае управления движением СКО, как неустойчивого динамического объекта [1, 7], могут приводить и, по-видимому, приводят к возникновению его сходов с заданной траектории.

Цель статьи. Учитывая то, что сила, действующая на транец СКО при глиссировании, представляет собой многомерную нелинейную обратную связь с запаздыванием [8], обосновать метод, позволяющий заменить эту связь эквивалентным векторным линейным динамическим элементом, на выходе которого действует стохастическое возмущение.

Основные материалы исследований. Допустим, что продольное движение СКО, как и в работе [7], описывается следующей системой канонических дифференциальных уравнений в векторной форме

$$Px = Mu + B_2g + F_p(t, \tau), \quad (1)$$

где P – матрица размерности $n \times n$, которая характеризует свободное движение объекта и имеет следующую структуру:

$$P = sE_n - A, \quad (2)$$

где A – числовая матрица размерности $n \times n$, значения элементов которой определяются по известным формулам [7] и зависят от конструкции корпуса СКО и скорости его движения; x – n -мерный вектор выходных координат объекта; u – m -мерный вектор сигналов управления рулями; M – числовая матрица размерности $n \times m$, значения элементов которой определяются аналогично матрице A ; B_2 – n -мерная вектор-строка с известными коэффициентами; g – ускорение свободного падения; $F_p(t, \tau)$ – n -мерный вектор-столбец сил давления, вызванных взаимодействием кормовой части СКО с газопаровой смесью, нелинейным образом зависящих [5, 7, 8] от выходных координат объекта, радиуса каверны в кормовой части СКО R_c , а также от времени движения частиц среды обтекания от носа до кормы τ .

Для линеаризации системы уравнений (1) воспользуемся идеей, обоснованной в статье [9], и представим вектор функций $F_p(t, \tau)$ в виде следующей суммы

$$F_p(t, \tau) = B_4 B_3^0 x + v, \quad (3)$$

где B_4 – известный [7, 8] n -мерный вектор-столбец, а B_3^0 – вектор-строка, структура и параметры элементов которой подлежат поиску; v – n -мерный вектор стохастических возмущений, возникающих на выходе

эквивалентного динамического звена, динамические характеристики которого также должны быть определены. В таком случае, линейаризация системы уравнений (1) сводится к решению задачи структурной идентификации вектора передаточных функций B_3^0 или произведения $B_3^0 B_4$ и неслучайных динамических характеристик вектора v . Данная задача формулируется следующим образом.

Предположим, что динамика объекта линейаризации характеризуется системой дифференциальных уравнений (1) – (3), доступными для измерения и регистрации являются векторы u и x , а априорно известными есть матрицы P , M , B_2 , B_4 (рис.).

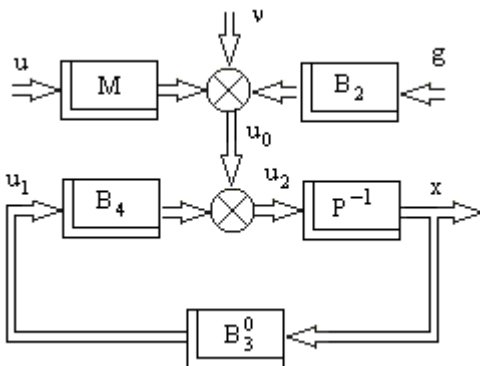


Рис. Структурная схема эквивалентного объекта

Будем полагать также, что в записях компонентов векторов u и x преобладают регулярные тренды, а вектор возмущений v является выходным сигналом формирующего фильтра с передаточной функцией N_0

$$v = N_0 \delta_0, \quad (4)$$

где δ_0 – изображение Лапласа вектора единичных дельта функций.

Необходимо по найденным в результате эксперимента и первичной обработки моделям динамики регулярных составляющих векторов u и x , а также заданным матрицам P , M , B_2 , B_4 найти матрицы передаточных функций B_3^0 и N_0 .

Для решения поставленной задачи идентификации представим систему дифференциальных уравнений (1) в изображениях по Лапласу при нулевых начальных условиях с учетом выражения (4) в виде

$$\begin{cases} x_0 = P^{-1}Mu_0 + P^{-1}B_4u_1 + P^{-1}B_2g + P^{-1}N_0\delta_0; \\ u_1 = B_3^0x. \end{cases} \quad (5)$$

По аналогии с монографией [3] введем в рассмотрение вектор изображений Лапласа обобщенных входных сигналов y_p , действующих на входе эквивалентного линейного элемента с передаточной функцией B_3^0 ,

$$y_p = \begin{bmatrix} x' & \delta_0' \end{bmatrix}, \quad (6)$$

и блочную матрицу передаточных функций Φ , характеризующую динамику неизвестной части объекта, которая должна быть найдена,

$$\Phi = \begin{bmatrix} B_4B_3^0 & N_0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

С учетом выражений (6), (7) система уравнений (5) приводится к виду

$$x = P^{-1}Mu + P^{-1}B_2g + P^{-1}\Phi y_p, \quad (8)$$

тогда вектор ошибок идентификации ε может быть представлен как разность левой и правой частей выражения (8)

$$\varepsilon = x - P^{-1}Mu - P^{-1}B_2g - P^{-1}\Phi y_p. \quad (9)$$

Если за критерий качества структурной идентификации принять сумму взвешенных интегральных квадратических ошибок идентификации

$$I = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(\varepsilon \varepsilon^* R) ds, \quad (10)$$

в котором j – комплексная единица; tr – знак нахождения следа матрицы [10]; "*" – знак эрмитового сопряжения матриц [10]; R – положительно определенная весовая матрица; то задача линеаризации сводится к минимизации функционала (10) на классе физически реализуемых матриц передаточных функций Φ .

Подстановка выражения (9) в функционал (10) позволяет определить связь между значением критерия качества I и варьируемой матрицей передаточных функций Φ в явном виде как

$$I = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \left(x x^* R - x u^* M^* P^{-1} R - x g^* B_2^* P^{-1} R - x y_p^* \Phi^* P^{-1} R - P^{-1} M u x^* R + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + P^{-1}Mu u_* M_* P_*^{-1} R + P^{-1}Mu g_* B_{2*} P_*^{-1} R + P^{-1}Mu y_{p*} \Phi_* P_*^{-1} R - P^{-1}B_2 g x_* R + \\
& + P^{-1}B_2 g u_* M_* P_*^{-1} R + P^{-1}B_2 g g_* B_{2*} P_*^{-1} R + P^{-1}B_2 g y_{p*} \Phi_* P_*^{-1} - \\
& - P^{-1}\Phi y_p x_* R + P^{-1}\Phi y_p u_* M_* P_*^{-1} R + P^{-1}\Phi y_p g_* B_{2*} P_*^{-1} R + \\
& + P^{-1}\Phi y_p y_{p*} \Phi_* P_*^{-1} R) ds .
\end{aligned} \tag{11}$$

Для минимизации функционала (11) на классе устойчивых и физически реализуемых матриц варьируемых передаточных функций Φ воспользуемся методом Винера-Колмогорова и найдем первую вариацию функционала (11)

$$\begin{aligned}
\delta I = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} tr[\delta\Phi_*(P_*^{-1}RP^{-1}Mu y_{p*} + P_*^{-1}RP^{-1}B_2 g y_{p*} - P_*^{-1}R x y_{p*} + \\
+ P_*^{-1}RP^{-1}\Phi y_p y_{p*}) + (y_p u_* M_* P_*^{-1}RP^{-1} + y_p g_* B_{2*} P_*^{-1}RP^{-1} - y_p x_* RP^{-1} + \\
+ y_p y_{p*} \Phi_* P_*^{-1}RP^{-1})\delta\Phi] ds .
\end{aligned} \tag{12}$$

Введем обозначения

$$\Gamma_* \Gamma = P_*^{-1} R P_*^{-1}, \tag{13}$$

$$D L D_* = y_p y_{p*}, \tag{14}$$

в которых Γ – результат факторизации [11] произведения матриц, стоящего в правой части равенства (13); D – аналитическая только в правой полуплоскости матрица размерности $2n \times 2n$; L – матрица, элементами которой являются единицы размерности $2n \times 2n$. При известной L найдем представления произведений матриц вида

$$\theta_u L = M u y_{p*} D_*^{-1}, \quad \theta_g L = B_2 g y_{p*} D_*^{-1}, \quad \theta_y L = x y_{p*} D_*^{-1},$$

тогда первая вариация функционала (12) сводится к следующему уравнению

$$\begin{aligned}
\delta I = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} tr\left\{\delta\Phi_* \Gamma_* \left[\Gamma_*^{-1} P_*^{-1} R \left(P_*^{-1} \theta_u + P_*^{-1} \theta_g - \theta_y \right) + \Gamma \Phi D \right] L D_* + \right. \\
\left. D L_* \left[D_* \Phi_* \Gamma_* + \left(\theta_{u*} P_*^{-1} + \theta_{g*} P_*^{-1} - \theta_{y*} \right) R P_*^{-1} \Gamma^{-1} \right] \Gamma \delta\Phi \right\} ds .
\end{aligned} \tag{15}$$

Обозначим

$$K_0 + K_+ + K_- = \Gamma_*^{-1} P_*^{-1} R (P^{-1} \theta_u + P^{-1} \theta_g - \theta_y), \quad (16)$$

где матрицы K_0 , K_+ и K_- – результат сепарации [3, 12] произведения матриц в правой части равенства (14), тогда физически реализуемая матрица передаточных функций Φ , доставляющая минимум функционалу (11), как показано в работе [12], должна быть найдена по формуле

$$\Phi = (\Phi_{11} \quad \Phi_{12}) = -\Gamma^{-1} (K_0 + K_+) D^{-1}. \quad (17)$$

Сравнение выражений (7) и (17) позволяет найти искомые матрицы передаточных функций эквивалентного векторного динамического звена и многомерного фильтра, формирующего вектор возмущений на выходе этого звена:

$$B_4 B_3^0 = \Phi_{11}; \quad N_0 = \Phi_{12}.$$

Выводы. Таким образом, обоснован новый метод, позволяющий при нулевых начальных условиях идентификации и регулярных сигналах "вход – выход" СКО заменить нелинейную обратную связь по давлению, действующим при глиссировании его кормы, векторным линейным динамическим объектом, на выходе которого действует возмущение.

Список литературы: 1. *Seon Sik Ahn* An Integrated Approach to the Design of Supercavitating Underwater Vehicles: Doctor's thesis / *Sik Ahn Seon* // Georgia Institute of Technology. – 2007. – P. 160. 2. The Science of War: Weapons // Scientific American Special Online Issue. – Scientific American, Inc. – 2002. 3. *Азарсков В.Н.* Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография / *В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий* / Под ред. Блохина Л.Н. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 440 с. 4. *Блохін Л.М.* Методологічні основи та етапи забезпечення конкурентноздатності процесів стабілізації існуючих рухомих об'єктів / *Л.М. Блохін, С.І. Осадчий, О.П. Кривоносенко* // Вісник НАУ. – 2009. – № 2. – С. 61-68. 5. *Логвинович Г.В.* Гидродинамика течений со свободными границами / *Г.В. Логвинович*. – К.: Наук. думка, 1969. – 208 с. 6. *Савченко Ю.Н.* О движении в воде на суперкавитационных режимах обтекания / *Ю.Н. Савченко* // Гидромеханика. – 1996. – № 70. – С. 105-116. 7. *Vanek B.* Longitudinal Motion Control of a High-Speed Supercavitation Vehicle / *B. Vanek, J. Bokor, G.J. Balas etc.* // JVC06-12. – P. 1-29. 8. *Эштетин Л.А.* Течение около тел вращения при малых числах кавитации / *Л.А. Эштетин* // Труды ЦАГИ. – 1961. – Вып. 817. 9. *Блохин Л.Н.* Нелинейные оптимальные системы стохастической стабилизации / *Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий* // Кибернетика и вычислительная техника. – 2003. – Вып. 139. – С. 12-23. 10. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц / *Ф.Р. Гантмахер*. – М.: Наука, 1988. – 552 с. 11. *Davis M.C.* Factoring the spectral matrix / *M.C. Davis* // IEEE Trans. Automat. Contr. – 1963. – AC-8. – № 4. – P. 296-305. 12. *Алиев Ф.А.* Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления: (монография) / *Ф.А. Алиев, В.Б. Ларин, К.И. Науменко, В.Н. Сунцев*. – Ин-т математики АН УССР. – К.: Наук. думка, 1978. – 327 с.

Стаття представлена д.т.н., проф. КНТУ Рєвою А.Н.

УДК 681.513

Структурна ідентифікація у задачі лінеаризації моделі динаміки повздовжнього глісування транца суперкавітаційного об'єкту / Осадчий С.І., Віхрова Л.Г. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 128 – 134.

У статті розглянуті особливості лінеаризації рівнянь повздовжнього руху суперкавітаційного об'єкту в умовах глісування його корми у вертикальній площині та обґрунтовано новий алгоритм структурної ідентифікації, який дозволяє замінити нелінійний зв'язок із запізненням векторною динамічною ланкою, на виході якої діє стохастичне збурення. Іл.: 1. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: лінеаризація, структурна ідентифікація, вихід, збурення.

UDC 681.513

Structural identification in the task of supercavitation object transom's longitudinal aquaplaning dynamics model linearization / Osadchij S.I., Vikhrova L.G. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 128 – 134.

The features of a supercavitation object's longitudinal motion equations linearization in the conditions of it's stern vertical inplane equaplaning are considered and new structural identification algorithm is grounded in the issue. This results make possible to replace nonlinear connection with the delay by an equivalent dynamics element with an output stochastic noise. Figs.: 1. Refs.: 12 titles.

Keywords: linearization, structural identification, output, indignation.

Поступила в редакцію 15. 07. 2011

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розглянута система моніторингу якості електроенергії. Проаналізований сучасний етап розвитку систем енергозабезпечення і вказані проблеми і виклики. Обґрунтована необхідність моніторингу систем енергозабезпечення. Запропонована структура системи моніторингу якості електроенергії, а також алгоритми аналізу сигналів на основі вейвлет-перетворення і класифікації спотворень на основі методу опорних векторів. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: якість електроенергії, моніторинг, вейвлет-перетворення, класифікація, метод опорних векторів.

Постановка проблеми і аналіз літератури. У розвитку сучасних систем енергозабезпечення спостерігаються такі тенденції [1].

Зростає частка споживачів електроенергії, у яких широко застосовуються потужні напівпровідникові пристрої (тиристори, біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), польові транзистори тощо), що працюють у ключовому режимі. Ключовий режим роботи спричинює значне відхилення струмів і напруг споживача від синусоїдної форми і споживач стає нелінійним пристроєм. Нелінійні пристрої підключені до спільної шини живлення і тому спотворення, що виникають у цих пристроях, поширюються по всій мережі.

У той же час зростає частка споживачів електроенергії (високоточні комп'ютерні та інформаційні системи, технологічні лінії і установки тощо), які дуже чутливі до спотворень. Спотворення форми напруги живлення, поширюючись по електромережі, негативно діє на таких споживачів, спричинюючи неправильний режим роботи, збої, перегрівання і навіть вихід з ладу.

Ще однією тенденцією є широке запровадження у системах енергопостачання альтернативних джерел енергії (вітрові, сонячні електростанції, енергоустановки на термальних водах тощо), потужність яких набагато менша традиційних електростанцій. Генерація електричної енергії тепер розподілена по великій території і здійснюється великою кількістю електростанцій. Задача забезпечення потрібної якості електроенергії значно ускладнюється.

Якість електроенергії (Power Quality) – це багатогранне поняття, що характеризує складні процеси в системах енергозабезпечення і описується системою показників (Indices). Показники якості мають відображати стан електричної мережі як в усталеному (стаціонарному), так і у неусталеному (нестационарному) режимах і тому поділяються на кілька класів.

Збурення. Збурення – короткотермінові відхилення від форми кривої напруги (струму) в усталеному режимі. Відхилення, у свою чергу, поділяються на високочастотні: неперіодичні разові імпульси (impulsive), періодичні короткотермінові провали напруги (notching), короткотермінові відхилення коливального характеру (oscilatory) і низькочастотні: просідання напруги (sag, dip), перенапруга (swell), пропадання (провал) напруги (interrupt). Основними параметрами збурень є амплітуда відхилення і його тривалість.

Спотворення. Спотворення – це відхилення форми кривої напруги (струму) від ідеальної синусоїдної форми в усталеному (стаціонарному) режимі роботи енергосистеми. Спотворення обумовлені наявністю гармонік та інтергармонік і характеризуються коефіцієнтом гармонічних спотворень (THD-Total Harmonic Distortion), який визначається відношенням суми середніх квадратичних значень всіх гармонік до середнього квадратичного значення основної (fundamental) гармоніки і вираженого здебільшого у відсотках.

Несиметрія напруг. Під несиметрією напруг розуміють неідентичність амплітуд напруг трифазної мережі, а також відхилення кута між векторами фазних і лінійних напруг від значення 120° . Несиметрія проявляється у наявності оберненої і нульової послідовності напруг і характеризується коефіцієнтом несиметрії.

Флюктуації і флікер. Флюктуації описуються як непередбачувані, хаотичні зміни амплітуди напруги (струму), що спричиняють мерехтіння (flicker) світла в освітлювальних установках.

Проблема якості електроенергії знайшла відображення у міжнародних [2 – 5] і вітчизняних стандартах [6], у яких законодавчо закріплена система показників якості електроенергії, а також допустимі і граничні значення цих показників.

Мета статті. Розробка автоматизованої системи моніторингу якості електроенергії енергетичної системи, розподіленої по великій території.

Структура системи моніторингу. Система моніторингу якості електроенергії складається з таких підсистем: підсистема збору первинної інформації; підсистема аналізу сигналів і виокремлення особливостей; підсистема класифікації [7 – 9].

Підсистема збору первинної інформації містить набір датчиків (сенсорів) фазних і лінійних напруг і струмів. Вихідні сигнали датчиків перетворюються у цифрову форму і передаються каналами зв'язку на підсистему обробки інформації.

Частотний діапазон спотворень у енергосистемі досить широкий, тому частота дискретизації сигналів вибирається високою. Це призводить

до великих обсягів інформації, яка поступає на підсистему обробки. З цього потоку інформації доцільно вибирати лише ті сегменти сигналів, що містять інформацію про спотворення. Вибір таких інформативних сегментів, тобто *сегментація* сигналів здійснюється порівнянням середнього квадратичного значення сигналу з пороговим значенням. Якщо обчислене середнє квадратичне значення сигналу перевищує порогове, то такий сегмент сигналу поступає на подальшу обробку.

Вейвлет-аналіз сигналів. Для аналізу сигналів енергетичних систем традиційно використовували перетворення Фур'є, зокрема ефективний алгоритм обчислення коефіцієнтів – швидке перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є дає змогу визначити спектральні компоненти сигналу і обчислити, зокрема, коефіцієнт гармонічних спотворень. Однак, перетворення Фур'є можна застосовувати лише для стаціонарних сигналів, у той час як сигнали енергетичних систем здебільшого нестаціонарні. Щоб зняти це обмеження було запропоновано і широко застосовувалося короткотермінове перетворення Фур'є, тобто перетворення Фур'є сигналу, зваженого нормованою ваговою функцією скінченної тривалості (вікном). Короткотермінове перетворення Фур'є крім роздільної здатності по частоті, має ще й роздільну здатність по часові, тобто здатне відображати зміну спектрального складу нестаціонарного сигналу з плином часу. Недолік короткотермінового перетворення Фур'є – фіксована роздільна здатність по частоті на всіх частотах аналізу.

У 80-ті роки минулого століття було запропоновано новий метод аналізу сигналів – вейвлет-аналіз (Wavelet Analysis) [10]. З того часу почався бурхливий розвиток цього методу і широке застосування у різноманітних областях науки і техніки. Вейвлет-перетворення сигналу $x(t)$ – це інтегральне перетворення виду

$$W_{s,\tau}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\Psi_{s,\tau}(t)dt. \quad (1)$$

де $\Psi_{s,\tau}(t) = \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ – вейвлет-функція, що характеризується двома

параметрами s та τ ; $\Psi(t)$ – так звана материнська функція.

Для аналізу сигналів у різних областях науки і техніки було запропоновано кілька видів материнських функцій – Морлі (Morlet), Мейера (Meyer), Добеші (Daubechi) тощо. Вибір тієї чи іншої материнської функції диктується специфічними вимогами, які ставляться до аналізу сигналів у конкретній області.

Параметр s (scale) визначає масштаб материнської функції по часові, тобто змінюючи цей параметр можна розтягувати, або стискати материнську функцію. Розтягування чи стискання материнської функції по часові еквівалентно зміщенню частоти аналізу у частотній області: розтягування зміщує частоту аналізу в область низьких частот, а стискування – в область високих частот. Таким чином, параметр s забезпечує роздільну здатність вейвлет-аналізу по частоті.

Параметр τ забезпечує зсув материнської функції по часові і локалізації на певній ділянці сигналу, тобто забезпечує роздільну здатність вейвлет-аналізу по часові.

Таким чином у вейвлет-аналізі досягнуто оптимальне співвідношення між роздільними здатностями по частоті і по часу.

У середовищі MathLab було змодельовано обробку сигналів енергетичних систем з різними видами спотворень, було застосовано різні види материнських функцій і проведений порівняльний аналіз результатів моделювання.

Класифікація спотворень. Отримана в результаті аналізу сукупність параметрів, унікальна для кожного типу спотворень, передається у підсистему класифікації.

Для класифікації спотворень широко застосовуються такі методи штучного інтелекту як нейронні мережі, нечітка логіка, адаптивна нейро-нечітка мережа, метод опорних векторів (Support Vector Machine) [11,12]. Шляхом порівняльного аналізу був вибраний метод опорних векторів.

Метод опорних векторів полягає у тому, що інформаційні об'єкти гіперплощиною поділяються на два класи. Гіперплощина проводиться таким чином, щоб максимізувати роздільну смугу між об'єктами двох класів. У системі MathLab було створено моделі сигналів енергетичних систем зі спотвореннями п'яти різних класів. Ці сигнали подавалися на класифікатор для тренування і тестування. Проведено також дослідження спотворених сигналів з різними функціями класифікатора — лінійною, квадратичною, поліноміальною, радіальною функцією Гауса. Досягнута точність класифікації для всіх досліджуваних функцій не була нижчою 85%, причому поліноміальна функція показала дещо кращі результати (96%) у порівнянні з іншими функціями.

