

# ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

УДК 681.5+519.7+519.8+004

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ».** Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Х. : НТУ «ХПІ», 2011. – № 35. – 112 с.

**Збірник наукових праць**

**Тематичний випуск «Системний аналіз,  
управління та інформаційні технології»**

**35'2011**

**Видання засноване Національним технічним університетом «ХПІ»  
у 2001 році**

**Держвидання**

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України  
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

## **КООРДИНАЦІЙНА РАДА:**

### **Голова**

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

### **Секретар**

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.;  
Є. І. Сокол, д-р техн. наук, проф.;  
Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.;  
Л. М. Бесов, д-р техн. наук, проф.;  
А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;  
Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;  
М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;  
А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;  
В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;  
В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;  
І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;  
В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.;  
Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;  
П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.;  
В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;  
С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;  
В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;  
В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;  
Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.;  
В. С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.;  
О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;  
В. І. Николаєнко, канд. іст. наук, проф.;  
П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;

В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;  
М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.;  
В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;  
Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;  
Ю. В. Тимофійєв, д-р техн. наук, проф.;  
М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

## **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

### **Відповідальний редактор**

М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.

### **Заст. відповідального редактора**

О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

### **Відповідальний секретар**

М. І. Безменов, канд. техн. наук, проф.

І. П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.;  
В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;  
О. Є. Єфімов, д-р техн. наук, проф.;  
І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.;  
В. П. Северин, д-р техн. наук, проф.;  
Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.;  
Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;  
Н. В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.;  
М. О. Ястребенецький, д-р техн. наук, проф.

### **АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:**

Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».  
Кафедра «Системний аналіз і управління»,  
тел. (057) 707-61-03, (057) 707-66-54.  
E-mail: [bezmenov@kpi.kharkov.ua](mailto:bezmenov@kpi.kharkov.ua)

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, студентами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для науковців, викладачів, аспірантів, студентів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, студентами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов.

**Друкуються за рішенням Вченої ради НТУ «ХПІ»,  
протокол № 8 від 02.09.2011 р.**

ISSN 2079-0023

© Національний технічний університет «ХПІ», 2011 р.

Харків НТУ «ХПІ» 2011

**В. П. СЕВЕРИН**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
**Н. Ю. СЕВЕРИНА**, ассистент НТУ «ХПИ»;  
**О. В. КОСОВСКАЯ**, студент НТУ «ХПИ»

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНОЙ АЭС И СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ МЕТОДАМИ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Побудовані математичні моделі систем автоматичного керування частотою обертання ротора парової турбіни енергоблоку АЕС з різними типами регуляторів. Представлені результати параметричного синтезу регуляторів, що отримані методами векторної оптимізації.

Построены математические модели систем автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины энергоблока АЭС с различными типами регуляторов. Представлены результаты параметрического синтеза регуляторов методами векторной оптимизации.

The mathematical models of automatic control systems for rotation frequency rotor of steam turbine of atomic power plant with different types of controllers are built. The results of parametric synthesis of controllers by vector optimization methods are presented.

**Введение.** Паровая турбина К-1000-60/1500 Харьковского ОАО «Турбоатом», которая эксплуатируется на энергоблоках АЭС, представляет одну из самых мощных отечественных паровых турбин с номинальным значением мощности 1000 МВт [1–3]. Для систем автоматического управления (САУ) паровыми турбинами АЭС актуальны задачи математического моделирования и синтеза параметров регуляторов [1, 2]. Важнейшая задача управления паровой турбиной заключается в стабилизации частоты вращения ротора, что обеспечивается САУ частотой (САУЧ). К САУЧ предъявляются многие требования по обеспечению технологической реализуемости, устойчивости, показателей качества, которые могут быть выполнены методами оптимизации векторных критериев качества [4–7].

Цель статьи состоит в представлении математических моделей САУЧ паровой турбины К-1000-1500/60 с различными типами регуляторов и результатов синтеза регуляторов методами векторной оптимизации.