Висновки. Запропонована система моніторингу якості електроенергії, а також алгоритми аналізу сигналів і класифікації спотворень дають змогу оцінити стан системи енергопостачання і прийняти адекватні управлінські рішення.

Список літератури: 1. *Nath S.* Detection of Power Quality Disturbances using Wavelet Transform / *S. Nath, A. Dey, A. Chakrabarti.* – World Academy of Science, Engineering and

Technology. – 2009. – Vol. 49. – P. 869–873 **2.** IEEE 1159-1995 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality **3.** IEEE 1459-2010 IEEE Standards Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balance or unbalanced conditions **4.** IEC 61000-4-30 Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurement Methods **5.** IEC 61000-4-7 General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto **6.** ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения” **7.** Dwivedi U.D. Power quality monitoring and analysis: an overview and key issues, International Journal of Systems Signal Control and Engineering Application // U.D. Dwivedi, Deepti Shakya, S.N. Singh. – 2008. – Vol. 1. – № 1. – P. 74–88 **8.** Matz V. Automated Power Quality Monitoring System for On-line Detection and Classification of Disturbances / V. Matz, T. Radil, P. Ramos, A. Cruz Serra // Instrumentation and Measurement Technology Conference. – IMTC 2007. – P. 286–295 **9.** He H. A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform / H. He, J.A. Starzyk // IEEE Trans. Power Delivery. – 2006. – Vol. 21. – №. 1. – P. 286–295. **10.** Santoso S. Power quality assessment via wavelet transform analysis / S. Santoso, E.J. Powers, W.M. Grady, P. Hofmann // IEEE Trans. Power Delivery. – 1996. – Vol. 11. – №. 2. – P. 924–930. **11.** Bollen M.H.J. Classification of underlying causes of power quality disturbances: deterministic versus statistical methods / M.H.J. Bollen, I.Y.H. Gu, P.G.V. Axelberg, E. Styvaktakis // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2007. – P. 1–17 **12.** Axelberg P.G.V. Support vector machine for classification of voltage disturbances / P.G.V. Axelberg, I.Y.H. Gu, M.H.J. Bollen // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2007. – Vol. 22. – №.3. – P. 1297–1303

Стаття представлена д.т.н. проф. НТУУ "КПІ" Сильвестровим А.М.

УДК 621.317

Система мониторинга качества электроэнергии / Поворознюк Н.И., Билюба Д.П. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 135 – 139.

Рассмотрена система мониторинга качества электроэнергии. Проанализирован современный этап развития систем энергообеспечения и указаны проблемы і вызовы. Обоснована необходимость мониторинга систем энергообеспечения. Предложена структура системы мониторинга качества электроэнергии, а также алгоритмы анализа сигналов на основе вейвлет-преобразования і классификации искажений на основе метода опорных векторов. Бібліогр.: 12 назв.

Ключевые слова: качество электроэнергии, мониторинг, вейвлет-преобразование, классификация, метод опорных векторов.

UDC 621.317

Monitoring quality power system / Povorozniuk N.I., Biluba D.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 135 – 139.

A monitoring quality power system quality is considered. The contemporary stage of development of energy systems and indicated the problems and challenges are analysed. The necessity of monitoring power system is grounded. The structure of the system for monitoring power quality and signal analysis algorithms based on wavelet transform and classification distortion based on support vector method are proposed. Refs.: 12 titles.

Keywords: power quality, monitoring, wavelet transform, classification, support vector method.

Надійшла до редакції 30.06.2011

Н.О. РИЗУН, к.т.н., доц. ДУЭП им. А. Нобеля, г. Днепропетровск,
Ю.К. ТАРАНЕНКО, д.т.н., с.н.с. ДУЭП им. А. Нобеля,
г. Днепропетровск

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАОЧНО- ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Предложена концепция применения инновационного подхода к повышению эффективности организации заочно-дистанционного обучения путем совершенствования теории и методологии комплексного использования специализированных информационных технологий и новейших средств и техник обучения и компьютерного тестового контроля. Ил.: 1. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: инновационный подход, заочно-дистанционное обучение, информационные технологии, техника обучения, тестовый контроль.

Постановка проблемы. Одной из главных задач заочного обучения на современном этапе должно быть гарантированное обеспечение равного по сравнению с остальными формами обучения качества предоставляемых знаний при наличии комплекса современных методологий и эффективных педагогических и информационных технологий, ориентированных на создание оптимальной системы управления учебным процессом путем организации системы адекватной и гибкой системы обратной связи, обеспечивающей каждому индивиду собственную траекторию обучения.

Одним из путей совершенствования системы заочного образования является интеграция в него системы дистанционного обучения – актуального и перспективного средства повышения эффективности учебного процесса, прежде всего за счет: с одной стороны – обеспечения системы управляемого мониторинга процесса обучения и создания условий, стимулирующих самостоятельную работу студента; с другой – снижения аудиторной нагрузки преподавателя и смещения акцента его усилий на развитие учебно-методического обеспечения курса.

Таким образом, приоритетным направлением повышения эффективности организации заочно-дистанционного обучения в ВУЗе является совершенствование теории и методологии комплексного использования специализированных информационных технологий и новейших инновационных средств и техник обучения и идентификации качества знаний.

Анализ литературы. Анализ последних публикаций

свидетельствует о том, что концепция развития дистанционного обучения как системы образования, призванной максимально соответствовать требованиям современной образовательной парадигмы: "Образование – решающий фактор развития экономики и общества в целом", является частью государственной политики Украины [1, 2].

Известно, что ключевыми элементами заочно-дистанционного обучения, представляющего собой интегрированную комплексную систему технологий и методологий организации учебного процесса, а также эффективный инструмент формирования массовой личностно-ориентированной и непрерывной системы образования, должны быть [3 – 9]:

1. Интегрированные средства и способы взаимодействия преподавателя и обучающегося – синхронные (одновременное участие преподавателей и студентов (виртуальная или реальная группа) в процессе обучения в реальном времени) и асинхронные (доставка знаний обеспечивается за счет Internet, CD-ROM, аудио- и видеокассет, электронной доски; асинхронные способы взаимодействия предоставляют студентам возможность учиться по индивидуальному расписанию в удобное для них время).

2. Стройная система перераспределения учебных часов – минимальное количество аудиторных часов (читаются только обзорные и проблемные лекции), максимальное самостоятельное усвоение учебного материала с использованием специально разработанного учебного контента.

3. Научно обоснованная методология максимальной индивидуализации учебного процесса – возможность автоматизированной или интерактивной корректировки и настраивания индивидуального учебного контента, предназначенного как для самостоятельной, так и аудиторной работы.

4. Эффективно реализованная технология оперативного доступа и актуальности учебного контента – обеспечение экономичного и быстрого доступа к базам данных и знаний, размещенным в сети Интернет и режима доставки учебных материалов в электронном виде.

5. Качественный интегрированный комплекс методов контроля знаний – дистанционный тестовый (оперативный и отсроченный) контроль динамики уровня знаний с использования технологий тестового контроля и анализа уровня знаний и доступности (понятности) учебного материала, а также итоговая аттестация обучающихся в основном традиционными способами.

На основе анализа приведенных источников авторами сформулированы основные уровни формализации инновационных концепций повышения эффективности учебного процесса заочно-дистанционной формы обучения:

Уровень 1. *Составление сценариев возможных траекторий обучения*: определение содержания учебного контента и цели обучения, формулировка требований к уровню усвоения материала, обеспечение четкой структурированности материала (не только по темам, но и по уровням сложности, с учетом различной степени подготовки обучающихся) и преемственности различных структурных элементов.

Уровень 2. *Разработка технологического сценария*: разработка и реализация комплекса информационных технологий, используемых для реализации сценариев обучения (средства доставки информации, визуальное представление материала и приемы организации адаптивного доступа к информации разного уровня по результатам мониторинга и управления обратной связью).

Уровень 3. *Разработка методологий организации системы управляемого мониторинга уровня знаний*: выработка стратегии и технологии оценки и анализа уровня полученных знаний, качества освоенных умений и приобретенных навыков в реальном масштабе времени.

Уровень 4. *Формирование комплекса методов и технологий управления обратной связью*: обоснование комплекса критериев анализа результатов мониторинга уровня знаний студентов и управляющих стратегий настройки индивидуальных траекторий обучения студентов, а также корректировки учебного контента (УК).

Целью статьи является разработка концепции применения инновационного подхода к повышению эффективности организации заочно-дистанционного обучения путем совершенствования теории и методологии комплексного использования специализированных информационных технологий и новейших средств и техник обучения и идентификации качества знаний.

Результаты исследований. Исследования проводились на базе института заочно-дистанционного обучения Днепропетровского университета экономики и права им. А. Нобеля, особенностью организации учебного процесса которого является внедрение синхронного еженедельного режима проведения аудиторных учебных занятий (2 раза в неделю на протяжении всего учебного года).

Согласно концепции разработанной иерархии уровней

формализации теоретико-методологических принципов повышения эффективности учебного процесса заочно-дистанционной формы обучения авторами предлагаются следующие инновационные решения:

1. На уровне составления сценариев возможных *траекторий обучения*:

а. Каждый учебный курс имеет многоуровневую структуру, в которой: иерархическая структура курса (рубрикация) задана уровнями: раздел курса, глава, модуль, занятие, параграф (тема); учебная информация задана уровнями: набор учебных единиц (выдается учащемуся за один раз), учебная единица (страница, кадр); уровень конкретной информации (абзаца текста, изображения и т.д.): элемент учебной единицы.

б. Учебный контент формируется согласно алгоритму повышения системно-структурного качества в следующих скоррелированных формах: сокращенный текстовый конспект лекций для самостоятельного предварительного овладения перед сеансом обучения, содержащий основные понятия, определения, закономерности, практические примеры и алгоритмы ситуационного использования знаний; слайд-конспект лекционного учебного материала для демонстрации и обсуждения непосредственно во время сеанса обучения; лабораторные задания для самостоятельного или группового выполнения; тестовый материал для оценки степени овладения учебным материалом.

2. На уровне разработки *технологического сценария*:

а. Предусмотрена максимально эффективная интеграция в учебную информационную среду большинства ВУЗов Украины: в качестве инструментальной базы для создания унифицированных современных систем управления учебным процессом целесообразно использовать средства MS Office (с использованием возможностей программирования в VBA).

б. В целях устранения ограничений относительно технических требований к компьютерам, которыми оснащено большинство ВУЗов, репозитарий учебного контента размещен на мощном (возможно отдаленном) сервере в Internet-сети.

с. С целью обеспечения максимальной экономичности и эффективности использования сетевых ресурсов используются режимы: кратковременной передачи УК с сервера, рассылки по почте средствами беспроводной связи или внутреннего сетевого обеспечения; мобильного (дистанционного) режима работы системы.

д. С целью достижения максимального уровня защищенности и конфиденциальности: используются методы шифрования и дешифрования учебного контента; реализованы технологии

автоматического удаления тестовой оболочки и базы тестовых заданий с компьютеров обучающихся; гарантирована процедура независимой идентификации результатов тестирования на удаленном сервере.

3. На уровне разработки методологий организации системы управляемого *мониторинга уровня знаний*:

а. Система предусматривает многовариантное использование: по формам тестовых заданий – одиночный и множественный выбор, на последовательность и соответствие, открытая форма; по формам проведения тестирования – групповая настройка, индивидуальная настройка; по цели тестирования – текущий контроль, итоговый контроль, государственный экзамен, обучение, самообучение.

б. В системе реализованы: методологии экспресс- и расширенного анализа качества тестовых заданий с учетом показателей динамики изменения знаний обучающихся, а также скорости их ответов [10, 11]; адаптивные методологии оптимизации времени проведения тестового сеанса [12] и идентификации результатов тестирования с учетом динамического коэффициента [13].

4. На уровне формирования комплекса методов и технологий *управления обратной связью*:

а. Проведение непосредственно учебного занятия предусматривает обязательное самостоятельное освоение УК первой формы по определенному преподавателем набору учебных единиц контента.

б. Предварительное тестирование, выполняемое перед проведением аудиторного учебного занятия, имеет целью определить уровень самостоятельного усвоения материала и, по его результатам, скорректировать состав и структуру УК, который будет рассматриваться непосредственно на текущем занятии.

с. Повторное тестирование после проведения аудиторного занятия призвано обеспечить систему актуальной и объективной информацией об индивидуальном и групповом уровне усвоения учебного материала, а также степени понятности и доступности его представления в учебном контенте и непосредственно преподавателем, которая используется для корректировки учебного расписания, а также совокупности элементов УК всех трех форм учебного материала, которые готовятся к доставке при подготовке следующего учебного занятия.

Обобщенная схема функционирования системы организации и управления заочно-дистанционным обучением представлена на рис.



Рис. Обобщенная схема функционирования системы организации и управления заочно-дистанционным обучением

Согласно приведенной схеме реализация концепции применения инновационного подхода к повышению эффективности организации заочно-дистанционного обучения предполагает выполнение следующих основных итерационных этапов (рис.):

1. В соответствии с составленным расписанием аудиторных занятий преподаватель с установленным им опережением относительно даты ближайшего занятия в системе асинхронного управления процессом обучения (АУПО): выполняет настройку требований запроса к репозиторию УК, расположенному на удаленном сервере, для формирования набора учебных единиц, необходимых для проведения данного занятия/занятий; настраивает кратковременную связь через радио модем с Internet-сетью для передачи данной информации обучающимся конкретной учебной группы.

2. До начала аудиторного занятия обучающийся должен: ознакомиться с полученным УК первой формы; пройти предварительное тестирование с использованием УК четвертой формы; путем настраивания кратковременной связи через радио модем с Internet-сетью передать результаты тестирования в АУПО.

3. Согласно установленным граничным значениям степени усвоения предварительно полученного учебного контента на основании адаптивной методики индивидуализации учебного процесса АУПО формирует состав и структуру УК второй формы, передаваемого на терминалы преподавателя и пользователя непосредственного во время аудиторного занятия. Сформированный набор учебных единиц может иметь: общий состав и структуру для всех обучающихся академической группы, если учебное занятие предусматривает групповое объяснение и обсуждение вопросов; индивидуальный состав и структуру с учетом персональных сведений об индивидуальной траектории обучения студента и уровне его знаний, если учебное занятие предполагает самостоятельное рассмотрение недостаточно освоенных элементов УК под консультативным руководством преподавателя.

4. В конце аудиторного занятия или в любое другое удобное для себя время (с использованием переданного набора учебных единиц третьей формы) обучающийся проходит контрольное тестирование, в результате чего формируются:

- значения индивидуальных показателей успеваемости обучающегося: контрольного уровня усвоения обучающимся определенной преподавателем совокупности элементов УК в формате оценки; значения относительного текущего и накопленного рейтинга студентов группы; среднего балла по группе, среднего балла по каждому набору учебных единиц;

- значения показателей качества учебного контента: индивидуальные и групповые аналитические оценки уровня доступности представленной с опережением и непосредственно во время учебного занятия и понятности для обучающегося совокупности элементов УК; динамические показатели надежности и валидности тестового материала.

- информация об индивидуальных траекториях обучения: показатели динамики среднего и индивидуального баллов по всем пройденным элементам УК; количества освоенных УК; среднего времени освоения; средней скорости ответов на задания различной сложности; уровня устойчивости знаний и вероятности угадывания.

5. По результатам анализа показателей качества учебного контента, а также индивидуальных и групповых показателей успеваемости обучающихся выполняется адаптация расписания занятий и экзаменационной сессии, а также репозитария учебного контента: содержания и структуры уже освоенных обучающимися учебных элементов и тестовых заданий; состава и структуры элементов, установленных учебной программой для дальнейшего рассмотрения.

Выводы. Таким образом, предложенная авторами статьи концепция применения инновационного подхода к повышению эффективности организации заочно-дистанционного обучения с учетом специфики его организации в Днепропетровском университете экономики и права им. А. Нобеля позволяет:

1. Адаптировать и максимально интегрировать основные преимущества двух форм обучения – заочной и дистанционной с целью формирования конкурентоспособной, эффективной, динамичной, массовой личностно-ориентированной и непрерывной системы образования.

2. Оптимизировать процесс усвоения учебного материала благодаря разработке адаптивной методики индивидуализации учебного процесса путем корректировки состава и структуры учебного материала в зависимости от установленного уровня усвоения предварительно полученного УК.

3. Повысить уровень производительности и качества учебного процесса путем: комплексной организации процесса поэтапного мониторинга и непрерывной обратной связи учебной системы с преподавателем и обучающимися; обеспечения актуальной и объективной информацией об индивидуальном и групповом уровне понятности и доступности представления, а также усвоения лекционного учебного материала; реализации технологии постоянной адаптации, корректировки и актуализации учебного контента с учетом специфики учебного плана, уровня знаний текущей учебной аудитории в реальном масштабе времени, расписания учебных занятий и современных требований к учебному процессу.

4. Гарантировать приближенно равного по сравнению с остальными формами обучения качества предоставляемых знаний путем разработки комплекса организации и управления коллективной и индивидуальной учебной деятельностью студентов на основе использования современных информационных технологий, эффективных методик обучения и системы адекватной обратной связи.

Список литературы: 1. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні, затверджена Міністром освіти України від 20.12.2000 р. 2. Программа развития системы дистанционного обучения на 2004–2006 годы. – Утверждена приказом МОНУ № 802 от 04.12.2003 [Электронный ресурс] / Режим доступа: \www/ URL: <http://www.ntu-kpi.kiev.ua>. 3. *Іванов С.* Система дистанційної освіти в Україні: сучасні напрями розвитку / *С. Іванов, П. Борсук, С. Дичковський* // Гуманітарні науки. – 2002. – № 2. – С. 12–19. 4. *Пантелеєва Т.В.* Система дистанционного обучения как элемент информационной системы ВУЗа / *Т.В. Пантелеєва, А.В. Затонский* // Журнал "Фундаментальные исследования". – 2007. – № 12 (42). – С. 231–234. 5. *Монахов В.М.* Проектирование современной модели дистанционного образования / *В.М. Монахов* // Педагогика. – 2004. – № 6. – С. 11–21. 6. *Демидов Д.Г.* Разработка модулей автоматизации процессов обучения с использованием интернет / *Д.Г. Демидов* // Вестник

МГУП. – 2008. – № 6. – С. 50 – 51. 7. Методологические и педагогические основы человеческого измерения информационных технологий дистанционного обучения в высшей школе: диссертация ... доктора педагогических наук: 13.00.06 / Свинторжицкая Ирина Андреевна – Ростов-на-Дону. – 2001. – 313 с. 8. *Иванов В.А.* Дистанционное обучение – наиболее перспективная форма заочного образования / *В.А. Иванов, И.Б. Удалова* // Самостоятельная работа студентов в условиях современной информационной среды: Тезисы докладов Всероссийской научно-методической конференции. – Н. Новгород, 1998. – С. 8–10. 9. *Полат С.* Методология определения эффективности дистанционной формы обучения [Электронный ресурс] / Режим доступа: \www/ URL: <http://www.itecp.ru/sitedo/library/libraryonline/uplearn/index.php>. 10. *Ризун Н.О.* Эвристический алгоритм совершенствования технологии оценки качества тестовых заданий. – "Східно-Європейський журнал передових технологій". – 2010. – № 3/11 (45). – С. 40–49. 11. *Ризун Н.О.* Концепция построения экспертной системы поддержки принятия решений по управлению учебным процессом в ВУЗе / *Н.О. Ризун* // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 17. – С. 135–142. 12. *Тараненко Ю.К., Ризун Н.О.* Спосіб проведення комп'ютерного тестування знань студентів: патент на корисну модель 58657 Україна: МПК G06F 7/00. Замовник та патентовласник: Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. – № u 2010 09376, заявл. 26.07.2010, опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8. – 2011. – 14 с. 13. *Тараненко Ю.К., Ризун Н.О.* Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні: патент на корисну модель № 51559 Україна: МПК G06F 7/00. Замовник та патентовласник: Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. – № u 200913726, заявл. 28.12.2009, опубл. 26.07.2010. – 2010. – Бюл. № 14. – 15 с.

УДК 681.3:378.146

Теоретико-методологічні основи ефективної організації заочно-дистанційного навчання у ВНЗ / Ризун Н.О., Тараненко Ю.К. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 140 – 148.

Запропоновано концепцію використання інноваційного підходу до підвищення ефективності організації заочно-дистанційного навчання шляхом вдосконалення теорії та методології комплексного використання спеціалізованих інформаційних технологій і новітніх засобів і технік навчання і комп'ютерного тестового контролю. Л.: 1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: інноваційний підхід, заочно-дистанційне навчання, інформаційні технології, техніка навчання, тестовий контроль.

UDC 681.3:378.146

Theoretical and methodological foundations of the effective organization of the correspondence-distance learning in high school / Rizun N.O., Taranenko Y.K. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 140 – 148.

The concept of use of the innovative approach to improving the effectiveness of part-time and distance learning organization by means of improving of the theory and the methodology of integrated use of specialized information technologies and modern tools and techniques of learning and computer test control. Figs.:1. Refs.: 13 titles..

Keywords: innovative approach, correspondence-distance learning, information technology, techniques of learning, test control.

Поступила в редколлегию 17.07.2011

А.Ю. РОМАНОВ, аспирант каф. КЭВА НТУУ "КПИ", г. Киев

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИЙ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Рассмотрены классические топологии построения СтНк и их основные достоинства и недостатки. Предложен и реализован программно алгоритм поиска оптимальных топологий в соответствии с ограничениями по диаметру и максимальной степени вершин с оптимизацией по количеству соединений и среднему расстоянию. Синтезированы оптимальные топологии для количества вершин от 6 до 10. Ил.: 3. Табл.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: сеть на кристалле, оптимальная топология.

Постановка проблемы. Благодаря стремительному развитию электроники, сети на кристалле (СтНк) получили широкое распространение [1]. СтНк – это множество вычислительных модулей, объединенных общей подсистемой связи, состоящей из роутеров и соединений между ними. Подсистема связи СтНк занимает значительные ресурсы кристалла и является энергоемкой, что обуславливает необходимость поиска оптимальных решений при ее построении [1 – 3]. Важной характеристикой СтНк является ее топология, определяющая структуру роутеров, алгоритм маршрутизации, и затраты ресурсов.

Анализ литературы. В общем случае топология СтНк представляет собой неориентированный связный граф, состоящий из вершин – роутеров и ребер – физических линий связи между ними. Основными характеристиками топологии являются: количество вершин-роутеров (N); количество ребер – физических соединений между роутерами (Ed); степень вершины – количество ребер, исходящих из нее (St); диаметр графа – максимум среди минимальных расстояний между любыми двумя вершинами (D); среднее расстояние среди наиболее коротких путей между всеми узлами графа (L_{av}). Чем ниже Ed , тем меньше ресурсные затраты, а чем меньше L_{av} и D , тем быстрее пакеты достигают цели [1, 3].

Наиболее распространенной является mesh топология, представляющая собой сеть из $N = m \times n$ (обычно $N = n \times n$) узлов, каждый из которых соединен с четырьмя соседними (рис. 1а). Крайние узлы имеют незадействованные порты. Характеристики сети: $D = 2 \times (\sqrt{N} - 1)$.

$Ed = 2 \times (N - \sqrt{N})$, а $St = 2 \div 4$ [3, 4]. Главным недостатком mesh топологии является слишком большой диаметр. Попыткой устранить его за счет больших ресурсных затрат является топология toqus, полученная путем соединения крайних узлов mesh с противоположными (рис. 1б). Здесь $D = 2 \times \lfloor \sqrt{N} / 2 \rfloor$, но $Ed = 2 \times N$, а $St = 4$ [3, 5]. Некоторой

модификацией является вложенный torus (рис. 1в), призванный уменьшить длину соединительных линий между крайними узлами [3, 6].

Альтернативой torus является плоский hypercube (рис. 1г) [3, 5]. $Ed = 2 \times N$, $St = 4$, а $D = \log_2 N$, но при этом N может быть не степенью натуральных чисел (4, 9, 16,...), как у torus и mesh, а кратной 4 (12, 16,...).

Еще одна перспективная топология spidergon представляет собой размещение узлов в виде кольца с дополнительными соединениями между противоположными узлами (рис. 1д) [3]. Характеристики топологии: $D = N/4$, $Ed = 1,5 \times N$, $St = 3$. Здесь Ed и St меньше, а значит и уменьшены ресурсные затраты, но D больше, в сравнении с torus.

Следует упомянуть и полносвязную архитектуру, где все узлы связаны непосредственно друг с другом. Минимальный диаметр $D = 1$, достигается за счет перерасхода ресурсов: $Ed = N \times (N-1)/2$, $St = N-1$ [1, 5].

Другие топологии, как WK-recursive, chordal ring, diametrical mesh, звезда, граф Бруи и т. п. распространены меньше [1 – 6].

Отдельный класс представляют собой многостадийные топологии, к ним относят: omega сети, перестановочные сети, сети Клоса и др. Наиболее известной среди них является топология butterfly fat tree (BFT), где роутеры одинаковой размерности (k) объединены в дерево, а вычислительные блоки подключены к роутерам нижнего уровня (рис. 1е). Для N вычислителей необходимо $L = \log_k N$ уровней, и $N/2^{i+1}$ роутеров на каждом i -м уровне. Данная топология характеризуется

малым диаметром $D = 2 \times L$, но при этом $Ed = k \times \sum_{i=1}^L (N/2^{i+1})$ [3, 6].

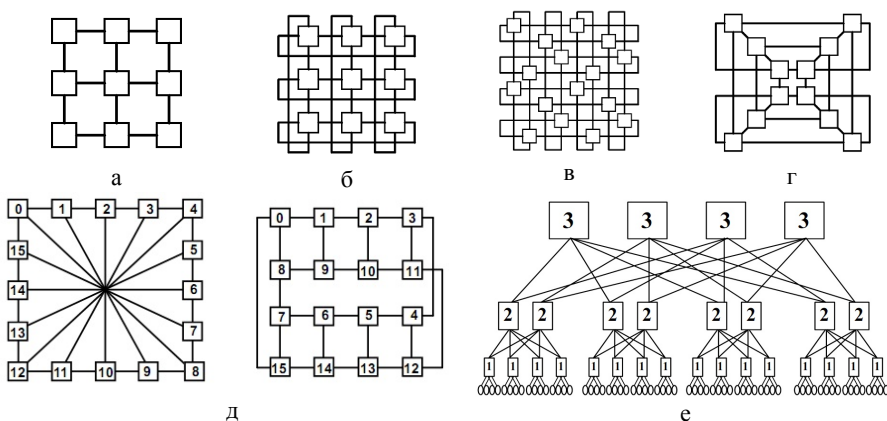


Рис. 1. Топологии СтНк

Исходя из анализа существующих реализаций, наибольшее распространение получили древовидные и тороидальные топологии благодаря простоте своей структуры и алгоритмов маршрутизации. Тем не менее, они не лишены и недостатков. Так в BFT существует только один путь между двумя узлами, а соединения имеют большую длину. Главный недостаток тороидальной топологии – в относительно большом диаметре. Кроме того, разработчики сталкиваются с разного рода ограничениями, связанными с особенностями самих топологий [1, 3 – 6]. Отсюда следует **цель статьи** – поиск новых оптимальных по ресурсозатратам и быстродействию топологий СтНк.

Оптимизация типичных топологий. Рассмотрим тороидальную сеть из 9 узлов (рис. 2а). Ее характеристики: $Ed:D:St_{max} - 18:2:4$. Не сложно увидеть, что если убрать 2 ребра (рис. 2б), то параметры не изменятся: 16:2:4. При дальнейшем анализе можно синтезировать еще более оптимальный граф (рис. 2в): 14:2:4. То есть, в результате несложных действий получена топология с на 22% меньшим расходом ресурсов на соединения, при котором D сети остался неизменным.

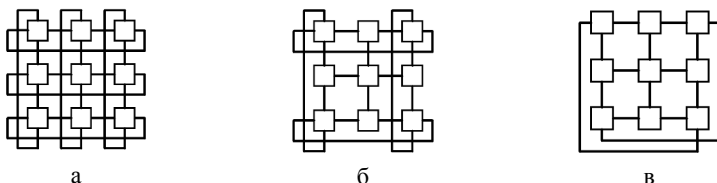


Рис. 2. Усовершенствование топологии torus 3x3

Диаметр является косвенной характеристикой пропускной способности сети. Для более точной оценки используется среднее

расстояние
$$L_{av} = \frac{1}{N \times (N-1)} \sum_{x,y=1}^{N,x \neq y} H_{x,y},$$
 где $H_{x,y}$ – минимальное

расстояние между двумя узлами [3]. L_{av} для всех трех анализируемых топологий составляет величину 1,6667. То есть, уменьшение количества соединений не повлекло потери производительности сети в целом. Более того, существует топология с параметрами 14:2:4 (рис. 3г), где $L_{av} = 1.6111$, что обеспечивает на 3% лучшую пропускную способность.

Таким образом, показано, что для любого количества вершин можно найти оптимальную топологию в соответствии с ограничениями по диаметру, количеству соединений, максимальной степени вершины и

т.д., которая будет иметь характеристики выше, чем у классических топологий. Единственным недостатком такой топологии будут более сложные алгоритмы маршрутизации, но эта проблема решается с помощью адаптивных алгоритмов и таблиц маршрутизации [7, 8].

Поиск оптимальной топологии сети с заданными параметрами.

Очевидно, что задача поиска оптимальной топологии сети является многопараметрической, и тривиального решения не имеет. Для представления топологического графа в цифровом виде нами предлагается описывать граф топологии в виде матрицы связей между инцидентными вершинами. Матрица связей имеет размер $n \times n$, и на пересечении столбца x и строки y размещается 1, если x и y вершины связаны, и 0, в противном случае. Матрица симметрична с 0-ми на главной диагонали. При таком представлении сумма всех единиц строки является степенью вершины с номером y . Поэтому реализация процедуры проверки максимальной степени вершины не представляет сложности.

Для вычисления $H_{x,y}$ предложена рекурсивная процедура поиска, накапливающая 1-цы в вектор-строке вершины x , соответствующие инцидентным вершинам до достижения ограничения по D , или появления 1-цы, на позиции, соответствующей вершине y . Возвращается длина минимального пути или 0, если достигнуто ограничение по диаметру. Данная процедура является основой для процедур поиска диаметра графа и среднего расстояния между вершинами.

Поиск оптимальной топологии сети с заданными параметрами предлагается выполнять методом перебора: формируется пробная топология и проверяется на соответствие ограничениям. Если достигается более оптимальное значение какого-либо параметра, данная топология запоминается и поиск продолжается до тех пор, пока не закончатся все возможные варианты. Общее количество вариантов равно:

$$Z = 2^{N-1} \times 2^{N-2} \times \dots \times 2^1 = \prod_{i=1}^{N-1} 2^i.$$

Таким образом, для $N = 9$ узлов количество альтернатив $Z = 68.719.476.736$ – сравнительно большое значение, требующее слишком много вычислительных ресурсов. Для 10 узлов цифра возрастет в 2^9 раз. Поэтому предусмотрены различные условия, позволяющие отбрасывать заведомо неоптимальные комбинации. Так, например, очевидно, что вектор строка не может содержать все "0", а значит такие

топологии можно не рассматривать. Это позволяет отбросить $\prod_{i=1}^{N-2} 2^i$

комбинаций. Можно отбрасывать те комбинации, где степень вершины или количество соединений превышает допустимое значение. Кроме того, можно задавать ограничения в диапазоне поиска. Так, возвращаясь к задаче с 9-ю узлами, на основании имеющейся torus-топологии (рис. 2а), можно сформулировать следующие ограничения: существует топология с $Ed = 18$ – верхнее ограничение, нижнее можно выбрать зная $Ed = 10$ для топологии с 8 вершинами; $St_{\max} = 4$, а $St_{\min} = 2$; $L_{av, \max} = 1,6667$.

Введение ограничений и механизма отбрасывания заведомо неоптимальных вариантов позволило получить оптимальные топологии для количества вершин от 6 до 10, с оптимизацией по количеству соединений, среднему расстоянию и ограничениями по диаметру и максимальной степени вершин. Расчет выполнялся на ПК Asus K40AB (AMD Athlon(tm) X2 QL-65, 2099 МГц, SDRAM 2Gb) (табл., рис. 3).

Таблица. Результаты поиска оптимальной топологии сети

N	6	7	8	9	10
D	2	2	2	2	2
St	2-4	2-4	2-4	3-4	3-4
Ed	7	9	11	14	17
L_{av}	1.53333	1.57143	1.60714	1.61111	1.62222
Время поиска, мкс	31	516	34437	303922	54796173
Кол-во циклов	180	1890	10080	90720	669802396
Матрица связей	011000 100100 100011 010011 001100 001100	0110000 1001000 1000111 0100111 0011000 0011000 0011000	01100000 10011000 10000111 01001100 01010011 00110000 00101000 00101000	011100000 101010000 110001100 100000011 010000011 001000110 001001001 000111000 000110100	0111000000 1010100000 1100011000 1000000111 0100000111 0010001100 0010010011 0001110000 0001101000 0001101000

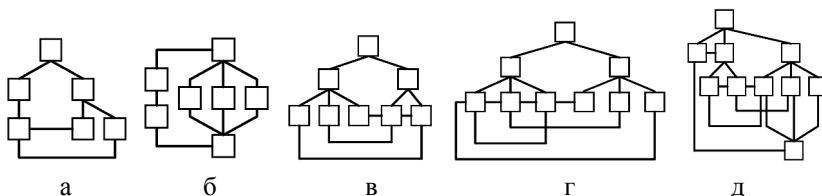


Рис. 3. Оптимальные топологии сетей с 6 – 10 вершинами

Параметр "количество циклов" фиксирует, сколько вариантов топологий прошли все ограничения и были отброшены только на последнем этапе отбора по среднему расстоянию. Данный параметр косвенно характеризует сложность задачи поиска и, как и процессорное время, стремительно возрастает с увеличением количества узлов.

Поиск оптимальной топологии для сети с 10 вершинами занял время, приблизительно эквивалентное 15 ч. 13 мин. Поиск топологий с большим количеством узлов на персональном компьютере невозможен. Перспективным представляется расчет таких задач на вычислительном кластере или с помощью СтНк, где ресурсоемкие процедуры реализованы в виде аппаратных ускорителей к процессорным узлам.

Выводы. Рассмотрены классические топологии построения СтНк и их основные недостатки. Показано, что существует возможность построения более оптимальных топологий, как по расходу ресурсов, так и по среднему расстоянию, необходимому для прохождения пакетов. Предложен и реализован программно алгоритм поиска оптимальных топологий в соответствии с ограничениями по диаметру и максимальной степени вершин и оптимизацией по количеству соединений и среднему расстоянию. Синтезированы оптимальные топологии для количества вершин от 6 до 10 и показано, что с увеличением количества вершин сложность вычислений для персонального компьютера становится чрезмерно большой. Перспективным направлением дальнейших исследований является расчет топологий для большего количества вершин с помощью вычислительного кластера и СтНк.

Список литературы: 1. Axel J. Networks on Chip / J. Axel, T. Hannu // Kluwer Academic Publishers. – Dordrecht, 2003. – 303 p. 2. Benini L. Network-on-chip architectures and design methods / L. Benini, D. Bertozzi // Computers and Digital Techniques. – IEEE Proc., 2005. – Vol. 152. – № 2. – P. 261–272. 3. Dally W. J. Principles and practices of interconnection networks / W. J. Dally, B. Towles. – Elsevier, 2004. – 550 p. 4. Suboh S. An interconnection architecture for network-on-chip systems / S. Suboh, M. Bachouya, J. Gabe, T. El-Ghazawi // Telecommunication Systems. – Springer, 2008. – Vol. 37. – P. 137–144. 5. Saldana M. The Routability of Multiprocessor Network Topologies in FPGAs / M. Saldana, L. Shannon, P. Chow. // SLIP'06. – NY: 2006. 6. Balfour J. Design Tradeoffs for Tiled CMP On-Chip Networks / J. Balfour, W. J. Dally. // ICS'06. – ACM press, 2006. 7. Bjerregaard T. A survey of research and practices of NoC / T. Bjerregaard, S. Mahadevan // ACM Computing Surveys. – 2006. – Vol. 38 (1). 8. Ладыженский Ю.В. Моделирование алгоритмов маршрутизации в сетях на кристалле / Ю.В. Ладыженский, В.А. Мурецкая // Наукові праці ДНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – Донецьк: ДНТУ, 2008. – С. 79–87.

Статья представлена д.т.н., проф. НТУУ "КПИ" Лысенко А.Н.

УДК 004.722

Оптимізація топологій мереж на кристалі / Романов О.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 149 – 155.

Розглянуто класичні топології побудови МНк і їх основні переваги і недоліки. Запропоновано та реалізовано програмно алгоритм пошуку оптимальних топологій відповідно до обмежень по діаметру і максимальному ступені вершин з оптимізацією за кількістю з'єднань і середньою відстанню. Синтезовано оптимальні топології для кількості вершин від 6 до 10. Іл.: 3. Табл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: мережа на кристалі, оптимальна топологія.

UDC 004.722

Optimization of topologies of networks on chip / Romanov O.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 149 – 155.

The main advantages and disadvantages of classical topologies of networks on chip (NoC) are considered. The algorithm for finding optimal topologies in accordance with the restrictions on the diameter and maximum degree of optimization on the number of connections and the average distance proposed and implemented in software. The optimized topologies for the NoCs with the number of nodes between 6 and 10 synthesized. Figs: 3. Tables: 1. Ref.: 8 titles.

Key words: network on chip, optimal topology.

Поступила в редакцію 15.07.2011

С.Г. СЕМЕНОВ, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
В.В. ДАВЫДОВ, аспирант НТУ "ХПИ", г. Харьков

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДАЕМОГО СТРУКТУРНО- ИНФОРМАЦИОННОГО ПОРТРЕТА

В статье разработана динамическая модель информационной системы, учитывающая апостериорные данные о ее структурных изменениях в условиях внешних воздействий. Предложен подход к оценке структурных особенностей информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: информационная система, структурно-информационный портрет, динамическая модель.

Постановка проблемы. Проведенный структурно-функциональный анализ информационных систем [1] дает возможность утверждать, что как объект управления такая система характеризуется наличием различного рода неопределенностей. К ним относятся неопределенности математических моделей, неконтролируемые изменения параметров внутренних подсистем, действие на систему случайных внешних факторов и др. Именно поэтому ряд авторов при решении задач управления в информационных системах предпочитают использовать средства моделирования нечетких данных и знаний, нечеткого логического выделения, методы теории адаптивных систем.

Из [2 – 6] известно, что одно из центральных мест в решении задач синтеза математических моделей занимает теория идентификации.

Анализ литературы [3 – 7] показал, что при решении задач идентификации объектов управления в информационных системах в настоящее время используется целый ряд подходов, наиболее результативные из которых базируются на использовании параметрических динамических моделей систем. Так в некоторых подсистемах управления с медленно меняющимися и неизменными параметрами (подсистемах управления, программного и математического обеспечения) [1] чаще всего используются безынерционные динамические модели (например, модель тренда или регрессионная модель), а в подсистемах с быстроизменяемыми параметрами (подсистемах информационного и технического обеспечения) – инерционные динамические, а так же окрестностные модели.

Проведенные исследования [3, 6] показали, что в случае использования безынерционных моделей их структура задается в виде

передаточных функций $F(A, t)$ (модель тренда) или $F(A, U, t)$ (регрессионная модель), известных с точностью до вектора параметров $A(t)$ и вектора входа $U(t)$, а так же множеств χ и ξ переменных возмущений (помех) $\chi(t) \in \chi \subset R^q$ и $\xi(t) \in \xi \subset R^n$ соответственно, где R^q , R^n – пространства структурных и функциональных параметров. Это в целом несколько упрощает процесс моделирования, но ограничивает круг решаемых задач до систем управления статическими или квазистатическими объектами.

Целью статьи является разработка динамической модели информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета.

Основная часть. В настоящее время при моделировании сложных технических систем разработчики все чаще обращаются к методам построения инерционных динамических моделей, которые позволяют решить задачи адаптивной идентификации. Это особенно важно в условиях априорной неопределенности, характерной для информационной системы. В таких моделях причинно-следственные связи в структурно-функциональном пространстве R исследуемого объекта на множестве апостериорных данных $I_{an} = \{Y(t), U(t), \chi(t), \xi(t), t \in R^t\}$ можно описать с помощью выражений

$$S(t) = F_1(S, A_1, U, \chi, \xi, t, \tau), \quad (1)$$

$$Y(t) = F(S, A, U, \chi, \xi, t), \quad (2)$$

а множество динамических процессов в объектах управления можно описать с помощью дифференциального уравнения с одним входом и выходом [3]

$$a_0 y^{(m)} + a_1 y^{(m-1)} + \dots + a_m y = b_0 u^{(k)} + b_1 u^{(k-1)} + \dots + b_k u + \xi + \chi, \quad (3)$$

где $S(t) \in R^s$ – вектор внутреннего состояния объекта управления; F_1 , F – внутренние нелинейные операторы, структура которых известна с точностью до векторов искомых параметров $A_1(t)$, $A(t)$, принадлежащих ограниченной, но априори неизвестной области $G_A \subseteq R^v$; $Y(t)$ – вектор выходных параметров системы; $\tau \in \mathfrak{T}$ – некоторый интервал времени (временная задержка).

В соответствии с выражением (3) можно получить операторное представление объекта через передаточную функцию и перейти к ее конечно-разностному представлению [3].

Пусть $t = n\Delta t$, где $n = 0, 1, \dots$; Δt – интервал мониторинга данных, а $\wp$ – оператор сдвига назад:

$$\wp y(n) = y(n-1).$$

Тогда

$$D_y(\wp)y(n) = D_u(\wp)u(n) + \xi(n) + \chi(n), \quad (4)$$

где $D_y(\wp) = a_0\wp^m + a_1\wp^{m-1} + \dots + a_m$, $D_u(\wp) = b_0\wp^k + b_1\wp^{k-1} + \dots + b_m$.

Если $\xi(n)$, $\chi(n)$ случайные последовательности, то выражение (4) представляет собой уравнение авторегрессии – скользящего среднего, а при $D_u(\wp) = 1$ – модель скользящего среднего. Тогда уравнение (4) с динамической спецификацией для $\xi(n)$, $\chi(n)$ можно представить в виде [3]:

$$Y(t) = F(A, Y(\tau_1), U(\tau_2), \xi(\tau_3), \chi(\tau_3), \tau_i \in [t_{\tau_i}, t], i = \overline{1,3}),$$

где $t_{\tau_i} > t$.

Исследования [2 – 5] показали, что в настоящее время в связи с использованием в системах управления средств вычислительной техники уравнения (3) – (4) целесообразно представлять в матричной форме. В этом случае для линейного стационарного объекта управления уравнение в пространстве состояний имеет вид:

$$\overline{X} = AX + BU + \xi + \chi, \quad (5)$$

$$Y = CX + DU + \zeta, \quad (6)$$

где $\overline{X}$ – измеряемый вектор состояния объекта; $A \in R^{m \times m}$ – матрица состояния; $X \in R^m$ – вектор состояния; $U \in R^k$ – вектор входа; $\xi \in R^m$, $\chi \in R^m$ – вектора помех; $B \in R^{m \times k}$; $C \in R^{n \times m}$; $D \in R^{n \times k}$; $\zeta \in R^n$ – ненаблюдаемый вектор ошибок измерения; $Y \in R^n$ – вектор выхода.

Если матрицы A , B , C , D параметризованы с точностью до некоторых векторов A_d , A_b , A_c , A_d , то выражение (5) представляет собой уравнение состояния, а выражение (6) – уравнение измерения (наблюдения). Аналогичные модели состояния могут быть получены для нестационарных, нелинейных и дискретных объектов. Если $\xi(n)$, $\chi(n)$ являются белым шумом, то уравнение (5) можно рассматривать как стохастическое дифференциальное уравнение в форме Ито [8].