**Математическое моделирование системы управления турбиной.** Структурная схема САУЧ представлена на рис. 1 и включает сумматор, регулятор частоты (РЧ), электрогидравлический следящий привод (ЭГСП), паровой тракт (ПТ), ротор турбины (РТ) и отрицательную обратную связь (ООС). На вход САУЧ подается задающее воздействие  $\varphi_0$  для частоты вращения ротора  $\varphi$ . Сумматор с помощью ООС формирует ошибку

$$e = \varphi_0 - \varphi. \quad (1)$$

На основании этой ошибки РЧ по заданному закону управления формирует управляющее воздействие  $u$ , которое подается в ЭГСП.

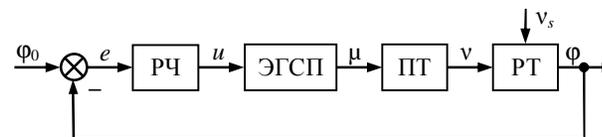


Рис. 1 – Структурная схема системы управления частотой

Электрогидравлический следящий привод усиливает управляющий сигнал по мощности и преобразует его в перемещение сервомотора  $\mu$ . Математическая модель следящего привода в пространстве состояний имеет вид системы дифференциальных уравнений (СДУ) [5]:

$$\frac{dX_D}{dt} = A_D X_D + B_D \mu, \quad \mu = C_D X_D, \quad (2)$$

где  $X_D$  — вектор состояния следящего привода;  $A_D$ ,  $B_D$  и  $C_D$  — матрицы со значениями постоянных параметров привода. Сервомотор перемещает клапан подачи пара высокого давления в паровую турбину. Математическая модель парового тракта турбины представлена в виде СДУ:

$$\frac{dX_t}{dt} = A_t X_t + B_t \mu, \quad v = C_t X_t, \quad (3)$$

где  $X_t$  — вектор состояния парового тракта, включающий переменные давления пара в четырех паровых емкостях турбины;  $A_t$ ,  $B_t$  и  $C_t$  — матрицы со значениями постоянных параметров парового тракта. В модели (3) выходной переменной является механическая мощность турбины  $v$ .

Дифференциальное уравнение движения ротора турбины принято в виде

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} = v - v_s,$$

где  $T_a$  — постоянная времени механической инерции,  $v_s$  — возмущающее воздействие нагрузки по мощности (см. рис. 1). Обозначая  $b_a = 1/T_a$ , перепишем это уравнение в форме Коши

$$\frac{d\varphi}{dt} = b_a (v - v_s). \quad (4)$$

Все переменные состояния моделей (2)–(4), а также их входные и выходные переменные соответствуют относительным значениям отклонений

реальных переменных состояния системы от их номинальных значений. Так номинальному значению частоты вращения ротора 25 Гц соответствует значение  $\varphi = 0$ , сбросу нагрузки в номинальном режиме мощности 1000 МВт до режима холостого хода отвечает установившееся значение  $v(\infty) = -1$ . Для исследования режима сброса нагрузки турбины в номинальном режиме положим  $\varphi_0 = 0$  и  $v_s = -1(t)$ . Объединяя СДУ следящего привода (2) и парового тракта (3) с уравнением ротора (4) и исключая промежуточные переменные состояния, получим математическую модель паровой турбины как объекта управления при сбросе нагрузки:

$$\frac{dX_T}{dt} = A_T X_T + B_{Tu} u + B_{Tv} v_s, \quad \varphi = C_T X_T, \quad (5)$$

где

$$X_T = \begin{pmatrix} X_D \\ X_I \\ \varphi \end{pmatrix}, \quad A_T = \begin{pmatrix} A_D & 0 & 0 \\ B_I C_D & A_I & 0 \\ 0 & b_a C_I & 0 \end{pmatrix}, \quad B_{Tu} = \begin{pmatrix} B_D \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad B_{Tv} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -b_a \end{pmatrix},$$

$$C_T = (0 \ 0 \ 1).$$

На основании выражения ошибки (1), уравнений пропорционального (П), интегрального (И) и дифференциального (Д) регуляторов, а также их различных комбинаций, модели турбины (5) построены математические модели САУЧ в пространстве состояний вида:

$$\frac{dX}{dt} = AX + Bv_s, \quad y = 100CX, \quad (6)$$

где  $y = 100\varphi$  — отклонение частоты от номинального значения в процентах.