Реализация моделей в пространстве состояний связана с необходимостью оценки ненаблюдаемых компонентов вектора $X(t)$ на множестве I_{an} . Однако, как показали исследования, в условиях априорной неопределенности данная задача не всегда выполнима с заданной

точностью. Решение указанной проблемы большинство современных авторов [2 – 4] связывают с разработками моделей с обобщенным входом. В этом случае уравнения (5), (6) приводятся к форме, позволяющей использовать информацию о входе и выходе объекта. Для объекта с одним входом $u(t)$ и выходом $y(t)$ модель с обобщенным входом записывается в виде:

$$\begin{aligned}\dot{y} &= A^T P, \\ \dot{P}_1 &= [\Lambda \dot{+} \Lambda] P_1 + [M_1^T \ y \ M_2^T \ u]^T, \end{aligned} \quad (7)$$

где $A \in R^{2m}$ – вектор параметров; $P = [y \ P_1^T \ u]^T$ – вектор обобщенного входа; $P_1(t) = P_1(t, u, y)$; $\Lambda \in R^{(m-1) \times (m-1)}$ – диагональная устойчивая матрица; $M_i \in R^{m-1}$ ($i=1, 2$) – вектор с постоянными параметрами, выбираемый так, чтобы пара (Λ, M_i) была наблюдаемой; $\dot{+}$ – знак прямой суммы матриц [3]. Следует заметить, что при моделировании отдельных подсистем информационной системы в качестве обобщенных входных параметров могут выступать коэффициенты, характеризующие структурное состояние подсистем, например коэффициент структурности $k = \frac{y(t)}{u(t)}$. В общем виде система уравнений (7) может содержать вектор обратной связи, зависящий от $P(t)$. В этом случае можно получить каноническое идентификационное представление в пространстве состояний.

Проведенный анализ инерционных динамических моделей (выражения (5) – (7)) объектов управления показал, что в настоящее время выбор их структуры является эвристическим процессом, и практически не поддается формализации. В то же время решение о структуре модели исследуемой системы должно приниматься, исходя из принципа информационной полноты анализируемых (используемых при моделировании) данных. Особенно это важно в условиях априорной неопределенности, характерной для функционирования информационных систем.

Исходя из этого, в разработанной модели информационной системы объем и наполняемость множества I , является ограничением, определяющим цель моделирования системы, эффективность ее функционирования и качество получаемого решения.

Используем приведенные выше предложения при моделировании информационной системы. Для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= F(X, U, A, t), \\ Y &= F_Y(X, U, A_1, t),\end{aligned}\tag{8}$$

где $U \in \Omega_U \subset \widehat{U} \subseteq R^m$ – входной вектор системы; Ω_U – множество входных векторов системы; $Y \in \widehat{Y} \subset R^n$ – выход системы; $X \in \widehat{X} \subseteq R^q$ – вектор состояния; $\widehat{U}, \widehat{Y}, \widehat{X}$ – множества входных и выходных сигналов, а так же состояний системы соответственно, $\widehat{Y} \subseteq \widehat{X} \subseteq R^n$, $A \in R^{q \times p}$; $A_1 \in R^{n \times q}$ – матрицы параметров; $F : R^q \times R^m \times J \rightarrow R^q$ – гладкая непрерывно дифференцируемая по $\widehat{X}$ и по A вектор-функция; $t \in J$; $F_Y : R^q \times R^m \times J \rightarrow R^n$ – функция, задающая способ формирования выходного вектора системы.

В состав множества I_{an} входят не сами векторы U и Y , а их наблюдаемые (измеряемые) аналоги (векторы $\widetilde{U}(t), \widetilde{Y}(t)$), которые получаются в результате мониторинга информационной системы и применения операторов f_U, f_Y в пространствах $\aleph, \Re$ входных и выходных векторов соответственно, а так же в временном пространстве J :

$$f_U : \aleph \times J \rightarrow R^m, f_Y : \Re \times J \rightarrow R^n.\tag{9}$$

Следует заметить, что указанные в (8) операторы отражают так же ошибки измерения.

Операторы $f_U \in N_U, f_Y \in N_Y$ определены на множествах N_U, N_Y , характеризующих неопределенность процесса измерения. В зависимости от доступности процесса наблюдения множества N_U и N_Y могут иметь как нечеткую (гиперобъемную – гиперкуб, гиперцилиндр) природу, так и статистическую [3, 4].

Обозначим через $\Xi(t'; t' \geq t_0; X(t_0); U(\cdot) \in \Omega_U)$ множество достижимости системы (8), то есть совокупность траекторий наблюдаемого структурно-информационного портрета, реализованных к моменту времени $t' \in J$ из начального состояния $X(t_0)$ под воздействием входного вектора $U(\cdot) \in \Omega_U$. Множеству Ξ в пространстве выходных векторов (наблюдаемости) $Y \subseteq R^n$ соответствует некоторое подмножество достижимости $\Xi_Y \subseteq \Xi$, структура которого в силу наложения множеств N_U, N_Y и включения $Y \subseteq X$ может значительно отличаться от Ξ :

$$\Xi_Y = F_Y(\Xi) \times N_Y \subseteq \Xi.$$

В ряде источников [2 – 6] под информационным множеством системы понимается множество

$$I_{\Xi} = \Xi(t'; t' \geq t_0; X(t_0); \bar{U}(\cdot) \in \Omega_U), \quad (10)$$

то есть совокупность всех траекторий структурно-информационного портрета системы (8) на множестве доступных для измерения входных векторов $\tilde{U}(\cdot) \in \Omega_U$.

Таким образом, $I_{\Xi} \subseteq \hat{X} \subset \mathfrak{Z}$, где $\mathfrak{Z}$ – пространство состояний системы.

Однако проведенный анализ показал неполноту заполнения информационного множества перечисленными в (10) априорными и экспериментальными данными, что может привести к неточностям структурной идентификации. В системах идентификации целесообразно использовать множество I_{an} . Используя операторы (9) получим множество наблюдений (наблюдаемое структурно-информационное множество)

$$I_{an} = I(\tilde{U}, \tilde{Y}) = (\tilde{U} \in R^m, \tilde{Y} \in R^n \mid \tilde{U}(t) = f_U(U, t), \quad (11)$$

$$\tilde{Y}(t) = f_Y(Y, t) \forall (t \in J)).$$

Следует заметить, что множества I_{an} и $I(U, Y) = (U \in R^m, Y \in R^n \mid U(t), Y(t) \forall (t \in J))$, имеют одинаковую мощность и определены в одном и том же пространстве $U \times Y$, но в силу наличия множеств неопределенности N_U, N_Y , которые преобразуют множество $I(U, Y)$ в I_{an} , имеют разную структуру

$$I_{an} = I(\tilde{U}, \tilde{Y}) = I(U, Y) \times N_U \times N_Y. \quad (12)$$

Представим множество (11) в виде

$$I_{an} = I(\tilde{U}, \tilde{Y}) = I(\tilde{U}) \cup I(\tilde{Y}), \quad \forall t \in J.$$

Определим бинарное отношение Z между множествами $\hat{U}$ и $\hat{Y}$ системы (8): $Z \subset \hat{U} \times \hat{Y}$. Назовем это множество портретом системы (8) в пространстве $\mathfrak{X} \times \mathfrak{Y}$. Множество Z является дополнением множества Ξ при проектировании его на $\hat{U} \times \hat{Y}$. Соответствующий фазовый портрет системы (8) представим в виде

$$Z_{\Phi} \subset \hat{X} \setminus \hat{U} \times \hat{Y} \quad \forall U(\cdot) \in \Omega_U. \quad (13)$$

Расширенным фазовым портретом системы будем называть отображение

$$Z_\Phi \subset \hat{X} \times \hat{U} \quad (\forall U(\cdot) \in \Omega_U) \& (\forall t \in J).$$

Аксиома. Для любого наблюдаемого структурно-информационного множества $I(\tilde{U}, \tilde{Y})$ (11) системы (8), определенного в пространстве $\aleph \times \aleph$, наблюдаемыми структурно-информационными портретами называются бинарные отношения:

$$Z_i = Z_i(I_{an}) \subset I(\tilde{U}) \times I(\tilde{Y}), \quad (14)$$

$$Z_i = Z_i(I_{an}) \subset I(\tilde{U}/\tilde{Y}) \times I(\tilde{Y}). \quad (15)$$

Из (14) следует, что $Z \subseteq Z_i$ и $dom(Z_\Phi) = rng(Z)$, то есть между ними существует структурное соответствие.

Следует заметить, что для некоторых технических систем в ряде руководящих документов уже заданы параметры, определяющие их структурность. Так, например, одна из подсистем информационной системы (информационного обеспечения) структурно характеризуются с

помощью показателя (коэффициента) пачечности $K_n = \frac{V_{max}}{V_{cp}}$. Поэтому

представляется целесообразным учет данного показателя при построении структурно-информационного портрета подсистемы информационного обеспечения и дальнейшем моделировании информационной системы.

Выводы. Таким образом, разработана инерционная динамическая модель информационной системы, отличающаяся от известных, учетом наблюдаемого структурно-информационного множества данных. Это позволит повысить точность структурной идентификации системы в условиях воздействия на нее различного рода помех.

Проведенное исследование позволило выявить ряд новых свойств системы, которые дополняют динамическое множество Ξ . В дальнейшем это позволит определить ряд новых характеристик информационной системы, полезных в процессе решения задачи структурной идентификации.

Список литературы: 1. Семенов С.Г. Структурно-функциональный анализ современных информационных систем с разработкой комплексного показателя эффективности их функционирования / С.Г. Семенов // 36. наукових праць. Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2011. – Вип. 2 (92). – С.1 45-150. 2. Городецкий А.Я. Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения. Учебн. пособие / А.Я. Городецкий. – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 326 с. 3. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация систем: анализ динамических структур / Н.Н. Карабутов. – М.: МГИУ, 2008. – 160 с. 4. Киричков В.Н. Построение адаптивных моделей динамических объектов по данным эксперимента / В.Н. Киричков, А.Н. Сильвестров. – К.: Вища школа, 1985. – 68 с. 5. Кузнецов А.А. Метод структурной идентификации информационных потоков в телекоммуникационных сетях на основе BDS-тестирования / А.А. Кузнецов, С.Г. Семенов, С.Н. Симоненко, Е.В. Мелешко

// Науково-технічний журнал "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". Випуск 2 (4). – Х.: ХУПС. – 2010. – С. 131-137. 6. Семенов С.Г. Сравнительные исследования методов идентификации трафика в телекоммуникационной сети для повышения оперативности передачи данных / С.Г. Семенов, Е.В. Мелешко // Науково-технічний журнал "Прикладная радиоэлектроника". – 2003. – Т. 9. – № 3. – Х.: ХНУРЕ. – 2010. – С. 444-448. 7. Semenov S. The method of processing and identification of telecommunication traffic based on BDS-tests / S. Semenov, A. Smirnov, E. Meleshko // The book of materials International Conference "Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)". – Kiev, Ukraine, National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, 2010. – С. 166-168. 8. Кузнецов Д.Ф. Численное моделирование стохастических дифференциальных уравнений и стохастических интегралов / Д.Ф. Кузнецов. – СПб.: Наука. – 1999. – 463 с.

Статья представлена д.т.н. проф. Удовенко С.Г. проф. кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники.

УДК 044.451.5

Динамічна модель інформаційної системи на основі структурно-інформаційного портрету, що спостережується / Семенов С.Г., Давидов В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 156 – 163.

В статті розроблена динамічна модель інформаційної системи, яка враховує апостеріорні дані про її структурні зміни в умовах зовнішніх впливів. Запропоновано підхід до оцінки структурних особливостей інформаційної системи на основі структурно-інформаційного портрету, що спостережується. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: інформаційна система, динамічна модель, структурно-інформаційний портрет.

UDC 044.451.5

Dynamic model of information system based on observed structural-information portrait. / Semenov S.G., Davydov V. V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 156 – 163.

Dynamic model of information system, which consider a prior data about its structural changes in conditionals of external influences is developed in the article. Approach of assessing structural features of information systems based on observed structural-information portrait was proposed in the article. Refs: 8 titles.

Keywords: information system, dynamic model, structural-information portrait

Поступила в редакцію 12.07.2011

Б.Г. ТАГИЕВ, д.ф.-м.н., чл.корр. НАНА, г. Баку,
Р.А. ИБРАГИМОВ, к.т.н., нач. отд. НАА, г. Баку,
Н.М. СВИХНУШИН, с.н.с. НАА, г. Баку,
ИСКЕНДЕРОВ НАСРЕДДИН ИСКЕНДЕР ОГЛЫ, аспирант НАА,
г. Баку

АВТОНОМНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ НА ОСНОВЕ WXT520 И С ТЕЛЕМЕТРИЕЙ НА GSM МОДЕМЕ

Представлено описание автономной метеостанции с телеметрией на GSM модеме Fargo Maestro 100 TCP/IP. Основным преимуществом автономной метеостанции является ее мобильность, полная автономность и продолжительная работа без участия обслуживающего персонала. Применение GSM технологии в организации связи и сбора информации позволило обеспечить оперативность, надежность и минимизацию эксплуатационных затрат на функционирование системы. Ил.: 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: автономная метеостанция, телеметрия, модем, мобильность.

Постановка проблемы. Разработанная нами автоматическая метеостанция предназначена для контроля метеопараметров в городских и сельских условиях, в морских портах, аэропортах, на автомагистралях и т.п. Она недорога, имеет достаточное быстродействие и точность, а для многофункционального применения сопряжена с компьютером по интерфейсу RS232 или RS485 [1]. При создании сети метеорологических станций возникла необходимость в доработки ее для размещения в горном массиве Большого Кавказского хребта вдалеке от населенных пунктов, дорог и линий электропередач.

Основными требованиями к аппаратуре такой метеостанции являются ее мобильность, отсутствие механических датчиков метеорологических параметров (чашечных вертушек, флюгарок, плювиографов), полная автономность, работа без участия обслуживающего персонала и продолжительный интервал между техническими обслуживаниями. Этим требованиям в полной мере удовлетворяет автономная метеостанция на основе преобразователя метеопараметров WXT520 фирмы Vaisala. Преобразователь WXT520 представляет собой компактный прибор, не имеющий механических датчиков, который измеряет и выдает информацию о шести метеопараметрах: скорость и направление ветра, осадки, атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха. Для связи с компьютером или модемом имеются интерфейсы: USB, RS232 и RS485 [2].

Автономное питание метеостанции осуществляется от двух аккумуляторных батарей PM 7.2-12, подзарядка которых осуществляется от двух солнечных панелей M20 W (рис.1). Управление режимами заряда аккумуляторных батарей осуществляется при помощи контроллера заряда CQ1205LT.

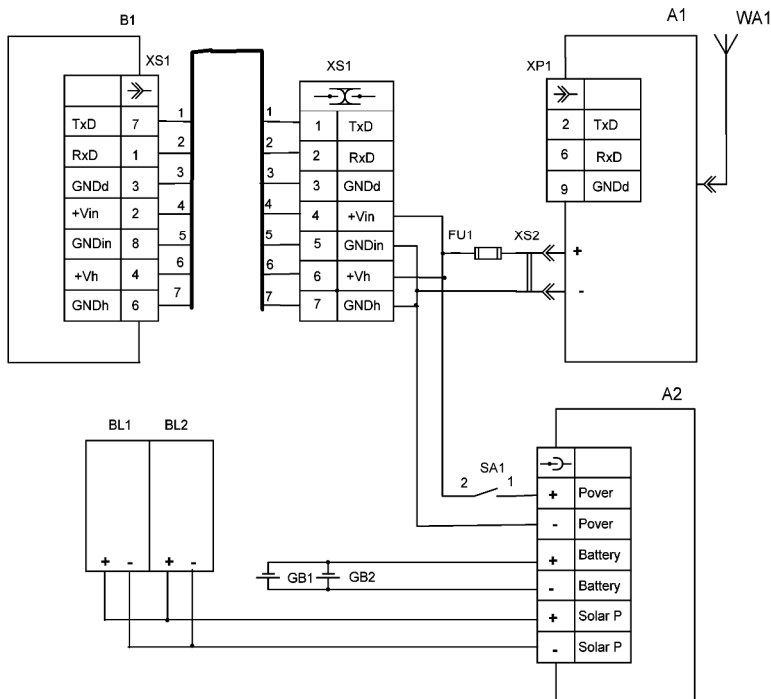


Рис. Схема подключения устройств метеостанции: A1 – GSM модем Fargo Maestro 100 TCP/IP; A2 – Solar controller CQ1205LT; B1 – WXT520 AAB1BB11A0; BL1, BL2 – Solar Panel M20 W; GB1, GB2 – Battery PM 7.2-12; WA1 – GSM антенна

Важной проблемой при создании распределенной сети метеорологических станций оказывается организация связи и сбора информации. При организации систем сбора информации (телеметрии) на многочисленных объектах, распределенных по значительным территориям, приходится решать задачу организации связи. Особое внимание приходится уделять таким вопросам, как оперативность передачи информации между метеостанциями и центральным пунктом

(ЦП), надежность передачи информации и минимизация затрат на функционирование системы. Под оперативностью передачи информации понимается минимизация времени, необходимого для реализации сеанса передачи данных. Сюда входит время на установление канала связи, время на непосредственную передачу данных (обмен данными) и время на разрыв канала связи. Под надежностью передачи данных понимается достоверность передачи данных, защита передаваемых данных от несанкционированного доступа и доступность самого канала связи.

Основными затратами на функционирование системы телеметрии являются затраты по оплате услуг связи. Прокладка линий связи до каждого объекта невозможна по техническим и финансовым соображениям. Всё это говорит в пользу применения систем передачи данных по радиоканалу. Однако использование радиомодемов с выделенной частотой тоже имеет свои недостатки: во-первых, существует необходимость лицензирования частоты, а во-вторых, для получения большой зоны охвата территории потребуется установка репитеров.

И как показывает опыт проектирования и разработок подобных систем, наиболее перспективным направлением развития в этой области является передача данных с применением средств сотовой связи, в частности – стандарта GSM.

Современные сети GSM поддерживают ряд специальных технологий, ориентированных на передачу цифровых данных, которые позволяют объединить преимущества радиосвязи – мобильность и простоту организации с достоинствами Интернет-технологий. Выбор тех или иных способов передачи данных при построении конкретной системы должен выполняться с учетом особенностей данной системы, требований, предъявляемых к ней, и цены, качества и возможностей услуг, предоставляемых оператором GSM. Основные требования к рассматриваемой системе являются: оперативная и достоверная передача результатов измерений по запросу ЦП и минимизация затрат на услуги связи. Её особенностью является незначительный объем передаваемой информации (порядка 500 байт за один сеанс связи), ограниченное число сеансов связи (8 за одни сутки) и непредсказуемый уровень сигнала.

Рассмотрим вкратце основные технологии передачи данных в сетях GSM и особенности их применения в рассматриваемой системе.

SMS-сообщения удобны при относительно редкой передаче информации, оплата производится на основании количества сообщений (у оператора AZERCELL 0.05 AZN за 1 SMS (AZN-код валюты официальной денежной единицы Азербайджанской Республики – маната – по ISO)). Однако время доставки SMS-сообщений в сетях операторов,

как правило, не гарантируется, разброс может достигать значительных величин (иногда до суток) и поэтому этот вариант не удовлетворяет требованиям поставленной задачи.

CSD (Circuit Switched Data) – технология передачи данных в сетях мобильной связи с коммутацией каналов по голосовым каналам со скоростью до 9,6 Кбит/сек. Это наиболее надежный и универсальный (хотя и низкоскоростной) способ передачи данных в GSM-сетях. Оплата трафика производится на основе общего времени соединения (у оператора AZERCELL 0.1 AZN за 1 мин.).

Для обеспечения передачи данных по технологии CSD применяются два GSM модема – местный, подключаемый к компьютеру на ЦП, и удаленный, устанавливаемый на метеостанции. Возможность передачи данных входит в стандартный пакет услуг оператора, доступных при активизации SIM карты. Оплата услуги связи производится по SIM карте вызывающего модема, т.е. расположенном на ЦП. Для удаленного модема входящие звонки бесплатные и требуется лишь ежемесячная абонентная плата за поддержание SIM карты в активном состоянии (1,18 AZN в месяц). Ввиду незначительного объема передаваемых данных основную долю времени сеанса связи составляет время установления и разрыва канала связи.

По результатам тестирования было установлено, что наименьшее время соединения достигается при использовании обоими GSM модемами протокола V.110 и режимов передачи: прозрачный, асинхронный, без сжатия данных. В этом случае время, затрачиваемое на установление соединения, составляет около 2 секунд. При использовании вызывающим модемом прозрачного, а вызываемого – непрозрачного режимами передачи время соединений составляет 6 секунд. Очевидным преимуществом использования прозрачного режима передачи является возможность быстрого установления соединения между двумя GSM-модемами. Однако нельзя не отметить и определенные недостатки режима, среди которых, в первую очередь, проявляется снижение помехозащищенности передачи. Соответственно, при работе в прозрачном режиме повышается вероятность разрыва соединения, и, кроме того, ужесточаются требования по минимально допустимому уровню сигнала (около минус 60dBm) [3]. На метеостанциях, расположенных на значительном расстоянии от базовых станций или со сложным пересеченным ландшафтом, где уровень сигнала меньше минус 60dBm и непостоянен, используется непрозрачный, а на метеостанциях с достаточным уровнем сигнала – прозрачный режим передачи.

Местный модем на ЦП при помощи стандартного кабеля подключается к COM порту компьютера. АТ, командами

AT+CBST=71,0,0 и AT+IPR=9600 задается протокол V.110, асинхронный, прозрачный, без сжатия, со скоростью 9600 бит/с режим обмена. В качестве местного модема возможно применение любого мобильного телефона, подключенного к Notebook, что позволяет оперативно запрашивать данные всем заинтересованным службам вне зависимости от их места расположения в пределах зоны покрытия сетью GSM. Подключение удаленных модемов к блоку обработки метеостанции (рис.) осуществляется по RS232 с использованием только линий данных TxD и RxD.

Алгоритм функционирования блока обработки не предусматривает процедуру управления модемом, поэтому в их энергонезависимую память при помощи программы HyperTerminal заносятся AT команды, задающие режим работы модема. Ниже приведен необходимый перечень настроечных AT команд с комментариями [4].

AT&F	– установка заводских установок
AT&D0	– игнорировать DTR
AT&C1	– DCD включать при соединении
AT&S0	– DSR всегда активен
AT&Q0	– управление CTS-RTS отключено
ATE1	– повтор эхо символов включен
ATS0=1	– автоответ после 1 ^{го} звонка
AT+CSNS=4	– режим данных для всех типов звонков
AT+CBST=71,0,1	– V.110, нет сжатия, непрозрачный режим
AT+CBST=71,0,0	– V.110, нет сжатия, прозрачный режим
AT+IPR=9600	– скорость обмена бит/с
AT&W	– сохранить настройки в энергонезависимой памяти
AT&V	– проверить сохраненные настройки

На компьютере ДП установлена программа управлением модемом для выполнения процедур дозвона, запроса и приема данных, разъединения сеанса связи.

Время сеанса связи с модемом в непрозрачном режиме составило 12 секунд, что в денежном эквиваленте составляет 0,034 AZN, и 6 секунд в прозрачном режиме, что соответствует 0,017 AZN. За 8 месяцев непрерывной эксплуатации не было ни одного сбоя или зависания модемов, что доказало высокую надежность и относительную дешевизну CSD технологии передачи данных при решении рассматриваемой задачи с предоставлением услуг связи конкретным оператором.

GPRS (General Packet Radio Service – пакетная радиосвязь общего назначения) – технология передачи пакетов протокола IP в сотовой сети, обеспечивающая доступ мобильного оборудования к сети Интернет [5]. По сравнению с CSD использует более эффективные способы передачи информации, позволяющие абоненту одновременно вести обмен цифровыми данными и использовать речевой канал связи. GPRS минимизирует стоимость трафика (оплата зависит от объема переданной информации), что обеспечивает существенную экономическую выгоду при передаче большого объема информации. Эта технология отличается более высокими, по сравнению с CSD, требованиями к уровню сигнала, а надежность соединения зависит от ресурсов и качества услуг конкретного оператора.

Технология пакетной передачи GPRS используется в качестве механизма доставки пакетов данных протоколы TCP/IP, в случае применения которых каждому из устройств сети присваивается уникальный IP адрес. Возможны разные варианты выделения IP адресов местному и удаленным устройствам. Наиболее оптимальный вариант – наличие у местного статического, а у удаленных устройств динамических IP адресов. Удаленные устройства должны иметь встроенный TCP/IP стек, в нашем случае это GSM модемы Fargo Maestro 100 TCP/IP с версией программного обеспечения интернет протокола WIP Soft V201 on Open AT OS V312. При такой организации системы возможен следующий сценарий установления соединения между удаленными и местным устройствами. Иницилирующим соединением устройством является удаленное, оно организует GPRS сеанс с инфраструктурой сотового оператора, получает от него динамический IP адрес и, зная статический IP адрес местного устройства, устанавливает с ним TCP/IP соединение. Местное устройство должно быть сконфигурировано на прием и обработку запросов на соединение по выделенному каналу доступа в Интернет. При поступлении запроса на соединение от удаленного устройства его динамический IP адрес станет известен (в IP заголовке пакета содержится информация об адресе отправителя), что делает возможным двухсторонний обмен информацией.

Сценарий установления соединения удаленным устройством обеспечивается ниже приведенной последовательностью команд [6]:

AT+WOPEN=1	; запустить приложение OPEN AT
AT+WIPCFG =1	; запустить TCP/IP stack
AT+WIPBR=1,6	; задать поддержку GPRS
AT+WIPBR=2,6,11,"APN"	; активизировать APN сервер
AT+WIPBR=4,6	; старт GPRS

AT+WIPCREATE=2,1,"XXX.XXX.XXX.XXX",YYYY ; задать IP адрес,
номер TCP порта
AT+WIPDATA=2,1,1 ; открыть сокет 1, непрерывный режим
передачи

Для поддержания виртуального GPRS канала в активном состоянии необходимо через определенные временные интервалы (для AZERCELL 50 минут) передавать сигнальные пакеты на любой известный IP адрес или на сервер местного устройства, который должен быть включен круглосуточно, в противном случае оператор разъединяет соединение с сетью. Цена каждого GPRS соединения составляет 0,014 AZN, что незначительно дешевле одного сеанса связи по CSD технологии в рассматриваемом варианте системы. Тестирование системы при размещении удаленных устройств в пунктах реального расположения показал частое разъединение с сетью (возможно из-за низкого и нестабильного уровня сигнала или ограниченных ресурсов оператора), что свело на нет экономическую целесообразность в применении GPRS технологии.

Выводы. В рассматриваемом варианте системы целесообразно использовать CSD технологию передачи данных как более надежную и простую в реализации.

Список литературы: 1. *Касимов Ф.Д.* Система автоматической регистрации метеорологических параметров / *Ф.Д. Касимов, Н.Г. Джавадов, Р.А. Ибрагимов, Н.М. Свихнушин* // Датчики и Системы. – 2009. – № 6 (121). – С.57-59. 2. Преобразователь метеоданных WXT520. Руководство пользователя. – Vaisala – 2009. 3. *Моисеенко Д.* Оптимизация работы модемов в режиме передачи данных по сети GSM / *Д. Моисеенко* // Компоненты и технологии. – 2003. – № 4. 4. AT-команды. Руководство по использованию AT-команд для GSM/GPRS модемов. – М.: Серия "Библиотека Компэла". – ЗАО "Компэл", 2005. – 432 с. 5. *Алексеев В.* Работа в режиме GPRS с модемами Wavecom / *В. Алексеев, А. Бараев* // Мобильные Системы. – 2003. – № 2. 6. WIP AT COMMANDS USER GUIDE (WIPSOFT V2.01) // WAVECOM. – January 12, 2007.

УДК 651.326

Автономна метеостанція на основі WXT520 і з телеметрією на GSM модемі
/ Тагієв Б.Г., Ібрагімов Р.А., Свихнушин Н.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 164 – 171.

Представлено опис автономної метеостанції з телеметрією на GSM модемі Fargo Maestro 100 TCP/IP. Основною перевагою автономної метеостанції є її мобільність, повна автономність і тривала робота без участі обслуговуючого персоналу. Вживання GSM технології в організації зв'язку і збору інформації дозволило забезпечити оперативність, надійність і мінімізацію експлуатаційних витрат на функціонування системи. Іл.: 1. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: автономна метеостанція, телеметрія, модем, мобільність.

UDC 651.326

Independent meteorological station on the basis of WXT520 and with telemetry on GSM the modem / Tagiev B.G., Ibragimov R.A., Svikhnushin N.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 164 – 171.

The description of an independent meteorological station with telemetry on GSM modem Fargo Maestro 100 TCP/IP is presented. The basic advantage of an independent meteorological station is its mobility, full autonomy and long work without participation of attendants. Application GSM of technology in the organization of communication and information gathering has allowed to provide efficiency, reliability and minimization of operational expenses for system functioning. Figs: 1. Refs: 6 titles.

Keywords: Independent meteorological station, telemetry, the modem, mobility.

Поступила в редакцию 15.06.2011

УДК 681.513:620.1

А.В. ТЕЛІШЕВСЬКА, асистент, ЧФ НТУ "ХПІ", м. Чернівці,
А.І. ПОВОРОЗНЮК, к.т.н., доц. НТУ "ХПІ", м. Харків

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ МЕДИЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ

В роботі розроблено довідники для ведення медичної бази даних (БД) для створення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень. Створена БД дозволяє добавляти нові ознаки, або редагувати уже існуючі без зміни структури БД. Розроблено модель вибору системи управління БД (СУБД), на основі якої робиться висновок про необхідність використання реляційної СУБД PostgreSQL. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: база даних, комп'ютерна система підтримки прийняття рішень, ознаки.

Постановка проблеми. Захворюванням в неврології називають будь-яке відхилення або патологічний розлад функцій в тому разі якщо йдеться про нервову систему або про будь-яке інше «нервове» відхилення. Для постановки діагнозу неврологічних захворювань (НЗ) важливі клінічні та лабораторні дослідження. Створення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (КСППР) для діагностики НЗ є досить актуальною науково-технічною проблемою. Одним із основних етапів для створення КСППР є розробка медичної бази даних (БД), структура якої дозволить легко добавляти кількість пацієнтів, а також міняти множини ознак необхідних для діагностики НЗ.

Аналіз літератури. В основі неврологічних захворювань лежать патологічні зміни, які проходять в деякій визначеній частині головного мозку. На відміну від набряку мозку і менінгіту, вони мають хронічний характер [1, 2]. Тому варто враховувати, що трапляються більш серйозні порушення і продовжуються вони набагато довше. Тому для діагностики НЗ важливо розглянути клінічні характеристики пацієнтів у комплексі. [3]. Діагностика НЗ базується на класичних методах діагностики – лабораторних дослідженнях, та сучасних нейровізуальних методах – електрокардіограмі, магніто-резонансній томографії, комп'ютерній томографії та ін. [4, 5]. В зв'язку з чималою кількістю параметрів, необхідних для діагностики НЗ, актуальним є створення спеціалізованої БД [6 – 8].

Ціллю даної статті є розробка інформаційної структури медичної БД для створення КСППР.

Обґрунтування вибору СУБД. Серед загальних характеристик СУБД можна виділити наступні: всі СУБД включають мову визначення

даних, за допомогою якої можна знайти базу даних, її структуру, типи даних, а також засоби завдання обмежень для інформації, яка зберігається; СУБД дозволяють вставляти, видаляти, оновлювати і здобувати інформацію із баз даних за допомогою мови управління даними, яка називається мовою запитів; більшість СУБД можуть працювати на комп'ютерах з різною архітектурою і під різними операційними системами, причому на роботу користувача при доступі до даних тип платформи значення практично не має.

Обрана PostgreSQL – об'єктно-реляційна СУБД. Сильними сторонами PostgreSQL вважаються: підтримка БД практично необмеженого розміру; потужні і надійні механізми транзакцій і реплікацій; розширювана система вбудованих мов програмування (початково підтримуються SQL, PL/pgSQL, PL/Perl, PL/Python і PL/c, а також є підтримка завантаження C-сумісних модулів); підтримка з боку багатьох мов програмування таких, як C/C++, Java, Perl, Python, PHP та інших; успадкування; легко розширювана система типів. PostgreSQL підтримує багато типів полів двовимірної віконної графіки (точки, прямі, прямокутники і т.д.). Є підтримка масивів даних (декілька екземплярів однотипних даних в одному полі одного запису). Також є підтримка регулярних виразів в стилі мови Perl. PostgreSQL є повнофункціональною об'єктно-реляційною СУБД, готовою для практичного використання. Її функціональність та надійність обумовлені багатою історією розвитку, професіоналізмом розробників і технологією тестування, а її перспективи закладені в її розширюваності і вільній ліцензії.

Розробка інформаційної структури БД. Схема даних спеціалізованої БД для діагностики НЗ з урахуванням розробленої структури підмножин ознак, що не перетинаються представлена на рис. Представлення вхідних і вихідних множин ознак у вигляді ієрархічної структури підмножин, які не перетинаються, дозволило виділити ряд довідників, що входять в інформаційну структуру БД.

Розглянемо організацію довідників. Таблиця main є головною, вона містить дані про пацієнтів (див. рис.): id_pacient – унікальний ключ, який зв'язує дану таблицю з іншими, тип даних цього поля лічильник, last_name – прізвище пацієнта, name – ім'я, second_name – по-батькові, sex – стать, birthday – дата народження і address – адреса пацієнта. Тип даних полів last_name, name, second_name, sex та address – текстовий, максимальний розмір поля 255, а поля birthday – дата/час (короткий формат поля). В таблиці bolezni є наступні поля: id_pacient – ключ, що зв'язує дану таблицю із головною (тип даних числовий, розмір – довге ціле), name – назва хвороби (тип даних – текстовий, максимальний розмір поля 255).

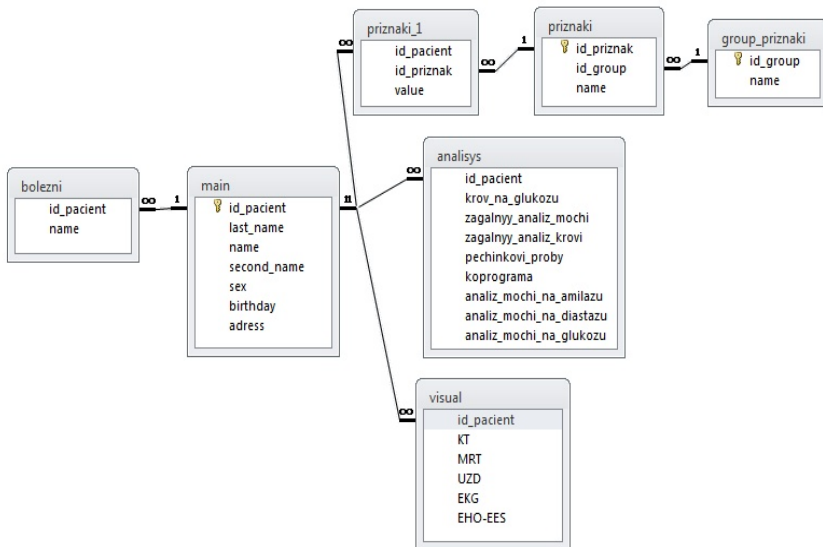


Рис. Схема медичної бази даних

Таблиця `priznaki` має наступні поля: `id_priznak` – унікальний ключ (тип даних – лічильник), `id_group` – ключ (числовий тип даних, розмір – довге ціле), який зв’язує із довідником по ознакам неврологічного статусу, `name` – назва ознаки, має текстовий тип даних, максимальний розмір якого 255. Таблиця `analysis` містить дані по лабораторним дослідженням. Дана таблиця має наступні поля: `id_pacient` – ключ, що зв’язує дану таблицю із головною, `krov_na_glukozu` – аналіз крові на глюкозу, `zagalnyy_analiz_mochi` – загальний аналіз сечі, `zagalnyy_analiz_krovi` – загальний аналіз крові, `pechinkovi_proby` – печінкові проби, `koprograma` – копрограма, `analiz_mochi_na_amilazu` – аналіз сечі на амілазу, `analiz_mochi_na_diastazu` – аналіз сечі на діастазу та `analiz_mochi_na_glukozu` – аналіз сечі на глюкозу. Всі поля даної таблиці мають числовий тип даних, оскільки лабораторні дослідження мають цифрове представлення (розмір – довге ціле). Таблиця `visual` містить дані по нейровізуальних дослідженнях. Оскільки всі дані представлені у вигляді зображення, то аналізи, що відповідають множині нейровізуальних досліджень мають описовий характер, тобто поля даної таблиці мають текстовий тип даних (максимальний розмір – 255). В таблиці `visual` є наступні поля: `KT` – комп’ютерна томографія, `MRT` – магніто-резонансна томографія головного мозку, `UZD` –

ультразвукова діагностика, ЕКГ – електрокардіограма, ЕНО-ЕЕС – ехоенцефалоскопія.

Висновки. В даній роботі запропонований спосіб створення інформаційної структури БД КСППР для діагностики НЗ, який дозволяє виконувати додавання нових ознак і оновлення вже існуючих без змін структури БД.

Список літератури. 1. Миценко Т.С. Стан та перспективи розвитку неврологічної служби в Україні / Т.С. Миценко // Матеріали науково-практичної конференції "Фармакотерапія захворювань нервової системи". – Харків. – 2005. – С. 167. 2. Вінчук С.М. Нервові хвороби. / С.М. Вінчук, Є.Г. Дубенко, Є.Л. Мачерет. – К.: Здоров'я, 2001. – 696 с. 3. Штульман Д.Р. Неврология: Справочник практикующего врача / Д.Р. Штульман, О.С. Левин. – М.: МЕДпресс-информ, 2008. – 1024 с. 4. Яхно Н.Н. Болезни нервной системы. Руководство для врачей. В 2-х т. – Т. 1. / Н.Н. Яхно, Д.Р. Штульман. – М.: Медицина, 2001. – 744 с. 5. Яхно Н.Н. Болезни нервной системы. Руководство для врачей. В 2-х т. – Т. 2. / Н.Н. Яхно, Д.Р. Штульман. – М.: Медицина, 2001. – 480 с. 6. Телишевська А.В. Формалізація вхідної інформації для діагностики неврологічних захворювань / А.В. Телишевська, А.І. Поворознюк // Матеріали науково-практичної конференції "MicroCad 2011". – Харків. – 2011. – С. 162 – 167. 7. Коннолли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли, К. Бегг, А. Страчан. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 1120 с. 8. Малыхин М.П. Базы данных: основы проектирования, использование / М.П. Малыхин. – СПб.: БХВ – Петербург, 2007. – 528 с.

Статтю представлено д.ф.-м.н., проф., зав. каф. "Інформаційні системи" ЧФ НТУ "ХПИ" Ленюк М.П.

УДК 681.513:620.1

Разработка информационной структуры медицинской базы данных / Телишевская А.В., Поворознюк А.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 172 – 175.

В статье разработаны справочники для ведения медицинской базы данных (БД) для создания компьютерной системы поддержки принятия решений. Созданная БД позволяет добавлять новые признаки или редактировать уже существующие без изменения структуры БД. Разработана модель выбора системы управления БД (СУБД), на основе которой делается вывод о необходимости использования реляционной СУБД PostgreSQL. Из.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: база данных, компьютерная система поддержки принятия решений, признаки, модель выбора.

UDC 681.513:620.1

Development of informative structure of medical data base / Telishevskaya A.V., Povoroznyuk A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 172 – 175.

We developed manuals for conducting medical database (DB) to create a computer decision support system. A database allows you to add new features or edit existing ones without changing the structure of the database. A model of the choice of database management (DBMS) on the basis of which concluded the need to use a relational database PostgreSQL. Figs: 1. Refs.: 8 titles.

Keywords: database, computer decision support system, signs, model selection.

Надійшла до редакції 30.06.2011

Л.А. ТИМАШОВА, д.т.н., доц., зав. отделом Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, г. Киев,

В.П. КОЗЛОВА, н.с. МНУЦ ИтиС, г. Киев,

В.А. ЛЕЩЕНКО, н.с. МНУЦ ИтиС, г. Киев,

А.И. МОРОЗОВА, гл.инж.-п. МНУЦ ИтиС, г. Киев,

Л.Ю. ТАРАН, гл.инж.-п. МНУЦ ИтиС, г. Киев

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕНЕДЖЕРСКИХ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОДХОДОВ, ОСНОВАННЫХ НА ЗНАНИЯХ

Рассматриваются вопросы повышения эффективности менеджмента предприятия за счет использования знаний и опыта, накопленного персоналом предприятия и наукой менеджмента в целом. Библиогр.: 29 назв.

Ключевые слова: повышение эффективности, менеджмент предприятий, знания и опыт, накопленные персоналом.

Постановка проблемы и анализ литературы. Для современных предприятий, функционирующих в условиях глобализации и нестабильности внешней обстановки, их конкурентоспособность и даже просто выживаемость во многом зависит не только от имеющихся производственных возможностей, но и от эффективности менеджмента, его способности адаптироваться к новым условиям [1].

Развитие Интернет обеспечивает свободный доступ к различной информации и делает реальной виртуальную связь участников, объединенных между собой общими целями и владеющих превосходящими других компетенциями [2]. Появляются равные для всех возможности быстрого освоения и внедрения передового опыта и теоретических разработок. Выигрывает тот, кто первым узнает о новых потребностях потребителей и появившихся инновационных решениях, и использует эту информацию для быстрого освоения новых прогрессивных технологий [3]. Информация и знания превращаются в стратегический ресурс, обеспечивающий предприятиям конкурентные преимущества [4].

К настоящему моменту наукой менеджмента и практическим менеджментом накоплено огромное множество знаний, сформулированных в виде теорий, принципов, концепций, подходов и методов [5]. Все они нацелены на организацию эффективного менеджмента и затрагивают, как правило, все стороны менеджерской

деятельности, но концентрируют внимание и интегрируют действия вокруг элементов, которые, с точки зрения предложенной концепции, являются наиболее важными. Выделяют школы: научного управления, административную, человеческих отношений и науки управления (количественная школа), объектами рассмотрения которых являются соответственно отдельные производственные операции, организации в целом, человеческие отношения, модельное представление объектов управления. Методы количественной школы ориентированы на использование экономико-математических моделей и методов и компьютерных технологий, что существенно ускорило и облегчило внедрение теоретических разработок в практику менеджмента [6, 7].

На базе этих знаний воспитывались менеджеры всех поколений, дополняя их своим опытом использования для конкретных условий. Это нашло свое отражение в современных управленческих и организационных концепциях [8 – 12], новых подходах, методах и моделях, таких, например, как модель делового совершенства и системы управления качеством [13], система сбалансированных показателей [14], концепция бережливого производства [15], теория ограничений систем [16], опыт успешного менеджмента [17] и консультирования [18] и др.

Инструментарий менеджмента пополняется новыми концепциями и подходами, основанными на знаниях, позволяющими более эффективно использовать интеллектуальные ресурсы предприятия в виде опыта и знаний его персонала [19, 20]. Актуальными становятся исследования, связанные с оценкой эффективности новых подходов, анализом проблем их стыковки с классическими менеджерскими подходами, практическим освоением и внедрением на конкретных предприятиях.

Цель статьи. В настоящей работе представлены результаты исследований, связанных с вопросами практического использования научных знаний и знаний и опыта персонала предприятия. Предложен подход, применение которого позволяет определить, каким именно образом совместное использование классических управленческих концепций и современных концепций, основанных на знаниях, повышает эффективность решения задач и принятия менеджерских решений.

Описание подхода. Подход предполагает системное рассмотрение и анализ менеджерской деятельности в разрезе задач менеджмента, специфики работы менеджеров в современных условиях, требуемых и используемых ими знаний и компетенций, роли формальных и неформальных методов и подходов и лучшей практики, определение структуры эффективного менеджмента, выявление факторов, повышающих эффективность менеджерских решений.