Управляющее воздействие ПИ регулятора описывается уравнениями:

$$u_p = K_p e, \quad \frac{du_I}{dt} = \lambda_I e, \quad u = u_p + u_I,$$

где  $K_p$  — коэффициент пропорциональной составляющей;  $\lambda_I = 1/T_I$ ,  $T_I$  — постоянная времени интегратора. Объединяя эти уравнения с уравнением (1) и СДУ (5), получим модель САУЧ с ПИ регулятором частоты вида (6), где

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} A_T - B_{Tu} K_p C_T & B_{Tu} \\ -\lambda_I C_T & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} B_{Tv} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \ 0).$$

Порядок модели  $n = 20$ , вектор переменных параметров  $x = (K_p, \lambda_I)$ .

Уравнения ПИД регулятора имеют вид [5]:

$$u_p = K_p e, \quad \frac{du_I}{dt} = \lambda_I e, \quad \frac{dv_D}{dt} = -\lambda_D (v_D + K_D e), \quad u_D = v_D + K_D e, \quad u = u_p + u_I + u_D,$$

где  $\lambda_D = 1/T_D$ ,  $T_D$  и  $K_D = 10$  — постоянная времени и коэффициент передаточной функции реального дифференцирующего звена

$$W_D(s) = \frac{K_D T_D s}{T_D s + 1}.$$

Объединяя эти уравнения с уравнением (1) и СДУ (5), построим модель САУЧ с ПИД регулятором частоты вида (6), где

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \\ v_D \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} A_T - B_{Tu}(K_p + K_D)C_T & B_{Tu} & B_{Tu} \\ -\lambda_I C_T & 0 & 0 \\ \lambda_D K_D C_T & 0 & -\lambda_D \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} B_{Tv} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$C = (C_T \ 0 \ 0).$$

Порядок модели  $n = 21$ , вектор переменных  $x = (K_p, \lambda_I, \lambda_D)$ .

**Постановка задачи синтеза параметров регуляторов.** Синтез параметров САУЧ сводится к решению задачи оптимизации показателей качества при условиях технологической реализуемости и устойчивости САУ. Из переменных параметров РЧ  $K_p$ ,  $\lambda_I$  и  $\lambda_D$  сформируем вектор  $x \in R^p$ . Наложим на значения переменных параметров технологические ограничения:

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad a_i = 0, \quad b_i = 100, \quad i = \overline{1, p} \quad (7)$$

и в случае нарушения этих ограничений сформируем штрафную функцию

$$S(x) = \sum_{i=1}^p [\max\{0, a_i - x_i\} + \max\{0, x_i - b_i\}]. \quad (8)$$

Для матрицы  $A$  модели (6) определим характеристический многочлен

$$\alpha(x, s) = \sum_{i=0}^n \alpha_i(x) s^{n-i}. \quad (9)$$

В случае нарушения необходимых условий устойчивости

$$\alpha_i(x) > 0, \quad i = \overline{0, n} \quad (10)$$

сформируем штрафную функцию

$$P(x) = \sum_{i=0}^n \max\{0, -\alpha_i(x)\}. \quad (11)$$

При выполнении (10) по коэффициентам многочлена (9) вычислим элементы первого столбца таблицы Рауса  $\rho_k(x)$ ,  $k = \overline{2, n-1}$ . Допустимая область  $D$  реализуемых устойчивых САУЧ определяется условиями (7) и (10) совместно с достаточными условиями устойчивости критерия Рауса:

$$\rho_k(x) > 0, \quad k = \overline{2, n-1}. \quad (12)$$

В области  $D$  для оценки качества САУЧ применим прямые показатели качества (ППК): перерегулирование  $\sigma(x)$ , размах колебаний  $\zeta(x)$ , время регулирования  $t_c(x)$  и его относительное значение  $\tau(x) = t_c(x)/T_f$ , где  $T_f$  — время наблюдения переходного процесса [4, 5]. Задачу максимального быстродействия САУЧ поставим как задачу условной оптимизации

$$\min \tau(x), \quad x \in D, \quad \sigma(x) \leq \sigma_m, \quad \zeta(x) \leq \zeta_m, \quad (13)$$

где  $\sigma_m$  и  $\zeta_m$  — заданные предельно допустимые значения ППК. По техническим требованиям к САУЧ максимальное отклонение частоты от номинального значения не должно превышать 4 % при быстром затухании колебаний, поэтому положим  $\sigma_m = 4$  и  $\zeta_m = 1$ . По условиям задачи (12), (13) и штрафным функциям (8), (11) сформируем векторную целевую функцию [6]

$$F(x) = \begin{cases} (0; S(x)), & x \in H_0, \\ (1; P(x)), & x \in H_1, \\ (k; -\rho_k(x)), & x \in H_k, k = \overline{2, n-1}, \\ (n; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_n, \\ (n+1; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_{n+1}, \\ (n+2; \tau(x)), & x \in H_{n+2}, \end{cases} \quad (14)$$

где  $H_k$  — области уровней ограничений,  $k = \overline{0, n+2}$ . По определению эта функция учитывает ограничения переменных параметров, необходимые и достаточные условия устойчивости САУЧ и требования к ее ППК. Первая проекция  $F_1(x)$  векторной функции отображает количество выполненных ограничений задачи оптимизации и называется функцией уровня. Вторая проекция  $F_2(x)$  векторной функции представляет штраф первого нарушенного ограничения и называется функцией штрафа. Функцию уровня  $F_1(x)$  необходимо максимизировать, а функцию штрафа  $F_2(x)$  — минимизировать, причем приоритет имеет максимизация функции  $F_1(x)$ . Для

векторной оптимизации параметров РЧ целевую функцию (14) будем оптимизировать векторным методом адаптации шага при числе переменных  $p = 1$  или векторным методом Нелдера-Мида при  $p > 1$  [5–7].

**Результаты синтеза параметров регуляторов.** При вычислении ППК САУЧ заданы время интегрирования  $T_f = 20$  с, число шагов интегрирования  $L = 500$ , значение параметра зоны установившегося значения  $\delta_z = 0,1$  [5, 6]. Проведена оптимизация целевой функции (14) для САУЧ как систем стабилизации частоты с пропорциональным (П), интегральным (И), дифференциальным (Д) регуляторами и различными их комбинациями: ПИ, ПД, ИД и ПИД. САУЧ с И, Д и ИД РЧ не удовлетворяют техническим требованиям, так как для них отклонение частоты превышает 12 %. Результаты оптимизации параметров остальных регуляторов представлены в табл. 1, где для РЧ П (Р), ПИ (PI), ПД (PD) и ПИД (PID) даны оптимальные значения параметров  $K_p^*$ ,  $\lambda_I^*$ ,  $\lambda_D^*$ , а также соответствующие им значения проекций целевой функции (14)  $F_1^*$  и  $F_2^*$ , максимального отклонения  $\sigma^*$ , размаха колебаний  $\zeta^*$  и времени регулирования  $t_c^*$ .

Таблица 1 – Результаты оптимизации параметров регуляторов частоты

РЧ	$K_p^*$	$\lambda_I^*, \text{c}^{-1}$	$\lambda_D^*, \text{c}^{-1}$	$F_1^*$	$F_2^*$	$\sigma^*$	$\zeta^*$	$t_c^*, \text{c}$
Р	100	—	—	20	1,981	3,63	2,98	3,56
PI	100	26,5	—	22	0,260	3,51	1,00	5,19
PD	100	—	1,10	21	1,675	3,48	2,68	3,16
PID	100	31,5	1,10	23	0,175	3,36	0,76	3,50