Традиционно менеджмент нацелен на непосредственное управление деятельностью предприятия с целью обеспечения его успешного функционирования, в том числе и получения прибыли при рациональном использовании ресурсов [1]. Менеджеры должны уметь ставить цели и достигать их выполнения, используя имеющиеся ресурсы, труд, интеллект и мотивы поведения других людей. В своей профессиональной деятельности менеджеры прогнозируют состояние управляемого объекта, моделируют ситуации, используют различные методы для решения задач, принимают решения и несут ответственность за их выполнение.

Трудности управления в настоящее время связаны с усложнением решаемых менеджерами задач, неоднозначностью складывающихся на объекте ситуаций, увеличением количества факторов, влияющих на их исход, увеличением количества возможных вариантов решений, увеличением объемов перерабатываемой информации и знаний. Усилилась потребность в целостном рассмотрении ситуаций и выявлении глубинных связей и факторов, их определяющих; возросли требования к скорости и качеству принимаемых менеджерами решений; увеличилась степень ответственности за последствия принимаемых решений.

Эффективный менеджмент не возможен без способности и умения реализующих его менеджеров видеть в целом и в деталях ситуации, оценивать их с точки зрения достижения поставленных целей; принимать решения, обеспечивать их выполнение и предугадывать последствия; упреждать возникновение нежелательных ситуаций [21]. Менеджеры нуждаются в большом количестве разнообразных знаний и информации, и, в свою очередь, накапливают опыт и знания успешной работы в конкретных условиях.

Решение многих управленческих и организационных проблем невозможно без привлечения научных знаний и опыта и знаний, накопленных менеджерами и персоналом своего и других предприятий, функционирующих в подобных условиях. С точки зрения практического применения эти знания представляют собой научное и практическое обобщение накопленного опыта эффективного менеджмента, содержат ограниченное количество подходов, моделей и методов, и вполне доступны для восприятия и использования в управлении предприятием. Для цельности восприятия их можно разделить на группы.

Первая группа включает формализованные модели и методы, используемые для решения различных управленческих задач. Сюда относятся экономико-математические модели и методы [22, 23], развитие которых осуществляется за счет решения задач в условиях неопределенности, нечеткости и многовариантности [24].

Вторая группа методов включает различные управленческие концепции и подходы, представляющие собой обобщенный опыт практического менеджмента и позволяющие интегрировать и направлять действия многих людей к выбранным целям (модель делового совершенства, система управления качеством, система сбалансированных показателей, управление проектами, бережливое производство и др.).

Третья группа включает организационные технологии и сценарии, которые описывают последовательность возможных действий менеджеров при решении определенных управленческих проблем. Не смотря на то, что развитие сценариев не всегда возможно предугадать, они дают четкое представление обо всем множестве возникающих проблем и определяют направление, по которому надо двигаться.

К четвертой группе можно отнести различные приемы и решения, принимаемые менеджерами в конкретных ситуациях с учетом их опыта и знаний и позволяющие им совместно и гармонично использовать формальные и неформальные методы, знания и опыт персонала, научные знания и опыт других предприятий; не нарушая целостности восприятия ситуации, приостанавливать контролируемые процессы, проводить детальный анализ отдельных моментов, активно вмешиваться и направлять их дальнейшее протекание и развитие в требуемом направлении.

К пятой группе можно отнести концепции и подходы, позволяющие эффективно использовать опыт и знания, которыми владеет предприятие и его персонал. Для таких систем знания являются их неотъемлемыми составляющими [25]. Развитие подходов осуществляется за счет создания интеллектуальных систем управления [26, 27], экспертных систем [28], интеллектуальных агентов [29].

Представленные выше результаты анализа менеджерской деятельности позволяют сформулировать в общем виде эффективную структуру современного менеджмента как целостность, сочетающую в себе четыре составляющие:

- 1) менеджеров с их профессиональными компетенциями, опытом и знаниями;
- 2) объекты управления с внутренней и внешней средой их функционирования;
- 3) инструментарий менеджмента, включающий используемые менеджерами формальные и неформальные подходы, модели и методы, знания и опыт персонала, а также средства автоматизации менеджерской деятельности;
- 4) информационно-коммуникационную и технологическую среду взаимодействия.

В представленной структуре менеджеры являются активным элементом, так как от их профессионализма и компетенций зависит и состояние объекта управления, и эффективность используемого инструментария, и успех менеджмента и предприятия в целом.

Активное и сознательное использование инструментария позволяет иметь актуализированную модель внешней и внутренней среды объекта управления, информацию об имеющихся резервах, возможностях по достижению намеченных планов и совершенствованию процессов и подходов по управлению. С его помощью можно промоделировать различные ситуации, возможные действия, выработать решения и оценить их последствия.

Информационно-коммуникационная и технологическая среда на базе Интернета и других коммуникационных сетей обеспечивает эффективное взаимодействие менеджеров с различными участниками бизнеса и объектами управления, доступ к инструментарию и требуемым знаниям и информации.

Реализация схемы с использованием онтологии позволяет описать на концептуальном уровне в виде понятий и их отношений все множество проблем и задач менеджеров, возникающих ситуаций, возможных решений; требуемую информацию, знания и инструментарий [25]. Менеджеры смогут иметь практическую модель своей деятельности, которая позволяет им всегда удерживать в сознании цельный образ всей деятельности и конкретной ситуации, и возможность доступа до любого элемента модели, настроенного на реальные условия [26].

Повышается эффективность менеджерских решений за счет своевременного получения информации о состоянии внутренней и внешней среды функционирования объекта управления, происходящих и намечающихся там явлениях и тенденциях; свободного доступа к научным знаниям и лучшей практике менеджмента; использования опыта и знаний персонала предприятия; целостного рассмотрения ситуаций и проблем; получения глубинных знаний о происходящих на объекте управления процессах.

Выводы. Предложенная структура менеджмента ориентирована на использование классических менеджерских подходов и новых подходов, основанных на знаниях. Она формирует образ современного менеджера, успешно работающего в условиях высоких управленческих, организационных и информационных технологий. Это может быть прообразом интеллектуального агента, имеющего внутреннюю модель представления внешней и внутренней среды функционирования объекта управления, мощный инструментарий для решения управленческих задач

и проблем, соответствующие знания и опыт правильного поведения, которые помогают ему ориентироваться в ситуации, принимать решения и оценивать их с точки зрения достижения поставленных целей.

Список литературы: 1. Тимашова Л.А. Інформаційні системи для сучасних бізнес-аналітиків / Л.А. Тимашова, Л.А. Бондар, В.А. Лещенко та ін. – К.: АПСВ, 2005. – 483 с. 2. Тимашова Л.А. Организация виртуальных предприятий / Л.А. Тимашова, С.К. Рамазанов, Л.А. Бондарь, В.А. Лещенко. – Луганск: ВНУ им. Даля, 2004. – 368 с. 3. Калита П.Я. В бизнесе, как и в спорте, побеждает сильнейший // Созвездие качества '2002. Сборник докладов. – К.: УАК, МЦК "ПРИРОСТ", 2002. – С. 51-71. 4. Гаврилова Т., Григорьев Л. Бизнес держится на знаниях, сам того не зная. – Режим доступа: <http://www.management.com.ua/strategy/str116.html>. 5. Кредисов А.И. История учений менеджмента / А.И. Кредисов. – Киев: ВИРА-Р, 2000. – 336 с. 6. Гейтс Б. Бизнес со скоростью мысли / Б. Гейтс. – М.: ЭКСМО-Пресс, 2001. – 480 с. 7. Информационные технологии в бизнесе / Под ред. М. Желены. – СПб: Питер, 2002. – 1120 с. 8. Друкер П. Задачи менеджмента XXI века / Питер Ф. Друкер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 272 с. 9. Богданов А.А. От философии к организационной науке / А.А. Богданов // Вопросы философии. – 2003. – № 1. 10. Щедровицкий Г.П. Организация, руководство, управление. – Режим доступа: <http://oru2.narod.ru/book/>. 11. Пригожин А.И. Дезорганизация: причины, виды, преодоление / А.И. Пригожин. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 402 с. 12. Бир С.Т. Кибернетика и менеджмент / С.Т. Бир; Под ред. А. Б. Челюсткина. – М.: "КомКнига", 2006. – 280 с. 13. Глудкин О.П. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин и др. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с. 14. Каплан Р. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. Каплан, Д. Нортон. – М.: ЗАО "Олимп-Бизнес", 2003. – 304 с. 15. Вумек Джеймс П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Даниел Т. Джонс. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2010 – 476 с. 16. Голдрат М. Элия. Цель. Процесс непрерывного улучшения. Цель-2. Дело не в везенье / Голдрат М. Элия, Кокс Джефф. – К.: ИД "Максимум", 2008. – 778 с. 17. Ли Якокка. Карьера менеджера: попури, 2007. – 544 с. 18. Гуляев А. Как эффективно вести компанию: важные вопросы, технологии и опыт успешного развития высших уровней управления бизнесом / А. Гуляев. – Рига: Biznesa Informācijas projekti, 2006. – 296 с. 19. Попов Э.В. Корпоративные системы управления знаниями / Э.В. Попов // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – №1. – С. 14-25. 20. Тарасов В.Б. Управление знаниями в сетях предприятий / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 3. – С. 32–35. 21. Котельников В. Эффективный менеджмент: Искусство, знания и навыки современного менеджера. – Режим доступа: <http://www.cecsi.ru/coach/management.html>. 22. Глухов В. Математические методы и модели для менеджмента / В. Глухов, С.Б. Коробко, М.Д. Медников. – Лань, 2005. – 528 с. 23. Шкурба В.В. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / В.В. Шкурба, К.Ф. Ефетова, Подчасова, Л.П. Тур и др. – К.: "Техніка", 1975. – 296 с. 24. Глибовець М.М. Штучний інтелект / М.М. Глибовець, О.В. Олецкий. – К.: КМ Академія, 2002. – 366 с. 25. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с. 26. Мейтус В.Ю. К проблеме создания интеллектуальных систем: онтологический шаг / В.Ю. Мейтус // УСИМ. – 2010. – № 3. – С. 3–7. 27. Лещенко В.А. Проблемы построения интеллектуальных систем управления предприятиями / В.А. Лещенко // Индуктивне моделювання складних систем: ЗНП. – К.: МННЦ ІТaС НАН та МОН України, 2009. – С. 102–113. 28. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Джозеф Джарратано, Гари Райли. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1152 с. 29. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – Вильямс, 2007. – 1408 с.

УДК 004.896

Підвищення ефективності менеджерських рішень в управлінні підприємством з застосуванням підходів, що базуються на знаннях / Л.А. Тимашова, В.П. Козлова, В.А. Лещенко, А.И. Морозова, Л.Ю. Таран // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 176 – 182.

Розглядаються питання підвищення ефективності менеджменту підприємства за рахунок використання знань та досвіду, накопиченого персоналом підприємства та наукою менеджменту в цілому. Бібліогр.: 29 назв.

Ключові слова: підвищення ефективності, менеджмент підприємства, знання та досвід, накопичений персоналом.

UDC 004.896

Improving the efficiency of managerial decisions in enterprise management with the use of approaches based on knowledge / Timashova L.A., Kozlova V.P., Leshchenko V.A., Morozova A.I., Taran L.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 176 – 182.

The problems of improving the efficiency of enterprise management through the use of knowledge and experiences of enterpriseresource management and science in general. Refs.: 29 titles.

Keywords: efficiency, management companies, knowledge and experience of enterpriseresource management.

Поступила в редакцію 15.06.2011

Л.С. ФАЙНЗИЛЬБЕРГ, д.т.н., гл.н.с. МНУЦ ИТИС, г. Киев,
Т.Ю. БЕКЛЕР, аспирант МНУЦ ИТИС, г. Киев

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ НОВОГО МЕТОДА МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В работе рассматриваются результаты исследования метода анализа электрокардиограммы (ЭКГ) в фазовом пространстве на основе оригинальной математической модели порождения сигнала в условиях внутренних и внешних возмущений. Получены зависимости между характеристиками фазового портрета ЭКГ и параметрами ЭКГ во временной области. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: фазовый портрет электрокардиограмма, модель порождения сигнала.

Постановка проблемы. Электрокардиография до сих пор остается наиболее распространенным методом диагностики в кардиологии. В то же время известно, что традиционные компьютерные методы анализа и интерпретации ЭКГ во временной области не обеспечивают требуемую достоверность результатов диагностики. Один из новых подходов, подтвердивший свою эффективность в клинических условиях [1], основан на анализе "фазового портрета" ЭКГ с использованием дополнительных диагностических признаков – параметров, характеризующих угол W ориентации фазового портрета, "дисперсию" D фазовых траекторий и симметрию β_T фрагмента реполяризации.

Для дальнейшего изучения диагностической ценности этого метода и исследования взаимосвязи параметров W , D , β_T с параметрами ЭКГ во временной области целесообразно использовать математические модели, позволяющие генерировать в условиях внутренних и внешних возмущений искусственные ЭКГ с реалистической формой информативных фрагментов и заданными амплитудно-временными характеристиками.

Анализ литературы. В работах [2 – 4] предложен ряд алгоритмов, основанных на линейной и квадратичной интерполяции элементов ЭКГ. Однако такие модели не позволяют синтезировать сигнал реалистичной формы и моделировать проявления на ЭКГ некоторых патологических состояний сердечно-сосудистой системы.

Более реалистическую форму "идеализированного" цикла ЭКГ обеспечивают модели, в которых отдельные элементы аппроксимируют гауссовы функции [5, 6]. В то же время, рассмотренные в этих работах

алгоритмы не предусматривают порождение последовательности сердечных циклов в условиях действия внутренних и внешних возмущений, что ограничивает их область применения.

В статье [7] исследуется модель ЭКГ, основанная на методах математической реконструкции нелинейной динамической системы. Однако, как указывают сами авторы статьи, для моделирования различных патологий предложенная модель требует существенного усложнения за счет включения дополнительных параметров.

В [8] предложен алгоритм генерации искусственной ЭКГ на основе операторного преобразования над отдельными фрагментами "эталона". И хотя такой подход позволяет синтезировать последовательность искаженных циклов ЭКГ реалистической формы, предложенную модель нельзя в полной мере отнести к генеративным моделям, так как в качестве эталона используется цикл реальной ЭКГ. К тому же данная модель не позволяет имитировать такой важный диагностический предиктор внезапной смерти как альтернацию зубца T [9], поскольку из-за нарушений непрерывности принципиально не допускает независимых искажений по амплитуде отдельных фрагментов эталона.

Получила известность также динамическая модель генерации искусственной ЭКГ, которая основана на численном решении системы из трех обыкновенных дифференциальных уравнений, порождающих траекторию в трехмерном пространстве координат (x, y, z) [10]. Цикличность ЭКГ моделируется движением точки в плоскости (x, y) по траектории переменной длины, а информативные фрагменты каждого цикла моделируются движением отображающей точки в направлении z .

Следует, однако, заметить, что авторы работы [10] предусмотрели лишь моделирование равномерных изменений продолжительностей циклов, в то время как на реальных ЭКГ при изменении частоты сердечных сокращений (ЧСС) происходят неодинаковые изменения протяженности отдельных фрагментов. Например, продолжительность комплекса QRS в меньшей степени связана с изменением ЧСС, чем продолжительности зубцов P и T .

Таким образом, для корректного решения задач математического моделирования актуальным является усовершенствование известных моделей порождения искусственных ЭКГ.

Цель статьи – разработать математическую модель порождения искусственной ЭКГ, наиболее полно описывающую сигналы, которые наблюдаются в реальных условиях, и на основе этой модели исследовать взаимосвязь диагностических признаков ЭКГ при ее традиционном представлении во временной области $Z(t)$ и в координатах $Z(t) - \dot{Z}(t)$.

Математическая модель генерации искусственной ЭКГ. На основании аналитического решения одного из дифференциальных уравнений, рассмотренного в работе [10] с использованием приема, описанного в [6], разработана генеративная модель порождения искусственной ЭКГ в виде

$$Z_m(t) = \sum_{i \in \{P, Q, R, S, ST, T\}} \tilde{A}_i[m] \cdot \exp\left[-\frac{(t - \tilde{\mu}_i[m])^2}{2(\tilde{b}_i[m])^2}\right] + h(t), \quad m = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{A}_i[m] &= A_i \cdot (1 + \alpha_i[m]), \\ \tilde{\mu}_i[m] &= \mu_i \cdot (1 + \delta_i[m]), \\ \tilde{b}_i[m] &= \begin{cases} b_i^{(1)} \cdot (1 + \varepsilon_i^{(1)}[m]), & \text{при } t \leq \mu_i[m], \\ b_i^{(2)} \cdot (1 + \varepsilon_i^{(2)}[m]), & \text{при } t > \mu_i[m]. \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры A_i и μ_i определяют амплитуды и моменты времени, когда i -й информативный фрагмент эталона принимает экстремальное значение, а параметры $b_i^{(1)}$ и $b_i^{(2)}$ при $b_i^{(1)} \neq b_i^{(2)}$ позволяют генерировать несимметричные информативные фрагменты, в том числе, моделировать симметризацию зубца T под действием нагрузок, что, как показано в работе [1], несет дополнительную диагностическую ценность при выявлении начальных признаков ишемической болезни сердца.

Внутренние возмущения моделируются случайными искажениями параметров $\tilde{A}_i$, $\tilde{\mu}_i$ и $\tilde{b}_i[m]$, для определения которых используются последовательности реализаций независимых одинаково распределенных случайных величин $\alpha_i[m]$, $\delta_i[m]$, $\varepsilon_i^{(1)}[m]$, $\varepsilon_i^{(2)}[m]$ с нулевыми математическими ожиданиями и ограниченными дисперсиями, а внешние возмущения моделирует аддитивная функция $h(t)$.

Доказано, что функция $Z(t)$ и ее производная $\dot{Z}(t)$ непрерывны во всех точках области определения, в том числе, в точках $t = \mu_i$ разрыва функций $b_i(t)$, а значит предложенная математическая модель (1), (2) позволяет порождать реалистические искусственные ЭКГ не только во временной области, но и в фазовых координатах $Z(t) - \dot{Z}(t)$.

На основе модели (1), (2) создан программный генератор, который позволяет формировать последовательность дискретных значений искусственной ЭКГ с заданными амплитудно-временными параметрами информативных фрагментов эталона и требуемой степенью искажения

этих параметров. Предусмотрено также моделирование частотных и ограниченных по уровню случайных внешних помех, а также генерация ЭКГ с дрейфом изолинии, экстрасистолами и артефактами.

Результаты моделирования ЭКГ во временной области и в фазовом пространстве. На рис. 1 показаны примеры искусственных ЭКГ, сгенерированных моделью (1), (2), которые опытные кардиологи признавали реальными.



Рис. 1. Примеры искусственных ЭКГ во временной области:
(а) – синусовая тахикардия; (б) – дрейф изолинии; (в) – частотные помехи;
(г) – депрессия сегмента ST, мышечный тремор

Модельные эксперименты еще раз подтвердили, что некоторые традиционные диагностические признаки более выразительно проявляются на фазовом портрете ЭКГ (рис. 2).

Эксперименты также показали, что угол W ориентации фазового портрета главным образом определяется соотношением амплитуд зубцов Q и S (рис. 3), причем статистическую зависимость между этими параметрами с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,986$ описывает уравнение регрессии $W = 200,85e^{-0,7928\rho}$, где $\rho = Q/S$.

Аналогичные эксперименты были проведены для исследования взаимосвязи диагностического признака β_T фазового портрета с параметрами $b_T^{(1)}$ и $b_T^{(2)}$ модели (1), (2). Построенная статистическая зависимость с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,993$ описывается степенной функцией $\beta_T = 1,0082\eta^{-0,4248}$, где $\eta = b_T^{(1)}/b_T^{(2)}$.

Установлено также, что с коэффициентом корреляции $r = 0,997$ параметр D фазового портрета связан с ограничением ε_0 , налагаемым

на искажение амплитуд зубца R модели (1), (2), и эта зависимость может быть описана линейным уравнением регрессии $D = 47,841\varepsilon_0 - 1,3172$.



Рис. 2. Искусственные ЭКГ и соответствующие им фазовые портреты: (а) – нормальная ЭКГ; (б) – патологический зубец Q ; (в) – отрицательный зубец T ; (г) – депрессия сегмента ST ; (д) – элевация сегмента ST

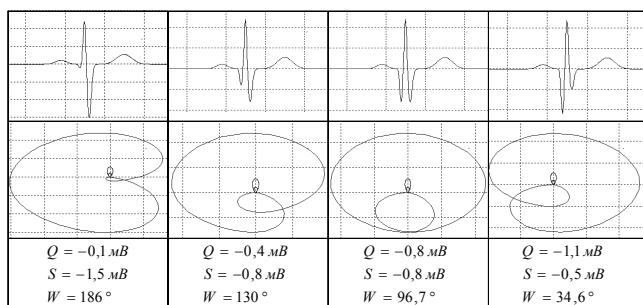


Рис. 3. Взаимосвязь угла ориентации W с амплитудами Q и S

Выводы. Математическая модель (1), (2) позволяет генерировать искусственные ЭКГ с заданными амплитудно-временными характеристиками информативных фрагментов, которые практически не отличаются от реальных ЭКГ, наблюдаемых в условиях внутренних и внешних возмущений. Проведенные исследования с применением искусственно сгенерированных ЭКГ позволили установить тесную статистическую связь между диагностическими признаками фазового портрета и параметрами сигнала, представленного во временной области.

Список литературы: 1. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ® – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца / Л.С. Файнзильберг // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22-30. 2. Вайсман М.В. Алгоритм синтеза имитационных электрокардиосигналов для испытания цифровых электрокардиографов / М.В. Вайсман, Д.А. Прилуцкий, С.В. Селищев // Электроника. – 2000. – № 4. – С. 21-24. 3. Ладаев Д.А., Моделирование ЭКГ-сигнала / Д.А. Ладаев, С.А. Федосин // Информационные технологии моделирования и управления. – 2006. – № 6 (31). – С. 702-709. 4. Белоцерковский О.М. Способ кодирования данных ЭКГ в модели контурного и динамического анализа ЭКГ / О.М. Белоцерковский, А.В. Виноградов, Э.Э. Галатян, А.С. Тарасов, С.В. Шебко // Компьютер и мозг. Новые технологии. – М.: Наука, – 2005. – С. 241-255. 5. Никифоров П.Л. Модель электрокардиографического сигнала на основе совокупности колокольных импульсов / П.Л. Никифоров // Вестник молодых ученых. Сер. Техн. наук (Ru). – 1998. – № 1. – С. 64-68. 6. Абрамов М.В. Аппроксимации экспонентами временного кардиологического ряда на основе ЭКГ / М.В. Абрамов // Вестник кибернетики. – Тюмень: ИПСО СО РАН. – 2010. – № 9. – С. 85-91. 7. Пупин В.В. Анализ динамических моделей и реконструкций ЭКГ при воздействии космо- и геофизических факторов / В.В. Пупин, М.В. Рагульская, С.М. Чибисов // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. – № 5. – С. 17-24. 8. Файнзильберг Л.С. Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве / Л.С. Файнзильберг // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2004. – № 1. – С. 32-46. 9. Predescu D. Microvolt T wave alternans (MTWA) – a new non-invasive predictor of sudden cardiac death. / D. Predescu, P. Mitrut, A. Giuca // Romanian Journal of Internal Medicine. – 2004. – Vol. 42. – № 3. – P. 647-656. 10. McSharry P.E. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals / P.E. McSharry, G. Clifford, L. Tarassenko, L.A. Smith // IEEE Transaction On biomedical Engineering. – 2003. – № 3. – P. 289-294.

УДК 61.007+004.932.72

Застосування математичного моделювання у дослідженні нового методу медичної діагностики / Файнзильберг Л.С., Беклер Т.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 183 – 188.

У роботі розглядаються результати дослідження методу аналізу електрокардіограми (ЕКГ) у фазовому просторі на основі оригінальної математичної моделі породження сигналу в умовах внутрішніх та зовнішніх збурень. Отримано залежності між характеристиками фазового портрету ЕКГ та параметрами ЕКГ у часовому просторі. Іл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: фазовий портрет електрокардіограми, модель породження сигналу.

UDC 61.007+004.932.72

Using of mathematical modeling in the study of a new medical diagnostic technique / Fainzilberg L.S., Bekler T.J. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 183 – 188.

In paper the results of study of method of analyzing electrocardiogram (ECG) in the phase space based on the original mathematical model of signal generation under conditions of internal and external disturbances are considered. Dependencies between the characteristics of the phase portrait of the ECG and ECG parameters in time domain are received. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Keywords: phase portrait of electrocardiogram, model of signal generation.

Поступила в редакцію 15.06.2011

Б.А. ХУДАЯРОВ, д.т.н., Ташкентский институт ирригации и мелиорации, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
З.У. ЮЛДАШЕВ, ст. преп. Ташкентский институт ирригации и мелиорации, г. Ташкент, Республика Узбекистан

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЗАДАЧИ О КОЛЕБАНИЯХ ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Исследуется задача о флаттере вязкоупругих пластин типа параллелограмма, обтекаемых потоком газа. Разработаны методика и алгоритм численного решения интегро-дифференциальных уравнений. Приведены результаты расчетов критической скорости флаттера. Ил.: 4. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: флаттер, вязкоупругий элемент, алгоритм, интегро-дифференциальное уравнение.

Постановка проблемы и анализ литературы. В последние годы большое внимание уделяется задаче о колебаниях пластин и оболочек, обтекаемых в сверхзвуковом потоке газа. Эти задачи представляют интерес в связи с вибрацией обшивки современных летательных аппаратов. Большинство работ было посвящено исследованию флаттера канонических элементов (прямоугольных пластин и панелей) летательного аппарата, обтекаемых в потоке газа. Однако, некоторые элементы обшивки летательных аппаратов имеют форму параллелограмма или трапеции. Теоретических исследований задачи о колебаниях пластин в форме параллелограмма или трапеции в потоке газа очень мало.

Проблемы алгоритмизации задачи механики сплошных сред изучены в работах А.Ф. Верляня [1, 2], Г.Е. Пухова [3], В.К. Кабулова [4], Ф. Бадалова и Х. Эшматова [5] и других. Вопросы разработки и реализации на ЭВМ алгоритмов решения нестационарных задач аэроупругости при дозвуковых скоростях полета рассмотрены в работе [6]. Разработаны экономичные алгоритмы приведения к нормальному виду и решения уравнений аэроупругости при учете большого количества форм собственных колебаний, полученных из уравнений динамики полета и колебаний упругой конструкции летательного аппарата в линейной постановке методом разложения по формам колебаний.

Однако, несмотря на имеющиеся в этой области исследования ряда авторов, до настоящего времени не было научных работ, где были бы разработаны методы и эффективные численные алгоритмы для решения нелинейных интегро-дифференциальных уравнений (ИДУ) динамических

задач вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций с сингулярными ядрами, а также не разработан комплекс прикладных программ.

Цель данной работы – разработать методы и численные алгоритмы для решения нелинейных задач о флаттере вязкоупругих элементов летательного аппарата. Для вычисления критической скорости флаттера предлагается численный метод и алгоритм решение нелинейных ИДУ с сингулярными ядрами. На основе разработанного вычислительного алгоритма создан комплекс прикладных программ.

Рассмотрим вязкоупругую пластину типа параллелограмма, обтекаемую в потоке газа со скоростью V . Аэродинамическое давление учитываем по поршневой теории А.А. Ильюшина [1]. Форма и размеры пластины показаны на рис. 1 а. Степень ее отклонения от прямоугольной пластины характеризуется углом γ [2]. С помощью следующего преобразования

$$\xi = x, \quad \eta = y - \theta x, \quad \theta = \tan \gamma$$

параллелограмм с областью G и границей Γ на плоскости (x, y) отображается на прямоугольную область G_0 с границей Γ_0 на плоскости (ξ, η) (рис. 1 б). В дальнейшем параметр θ примем в качестве параметра, характеризующего отклонение параллелограммной пластины от канонической прямоугольной.

Уравнения движения вязкоупругих пластин типа параллелограмма в потоке газа имеют вид

$$\begin{aligned} D(1-R^*) \left\{ \frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} - 4\theta \frac{\partial^4 w}{\partial \xi^3 \partial \eta} + 2(1+3\theta^2) \frac{\partial^4 w}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} - \right. \\ \left. - 4\theta(1+\theta^2) \frac{\partial^4 w}{\partial \xi \partial \eta^3} + (1+\theta^2)^2 \frac{\partial^4 w}{\partial \eta^4} \right\} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + B \frac{\partial w}{\partial t} + \\ + BV \left(\frac{\partial w}{\partial \xi} - \theta \frac{\partial w}{\partial \eta} \right) + B_1 V^2 \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \xi} \right)^2 - 2\theta \frac{\partial w}{\partial \eta} \frac{\partial w}{\partial \xi} + \theta^2 \left(\frac{\partial w}{\partial \eta} \right)^2 \right] = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – жесткость при изгибе; h – толщина

пластинки; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; ρ – плотность материала; $B = \frac{\aleph p_\infty}{V_\infty}$, $B_1 = \frac{\aleph(\aleph+1)p_\infty}{4V_\infty^2}$, $\aleph$ – показатель

политропы газа; p_∞, V_∞ – соответственно давление и скорость звука в невозмущенном потоке газа.

Представим перемещение $w(\xi, \eta, t)$ в виде разложения по функциям $\varphi_{nm}(\xi, \eta)$, удовлетворяющим соответствующим граничным условиям

$$w(\xi, \eta, t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^L w_{nm}(t) \varphi_{nm}(\xi, \eta), \quad (2)$$

где $w_{nm} = w_{nm}(t)$ – искомые функции времени.

Поставляя (2) в (1) и выполняя процедуру Бубнова-Галеркина для определения $w_{nm}(t)$ получим систему нелинейных интегродифференциальных уравнений Вольтерра в виде

$$\begin{aligned} \ddot{w}_{kl} + M_{\lambda_1} \dot{w}_{kl} + \Omega^2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^L \left\{ \left[n^4 + 2(1+3\theta^2)\lambda^2 n^2 m^2 + (1+\theta^2)^2 \lambda^4 m^4 \right] \delta_{nkml} + \right. \\ \left. + \frac{640\lambda nm}{\pi^2} \left[n^2 + (1+\theta^2)\lambda^2 m^2 \right] \gamma_{nkml} \right\} (1-R^*) w_{nm} + \\ + 4M^* M_{\lambda_1} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^L (n \gamma_{nk} \delta_{ml} - m \theta \delta_{nk} \gamma_{ml}) w_{nm} + \\ + M_1 M^{*2} \sum_{n,i}^N \sum_{m,j=1}^L \Gamma_{klnmij} w_{nm} w_{ij} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$w_{nm}(0) = w_{onm}, \quad \dot{w}_{nm}(0) = \dot{w}_{onm}, \quad k = \overline{1, N}; \quad l = \overline{1, L}.$$

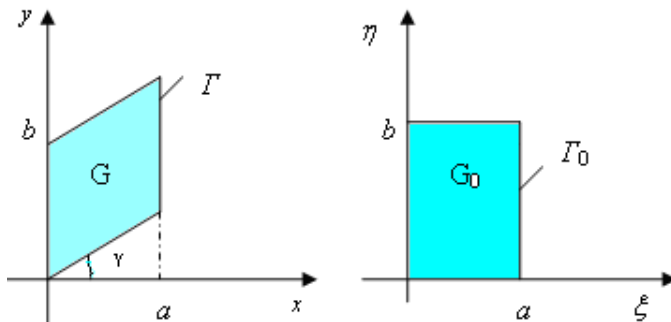


Рис 1. Геометрия пластинки.

Здесь

$$M_{\lambda_1} = \aleph \lambda_1 M_p^2; \quad \lambda_1 = \frac{a}{h}; \quad M_p^2 = \frac{p_\infty}{\rho V_\infty^2}; \quad \Omega^2 = \frac{\pi^4}{12(1-\mu^2)} M_E^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2;$$

$$M_E^2 = \frac{E}{\rho V_\infty^2}; \quad \lambda = \frac{a}{b}; \quad \delta_{nkml} = \delta_{nk} \delta_{ml}; \quad \gamma_{nkml} = \gamma_{nk} \gamma_{ml};$$

$$\delta_{nk} = \begin{cases} 1, & \text{если } n = k, \\ 0, & \text{если } n \neq k. \end{cases} \quad \gamma_{nk} = \begin{cases} \frac{k}{k^2 - n^2}, & \text{если } (k+n) \text{ нечетно,} \\ 0, & \text{если } (k+n) \text{ четно.} \end{cases}$$

$$\delta_{ml} = \begin{cases} 1, & \text{если } m = l, \\ 0, & \text{если } m \neq l. \end{cases} \quad \gamma_{ml} = \begin{cases} \frac{l}{l^2 - m^2}, & \text{если } (m+l) \text{ нечетно,} \\ 0, & \text{если } (m+l) \text{ четно.} \end{cases}$$

$$M_1 = \frac{\aleph(\aleph+1)}{4} M_p^2; \quad M^* = \frac{V}{V_\infty};$$

$$\Gamma_{k \ln mij} = 16ni \gamma_{1kni} \gamma_{2lmj} - \frac{\theta}{2} nm \pi \lambda \delta_{1nik} \delta_{2mj l} + 16\theta^2 m l \lambda^2 \gamma_{2kni} \gamma_{1lmj};$$

$$\gamma_{1kni} = \gamma_{k-n+i} + \gamma_{k+n-i} + \gamma_{k-n-i} + \gamma_{k+n+i};$$

$$\gamma_{2lmj} = \gamma_{l-m+j} + \gamma_{l+m-j} - \gamma_{l-m-j} - \gamma_{l+m+j};$$

$$\delta_{1nik} = \delta_{n-i-k} - \delta_{n-i+k} + \delta_{n+i-k} - \delta_{n+i+k};$$

$$\delta_{2mj l} = \delta_{m-j+l} + \delta_{m+j-l} - \delta_{m-j-l} - \delta_{m+j+l};$$

$$\gamma_{2kni} = \gamma_{k-n+i} + \gamma_{k+n-i} - \gamma_{k-n-i} - \gamma_{k+n+i};$$

$$\gamma_{1lmj} = \gamma_{l-m+j} + \gamma_{l+m-j} + \gamma_{l-m-j} + \gamma_{l+m+j};$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{при } i = 0, \\ 0, & \text{при } i \neq 0. \end{cases} \quad \gamma_k = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } k - \text{нечетное,} \\ 0, & \text{если } k = 0 \text{ или четное.} \end{cases}$$

Интегрируя систему (3) два раза по t , запишем ее в интегральной форме. Полагая затем $t = t_p$, $t_p = p\Delta t$, $p = 1, 2, \dots$ ($\Delta t = \text{const}$ — шаг интерполяции) и заменяя интегралы некоторыми квадратурными формулами, для вычисления $w_{pnm} = w_{nm}(t_p)$, получим рекуррентную формулу

$$\begin{aligned}
w_{pkl} = & \frac{1}{1+A_p M_{\lambda_1}} \left\{ w_{okl} + (\dot{w}_{okl} + M_{\lambda_1} w_{okl}) t_p - \sum_{r=0}^{p-1} A_r \left\{ M_{\lambda_1} w_{rkl} + (t_p - t_r) \left[\Omega^2 \times \right. \right. \right. \\
& \times \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^L \left\{ \left[n^4 + 2(1+3\theta^2) \lambda^2 m^2 n^2 + (1+\theta^2)^2 \lambda^4 m^4 \right] \delta_{nkl} + \frac{64\theta \lambda n m}{\pi^2} \left[n^2 + (1+\theta^2) \lambda^2 m^2 \right] \times \right. \\
& \times \gamma_{nkl} \left. \right\} \left\{ w_{rnm} - \frac{A}{\alpha} \sum_{s=0}^r B_s \ell^{-\beta t_s} w_{r-s,nm} \right\} + 4M^* M_{\lambda_1} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^L (\gamma_{nk} \delta_{ml} n - \theta m \delta_{nk} \gamma_{ml}) w_{rnm} + \\
& + M_1 M^{\lambda_2} \sum_{n,i=1}^N \sum_{m,j=1}^L \Gamma_{klnmij} w_{rnm} w_{rij} \left. \right\} \Bigg\}, \quad p=1, 2, \dots, \quad k=\overline{1, N}; \quad l=\overline{1, L},
\end{aligned} \tag{4}$$

где A_p, B_s – коэффициенты квадратурной формулы трапеции; A – параметр вязкости; α – параметр сингулярности, определяемый экспериментом; β – параметр затухания.

Благодаря предложенному подходу в алгоритме для численного решения задачи в формуле (4) множитель $t_p - t_j$ при $j = p$ принимает нулевое значение, т.е. последнее слагаемое суммы равно нулю. Поэтому суммирование осуществляется от нуля до $p-1$ ($j = \overline{0, p-1}$).

Таким образом, согласно численного метода [3] относительно неизвестных получим систему линейных алгебраических уравнений. Для решения системы используется метод Гаусса.

В качестве критерия, определяющего критическую скорость флаттера, принимаем условие, что при этой скорости амплитуда колебаний изменяется по гармоническому закону (рис. 2).

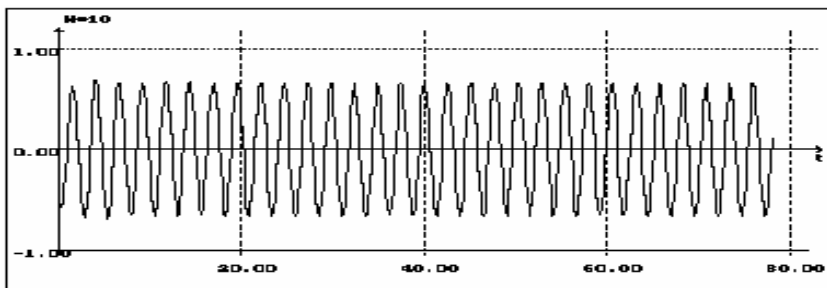


Рис. 2. Зависимость прогиба пластины от времени t при $V=V_{кр}$

При скорости $V > V_{кр}$ происходит колебательное движение с интенсивно нарастающими амплитудами, которое может привести к разрушению конструкции (рис. 3). В случае, когда скорость потока меньше критической $V < V_{кр}$, амплитуда колебаний пластинки затухает (рис. 4) [4].

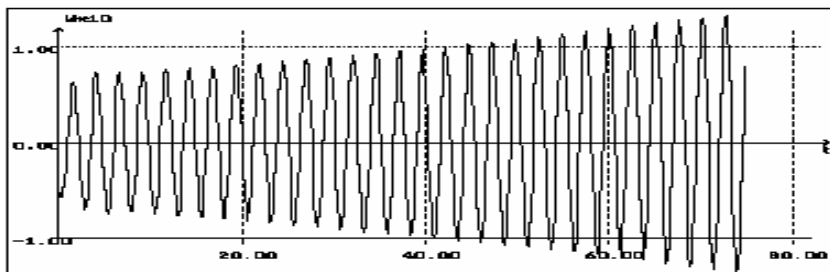


Рис. 3. Зависимость прогиба пластины от времени t при $V > V_{кр}$

Исследовалось влияние вязкоупругих свойств материала пластинки на критические значения скорости флаттера. Результаты вычислений, показывают, что решения упругих ($A = 0$) и вязкоупругих ($A > 0$) задач существенно различаются между собой. Например, при увеличении параметра A от нуля до значения 0,1 критическая скорость флаттера уменьшается на 45%.

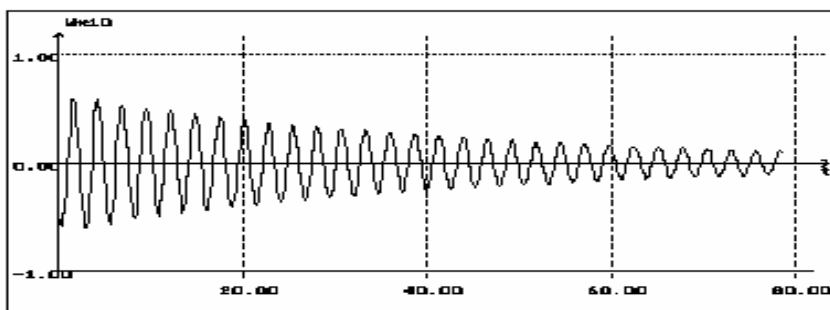


Рис. 4. Зависимость прогиба пластины от времени t при $V < V_{кр}$

Далее исследовано влияние параметра сингулярности α на критическую скорость флаттера. С увеличением параметра α эта скорость возрастает. Далее изучено влияние параметра затухания β на критические скорости флаттера пластинки. Влияние параметра β ядра

наследственности на скорость флаттера пластинки по сравнению с влиянием параметра вязкости A и сингулярности α незначительно.

Выводы. На основании полученных результатов можно заключить, что учет вязкоупругих свойств материала пластинки приводит к уменьшению критической скорости флаттера $V_{кр}$, с которой начинается явление флаттера.

Отметим также, что при скорости потока меньшей, чем $V_{кр}$, влияние вязкоупругого свойства материала уменьшает амплитуду и частоту колебаний. Если же скорость потока превышает $V_{кр}$, то вязкоупругое свойство материала оказывает уже дестабилизирующее влияние.

Список литературы: 1. Верлань А.Ф. Интегральные уравнения: Методы, алгоритмы, программы / А.Ф. Верлань, В.С. Сизиков. – К.: Наукова думка, 1986. – 543 с. 2. Верлань А.Ф. Численное решение нелинейных задач динамики вязкоупругих систем / А.Ф. Верлань, Х. Эшматов, Б. Худаяров, Ш.П. Бобоназаров // Электронное моделирование. – 2004. – Т. 26. – № 3. – С. 3–14. 3. Пухов Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т-преобразований / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1988. – 216 с. 4. Кабулов В.К. Проблемы алгоритмизации в теории вязкоупругости / В.К. Кабулов // Вопр. вычисл. и прикл. математики. – Ташкент. – 1996. – Вып. 102. – С. 4 – 18. 5. Бадалов Ф.Б. О некоторых методах решения систем интегродифференциальных уравнений, встречающихся в задачах вязкоупругости / Ф.Б. Бадалов, Х. Эшматов, М. Юсупов // Прикладная математика и механика. – 1987. – Т. 51. – № 5. – С. 867 – 871. 6. Буриев Т. О некоторых экономических алгоритмах решения задач нестационарной аэроупругости / Т. Буриев // Вопр. вычисл. и прикл. математики. – 1990. – № 88. – С. 32–48. 7. Ильюшин А.А. Закон плоских сечений в аэродинамике больших сверхзвуковых скоростей / А.А. Ильюшин // Прикладная математика и механика. – 1956. – Т. 20. – Вып. 6. – С. 733 – 753. 8. Григолюк Э.И. Проблемы нелинейного деформирования: Метод продолжения решения по параметру в нелинейных задачах механики твердого тела / Э.И. Григолюк, В.И. Шалашилин. – М.: Наука, 1988. – 232 с. 9. Худаяров Б.А. Математичне моделювання нелінійного флаттера в'язкопружних елементів літального апарату в надзвуковому потоці газу: автореф. дис. на здобуття наук. степеня д-ра техн.наук: 01.05.02 "Математичне моделювання та обчислювальні методи" / Б.А. Худаяров. – Київ, 2008. – 36 с.

УДК 539.3

Про один алгоритм рішення інтегро-диференціальних рівнянь завдання про колвання в'язкопружних елементів тонкостінних конструкцій // Б.А. Худаяров, З.У. Юлдашев // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 189 – 196.

Досліджується завдання про флаттер в'язкопружних пластин типу паралелограма, обтічних потоком газу. Розроблені методика і алгоритм чисельного рішення інтегро-диференціальних рівнянь. Приведені результати розрахунків критичної швидкості флаттеру. Іл.: 4. Бібліогр. 9 назв.

Ключові слова: флаттер, в'язкопружний елемент, алгоритм, інтегро-диференціальне рівняння.

UDC 539.3

About one algorithm of solution integro-differential equations tasks about vibrations of viscoelastic elements thin-walled constructions / B.A. Khudayarov, Z.U. Yuldashev

// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – №. 36. – P. 189 – 196.

The flutter of viscoelastic plates streamlined by a gas current are investigated. The method and algorithm for the numerical solution of integro-differential equations. The results of the flutter critical speed calculation have been given. Figs: 4. Refs.: 9 titles.

Keywords: flutter, visco-elastic elements, algorithm, integro-differential equations.

Поступила в редакцию 15.06.2011

Г.Ю. ЩЕРБАКОВА, к.т.н., доц. ОНПУ, г. Одесса,

В.Н. КРЫЛОВ, д.т.н., проф. ОНПУ, г. Одесса,

О.В. ЛОГВИНОВ, к.т.н., доц. ОНПУ, г. Одесса

МУЛЬТИСТАРТОВЫЙ СУБГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Разработан и исследован мультистартовый субградиентный метод оптимизации в нестационарных условиях. Этот метод позволяет повысить помехоустойчивость и точность при низкой чувствительности к локальным экстремумам в процедурах принятия решений технического диагностирования в нестационарных условиях. Библиогр.: 21 назв.

Ключевые слова: субградиентный метод, оптимизация, нестационарные условия.

Постановка проблемы. При автоматизации технического диагностирования (ТД) необходимы методы, позволяющие повысить помехоустойчивость и снизить погрешность вычислительных процедур на базе оптимизации функционала качества с минимумом, дрейфующим под действием производственных факторов и времени t [1 – 3]

$$J(\mathbf{c}, t) = M_x \{Q(\mathbf{x}, \mathbf{c}, t)\}, \quad (1)$$

где $J(\mathbf{c}, t)$ – критерий качества; $Q(\mathbf{x}, \mathbf{c}, t)$ – функционал вектора $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_N)$; $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_M)$ – вектор случайных возмущений [4, 5].

Анализ литературы. Методы оптимизации в условиях дрейфа отличаются либо низкой помехоустойчивостью – итеративные регулярные методы, либо высокими помехоустойчивостью и погрешностью – субградиентные методы [6 – 11], реализуемые по схеме

$$c[n+1] = c[n] - \gamma[n]g(c[n]), \quad (2)$$

где $c[n]$ – координата экстремума на итерации n ; $g(c[n])$ – оценка субградиента; $\gamma[n]$ – шаг.

При ТД функционалы качества из-за условий формирования могут обладать многоэкстремальной поверхностью, потому для их оптимизации используют субградиентные методы. По реализации пробных шагов оценки субградиента различают детерминированные и стохастические методы с противоречивыми особенностями [6 – 13]. У детерминированных – высокая помехоустойчивость, переходя к усредненному функционалу от многоэкстремального, они сводят оптимизацию к одноэкстремальной, снижая точность [7]. У

стохастических методов ниже помехоустойчивость и скорость сходимости [14, 15]. Поэтому в качестве базового метода выбран метод оптимизации с повышенной помехоустойчивостью и пониженной погрешностью, разработанный авторами для стационарных условий [5]. На основе этого метода предложен метод оптимизации в нестационарных условиях.

Цель работы – разработка и исследование мультистартового субградиентного метода оптимизации в нестационарных условиях для повышения помехоустойчивости и снижения погрешности процедур оптимизации в ТД.

Метод оптимизации. Для ТД в стационарных условиях авторами предложен метод оптимизации с итерационной схемой [4, 5, 16, 17]

$$c[n] = c[n-1] - \gamma[n] \sum_{m=1}^{s_\alpha} \alpha_m[n] \tilde{\nabla}_{c_-^+} Q(x[n], c[n-1], a[n-m]). \quad (3)$$

Здесь $\sum_{m=1}^{s_\alpha} \alpha_m[n] \tilde{\nabla}_{c_-^+} Q(x[n], c[n-1], a[n-m])$ – ВП реализации $Q(x, c)$ по $c_i, i=1, \dots, N$; $\alpha_m[n], m=1, \dots, s_\alpha$ – компоненты вектора $\alpha[n]$ после дискретизации вейвлет-функции (ВФ).

Сначала для оценки субградиента используют свертку функционала с ВФ Хаара в окрестности, определяемой длиной ее носителя N . Это (из-за асимметрии функционала) позволяет достичь экстремума с погрешностью, для снижения которой при оценке субградиента используют взвешенную сумму с ВФ $\Psi(i) = \frac{1}{\alpha x}$, регуляризованной по лифтинговой схеме [18], с начальной точкой, определенной на предыдущем этапе. Если координата минимума отличается от результата предыдущего этапа не более чем на δ , поиск заканчивается, иначе – масштаб α увеличивается на 1. Таким образом, от оптимизации с помощью ВФ Хаара, обеспечивающей помехоустойчивость, переходят к оптимизации с помощью дифференциатора, обеспечивающего высокую точность (если $\alpha \rightarrow \infty$, то $\frac{1}{\alpha x}$ стремится к дифференциатору). На основе этого метода разработан метод оптимизации в нестационарных условиях, когда минимизируется функционал (1), тогда для искомого вектора $c^*[n]$

$$\mathbf{c}^*[n] = U(n, n-1, \dots, n-k, \mathbf{c}^*[n-1], \dots, \mathbf{c}^*[n-k]), \quad (4)$$

где U – нелинейное преобразование, определяющее характер "дрейфа", $l = 0, \dots, k$ – количество $\mathbf{c}^*[n-l]$, учитываемых при его определении. При дрейфе экстремума (1), когда траектория растет не быстрее линейной, что часто в ТД [19], получим из (5) соотношения (6) и (7), которые с ростом n приближаются к (8) [4, 20], откуда с учетом (4) и (8), получим (9). Здесь a_0 – неизвестная постоянная, $\Gamma_\Phi[n]$ – диагональная матрица.

$$\mathbf{c}^*[n] = a_1 n + a_0; \quad (5)$$

$$\mathbf{c}^*[n] = (1 + \frac{1}{n-1})\mathbf{c}^*[n-1] - \frac{a_0}{n-1}; \quad (6)$$

$$\mathbf{c}^*[n] = U(n, n-1, \mathbf{c}^*[n-1]) - \frac{a_0}{n-1}; \quad (7)$$

$$\mathbf{c}^*[n] = U(n, n-1, \mathbf{c}^*[n-1]); \quad (8)$$

$$\mathbf{c}[n] = U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1]) - \Gamma_\Phi[n] \tilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1]), n). \quad (9)$$

Таким образом, (9) позволяет проводить поиск оптимума в нестационарных условиях при ограниченной траектории $\|\mathbf{c}^*[n]\| \leq A < \infty$ при всех n . Для доказательства, что при $n \rightarrow \infty$ (9) сходится в среднеквадратическом, то есть $\varepsilon^2[n] = M\|\mathbf{c}[n] - \mathbf{c}^*[n]\|^2$, предположим, что существует оператор U (10) такой, что преобразование U удовлетворяет свойствам полугруппы (например, траектория дрейфа описывается обыкновенным дифференциальным уравнением [10])

$$\mathbf{c}^*(t) = U(t, t_0, \mathbf{c}^*(t_0)). \quad (10)$$

При доказательстве используем лемму [4], где $\sum_{n=1}^{\infty} b_n = \infty$, $0 < b_n < 1$,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W_n = W, \quad \text{и} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n b_k \prod_{l=k+1}^n (1-b_l) W_k = W \quad \text{где} \quad b_n, \quad W_n \quad -$$

последовательности действительных чисел и $\prod_{l=k+1}^n (1-b_l) = 1$, и предположим, что элементы матрицы $\Gamma[n]$ равны $\gamma[n]$, тогда

$$\mathbf{c}[n] = U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1]) - \gamma[n] \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1], n)). \quad (11)$$

Теорема. Пусть выполнены условия:

1. $\mathbf{x}[n]$ – независимые случайные векторные величины.

$$2. M \left\{ \left\| \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], \mathbf{c}, n) - M \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], \mathbf{c}, n) \right\|^2 / \mathbf{c} \right\} \leq \sigma_1^2[n] + \sigma_2^2[n] \left\| \mathbf{c} - \mathbf{c}^*[n] \right\|^2,$$

где $\sigma_1^2[n]$ и $\sigma_2^2[n]$ дисперсии аддитивных и мультипликативных помех.

$$3. \left\| M \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], \mathbf{c}, n) \right\|^2 \leq S^2[n] \left\| \mathbf{c} - \mathbf{c}^*[n] \right\|^2.$$

$$4. \alpha[n] \leq \frac{\left\| U(n, n-1, \mathbf{c}) - U(n, n-1, \mathbf{c}^*[n]) \right\|}{\left\| \mathbf{c} - \mathbf{c}^*[n] \right\|} - 1 \leq \beta[n].$$

$$5. (\mathbf{c} - \mathbf{c}^*[n], M \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], \mathbf{c}, n)) \geq s[n] \left\| \mathbf{c} - \mathbf{c}^*[n] \right\|^2, \quad s[n] > 0.$$

$$6. 0 < b[n] = 1 - (1 + \beta[n])^2 + 2\gamma[n]s[n](1 + \alpha[n]) - \gamma^2[n](1 + \beta^2[n])(S^2[n] + \sigma_2^2[n]) < 1.$$

$$7. \sum_{n=1}^{\infty} b[n] = \infty. \quad 8. W[n] = \frac{\gamma^2[n]\sigma_1^2[n]}{b[n]} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

$$9. \varepsilon^2[0] = M \left\| \mathbf{c}[0] - \mathbf{c}^*[0] \right\|^2 < \infty; \text{ тогда } M \left\| \mathbf{c}[n] - \mathbf{c}^*[n] \right\|^2 \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Доказательство. Из (10) и (11) согласно доказательству [4, 12]

$$\begin{aligned} \left\| \mathbf{c}[n] - \mathbf{c}^*[n] \right\|^2 &= \left\| U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1]) - U(n, n-1, \mathbf{c}^*[n-1]) \right\|^2 + \\ &+ \gamma^2[n] \left\| \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1], n)) \right\|^2 - 2\gamma[n] (U(n, n-1, \\ &\mathbf{c}[n-1]) - U(n, n-1, \mathbf{c}^*[n-1]), \widetilde{\nabla}_{\mathbf{c}^+} Q(\mathbf{x}[n], U(n, n-1, \mathbf{c}[n-1], n))). \end{aligned} \quad (12)$$

Тогда, с учетом условий 1 – 5 теоремы из (12) имеем:

$$\varepsilon^2[n] \leq ((1 + \beta[n])^2 - 2\gamma[n]s[n](1 + \alpha[n]) + \gamma^2[n](1 + \beta[n])^2(S^2[n] + \sigma_2^2[n]))\varepsilon^2[n-1] + \gamma^2[n]\sigma_1^2[n]; \quad (13)$$

$$b[n] = 1 - (1 + \beta[n])^2 + 2\gamma[n]s[n](1 + \alpha[n]) = \gamma^2[n](1 + \beta[n])^2(S^2[n] + \sigma_2^2[n]); \quad (14)$$

$$W[k] = \frac{\gamma^2[k]\sigma_1^2[k]}{b[k]}. \quad (15)$$

Итерируя (13) аналогично [4] с учетом условий **6 – 9** и леммы [4], получим утверждение теоремы. Для сходимости $\mathbf{c}[n] \rightarrow \mathbf{c}^*[n]$ с вероятностью 1 достаточно, чтобы $\sum_{n=1}^{\infty} \gamma^2[n]\sigma_1^2[n] < \infty$. Если вместо $\gamma[n]$ использовать $\Gamma[n]$, то, для справедливости теоремы, условия **6 – 8** должны выполняться для элементов $\Gamma[n]$, удовлетворяющих $\frac{\min \gamma_v[n]}{\gamma_v[n]} \rightarrow u_v$ при $n \rightarrow \infty$, где u_v – константы, такие, что $0 < u_v < 1$ для всех $v = 1, \dots, N$. Доказательство аналогично [4, 21].

Выводы. В работе исследована сходимость разработанного метода оптимизации в нестационарных условиях, позволяющего повысить точность и помехоустойчивость в процедурах принятия решений ТД [1].

Список литературы: 1. *Щербакова Г.Ю.* Статистический анализ технологических процессов на базе помехоустойчивой кластеризации в пространстве вейвлет-преобразования. / *Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов, С.Г. Антошук* // *Электромашинобудовання та електрообладнання*. – 2009. – Вип. 72. – С. 55–61. 2. *Щербакова Г.Ю.* Адаптивная кластеризация в пространстве вейвлет-преобразования / *Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов* // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 6 (40). – С. 123–127. 3. *Хейсин В.Е.* Итеративные процедуры минимизации в условиях дрейфа экстремума / *В.Е. Хейсин* // *Автоматика и телемеханика*. – 1976. – № 11. – С. 91–101. 4. *Цыпкин Я.З.* Алгоритмы адаптации и обучения в нестационарных условиях / *Я.З. Цыпкин, А.И. Каплинский, К.А. Ларионов* // *Техническая кибернетика*. – 1970. – № 5. – С. 9–20. 5. *Крылов В.Н.* Субградієнтний ітеративний метод оптимізації в просторі вейвлет-перетворення / *В.Н. Крылов, Г.Ю. Щербакова* // *Збірн. наук. праць Військ. ін-ту Київськ. нац. ун-ту ім.Т.Шевченка*. – 2008. – Вип. 12. – С. 56–60. 6. *Вахитов А.Т.* Нестационарная стохастическая оптимизация рандомизированными алгоритмами в случае бесконечной дисперсии неопределенностей / *А.Т. Вахитов* // *Стохастическая оптимизация в информатике*. – 2009. – Вып. 5. – С. 24–39. 7. *Катковник В.Я.* Линейные оценки и стохастические задачи оптимизации. – М.: Наука. – 1976. – 488 с. 8. *Катковник В.Я.* Динамическая стохастическая аппроксимация полиномиальных дрейфов / *В.Я. Катковник*,

В.Е. Хейсин // Автоматика и телемеханика. – 1979. – № 5. – С. 89–98. **9.** *Ермольев Ю.М.* О методе обобщенных стохастических градиентов и стохастических квазиэфферовских последовательностях / *Ю.М. Ермольев* // Кибернетика. – 1969. – № 2. – С. 73–83. **10.** *Мелешко В.И.* Динамическая оптимизация методом обобщенных квазиградиентов / *В.И. Мелешко* // Кибернетика. – 1975. – № 3. – С. 73–79. **11.** *Гупал А.М.* Метод оптимизации в нестационарных условиях / *А.М. Гупал* // Кибернетика. – 1974. – № 3. – С. 131–133. **12.** *Цыпкин Я.З.* Адаптация и обучение в автоматических системах / *Я.З. Цыпкин*. – М.: Наука, 1968. – 400 с. **13.** *Поляк Б.Т.* Оптимальные порядки точности поисковых алгоритмов стохастической оптимизации / *Б.Т. Поляк, А.Б. Цыбаков* // Проблемы передачи информации. – 1990. – Том. 26. – С. 45–53. **14.** *Поляк Б.Т.* Введение в оптимизацию / *Б.Т. Поляк*. – М.: Наука. – 1983. – 384 с. **15.** *Панченко Т.В.* Генетические алгоритмы // *Т.В. Панченко*. – Астрахань: Изд. дом "Астраханский ун-т". – 2007. – 87 с. **16.** *Щербакова Г.Ю.* Исследование сходимости мултистартового субградиентного метода оптимизации в пространстве вейвлет-преобразования / *Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов* // Наук. праці ДонНТУ. Сер. "Інформ., кіберн. і обчисл. техніка". – 2010. – Вип. 12 (165). – С. 162–168. **17.** *Полякова М.В.* Исследование субградиентного поискового метода адаптации в пространстве вейвлет-преобразования / *М.В. Полякова* // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2007. – Вып. 1 (27). – С. 207–213. **18.** *Krylov V.N.* Contour images segmentation in space of wavelet transform with the use of lifting / *V.N. Krylov, M.V. Polyakova* // Optical-electronic informatively-power technologies. – 2007. – Р. 48–58. **19.** *Недостун Л.А.* Технологические методы управления качеством радиоэлектронных измерительных устройств / *Л.А. Недостун, Е.Т. Удовиченко, Г.А. Шевцов*. – М.: Изд. станд., 1976. – 124 с. **20.** *Dupac V.* A dynamic stochastic approximation method / *V. Dupac* // The Ann. of Math. Stat.–1965. – V. 36. – № 6. – Р. 1695–1702. **21.** *Гладышев Е.Г.* О стохастической аппроксимации. / *Е.Г. Гладышев* // Теория вероятностей и ее применения. – 1965. – Т. 10. – Вып.2. – С. 27–31.

УДК 519.6:004.93

Мультистартовий субградієнтний метод оптимізації в нестационарних умовах / *Щербакова Г.Ю., Крылов В.М., Логвінов О.В.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 197 – 202.

Розроблено та досліджено мультистартовий субградієнтний метод оптимізації в нестационарних умовах, який дозволяє підвищити завадостійкість і точність при низькій чутливості до локальних екстремумів в процедурах прийняття рішень технічного діагностування в нестационарних умовах. Бібліогр.: 21 назв.

Ключові слова: субградієнтний метод, оптимізація, нестационарні умови.

UDC 519.6:004.93

Multi-starting sub-gradient optimization method under no stationary conditions / *Shcherbakova G. Yu., Krylov V.N., Logvinov O.V.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 197 – 202.

Multi-start sub-gradient optimization method under no stationary conditions is designed and investigated. This method allows noise stability raising, error, local extreme sensitiveness reducing in the procedures of the technical diagnostic under no stationary conditions. Refs.: 21 titles.

Key words: sub-gradient method, optimization, no stationary conditions.

Поступила в редакцию 16.06.2011

Содержание

Верлань А.Ф., Худаяров Б.А., Файзибоев Э.Ф., Юлдашев З.У. Вычислительный эксперимент в задаче о флаттере вязкоупругой пластины, обтекаемой под произвольным углом в потоке газа	4
Волченко Е.В. Сеточный подход к построению взвешенных обучающих выборок w-объектов в адаптивных системах распознавания	12
Белоусова О.В., Азархов О.Ю., Зленко С.М., Штофель Д.Х., Костішин С.В. Модель прогнозування ускладнень та управління реабілітаційним процесом у постінсультних хворих	23
Бурцев М.В., Поворозняк А.И. Построение иерархической структуры диагнозов для комбинированного решающего правила в компьютерных системах медицинской диагностики	29
Гофман Є.О., Олійник А.О., Субботін С.О. Синтез дерев рішень на основі вибірок даних з пропущеними значеннями	35
Дідик О.К., Мірошніченко М.С. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну	46
Дмитриенко В.Д., Гладких Т.В., Леонов С.Ю. Использование нейронной сети на основе K-значных нейронов для распознавания рисков сбоя	52
Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю., Нестеренко А.О. Математическая модель в форме бруновского для исследования и оптимизации электропривода с учетом параллельной работы двигателей	61
Дорош О.І., Кучмій Г.Л., Дорош Н.В. Методи створення індивідуальних інтерактивно-аналітичних систем для тривалого контролю та аналізу біомедичних показників	71
Заневский И.Ф. Компьютерная модель внутренней баллистики стрелы лука	78
Зацеркляний М.М., Узлов Д.Ю. Лінгвістичний процесор для пошуку та опрацювання кримінально значимої інформації в неструктурованих масивах	87
Крюк Ю.Е., Кунец И.Е. Математические методы моделирования в оптимизации радиационной защиты	95

Логунова О.С., Зарецкий М.В., Павлов В.В., Адельмурзин И.И. Система прогнозирования химического состава чугуна	101
Ломоносов Ю.В., Иванов В.Г., Любарский М.Г., Кошева Н.А., Гвозденко М.В., Мазниченко Н.И. Повышение вычислительной эффективности двухэтапного алгоритма сжатия символьных данных	107
Мацко И.И., Логунова О.С. Автоматизированная система принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки: методики улучшения и сегментации изображения непрерывно-литой заготовки	115
Николенко А.А., Бабилунга О.Ю., Зайковский В.Н. Локализация характерных фрагментов изображения на основе двумерных вейвлет-фильтров	122
Осадчий С.И., Вихрова Л.Г. Структурная идентификация в задаче линеаризации модели динамики продольного глассирования транца суперкавитационного объекта	128
Поворознюк Н.І., Білюба Д.П. Система моніторингу якості електроенергії	135
Ризун Н.О., Тараненко Ю.К. Теоретико-методологические основы эффективной организации заочно-дистанционного обучения в ВУЗЕ	140
Романов А.Ю. Оптимизация топологий сетей на кристалле	149
Семенов С.Г., Давыдов В.В. Динамическая модель информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета	156
Тагиев Б.Г., Ибрагимов Р.А., Свихнушин Н.М., Искендеров Насреддин Искендер Оглы. Автономная метеостанция на основе WXT520 и с телеметрией на GSM модеме	164
Телішевська А.В., Поворознюк А.І. Розробка інформаційної структури медичної бази даних	172
Тимашова Л.А., Козлова В.П., Леценко В.А., Морозова А.И., Таран Л.Ю. Повышение эффективности менеджерских решений в управлении предприятием с применением подходов, основанных на знаниях	176

Файнзильберг Л.С., Беклер Т.Ю. Применение математического моделирования в исследовании нового метода медицинской диагностики	183
Худаяров Б.А., Юлдашев З.У. Об одном алгоритме решения интегро-дифференциальных уравнений задачи о колебаниях вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций	189
Щербакова Г.Ю., Крылов В.Н., Логвинов О.В. Мультистартовый субградиентный метод оптимизации в нестационарных условиях ...	197

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

*Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Інформатика і моделювання
Випуск 36*

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.

Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.

Відповідальний за випуск Луньова В.М.

Дизайн та оформлення к.т.н. Гладких Т.В.

Обл.вид. № 131 – 11

Підп. до друку 04.10.2011 р. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Рарег.

Друк-ризוגрафія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8.

Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим.

Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"

Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Типографія "Цифровая печать"

61024 Україна, г. Харьков, ул. Культуры, 22