Во всех экспериментах оптимальное значение коэффициента  $K_p^*$  достигло значения верхнего ограничения  $b_1 = 100$ , оптимальные значения  $\lambda_I^*$  и  $\lambda_D^*$  находятся внутри допустимой области изменения параметров. Значения  $F_1^*$  показывают, что в оптимальных точках для П и ПД регуляторов не выполнено ограничение на показатель колебательности, а для ПИ и ПИД регуляторов удовлетворены все ограничения. Максимальное отклонение частоты составило 3,63 % для САУЧ с П регулятором, а минимальное — 3,36 % для САУЧ с ПИД регулятором. Анализ данных табл. 1 показывает, что прямые показатели качества САУЧ с ПД регулятором лучше, чем ППК САУЧ с П регулятором, а ПИД регулятор предпочтительнее ПИ регулятора.

Переходные процессы отклонения частоты в процентах  $y$ , которые соответствуют данным табл. 1, представлены на рис. 2. Для САУЧ с П и ПД регуляторами  $y(\infty) = 1$ , а для САУЧ с ПИ и ПИД регуляторами  $y(\infty) = 0$ .

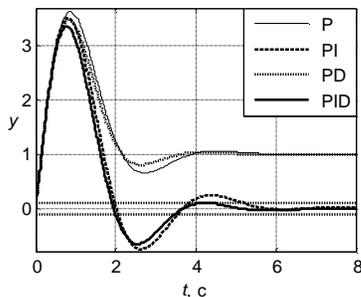


Рис. 2 – Процессы отклонения частоты

На основании проведенного анализа ППК и переходных процессов отклонения частоты можно сделать вывод, что при сбросе нагрузки наилучшим типом регулятора частоты является ПИД регулятор с оптимальными значениями параметров из табл. 1, обеспечивающий самый быстрый переходный процесс с наименьшим максимальным отклонением частоты и с плавным восстановлением ее номинального значения.

На рис. 3–6 на графиках проекций векторной функции (14) отображены лучшие точки процессов оптимизации переменных параметров ПИ и ПИД РЧ, полученные векторным методом Нелдера-Мида с начальным шагом  $\delta = 1$ , начальная точка отмечена кругом, а конечная — ромбом. Процесс оптимизации параметров ПИ регулятора, с переменными параметрами  $x_1 = K_p$  и  $x_2 = \lambda_I$  показан на рис. 3 и 4. В начальной точке  $x^{(0)} = (70; 10)$  функция уровня  $F_1(x^{(0)}) = 20$ , и из 22 ограничений задачи оптимизации не выполняется предпоследнее ограничение максимального отклонения (см. рис. 3). При этом  $F_2(x^{(0)}) = 0,347$  отображает штраф  $\Delta\sigma(x) = \sigma(x) - \sigma_m$  нарушенного ограничения (см. рис. 4). В начальной точке максимальное отклонение  $\sigma(x^{(0)}) = 4,347$ , показатель колебательности  $\zeta(x^{(0)}) = 0,887$ , время регулирования  $t_c(x^{(0)}) = 14,52$  с. Начался процесс оптимизации в области  $F_1(x) = 20$  минимизацией  $F_2(x) = \Delta\sigma(x)$ . Затем этот процесс перешел в соответствующую выполнению всех ограничений область с  $F_1(x) = 22$ , в которой проведена минимизация относительного значения времени регулирования  $F_2(x) = \tau(x)$ . На конечном этапе траектория поиска приблизилась к границе допустимой области по ограничению показателя колебательности с  $F_1(x) = 21$ , и была найдена оптимальная точка с наименьшим значением времени регулирования, соответствующая строке с РИ РЧ в табл. 1. По сравнению с начальной точкой в конечной точке помимо

уменьшения максимального отклонения частоты на 20 % время регулирования уменьшилось почти в 3 раза.

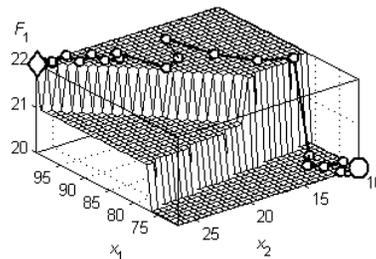


Рис. 3 – Функция уровня от параметров ПИ регулятора

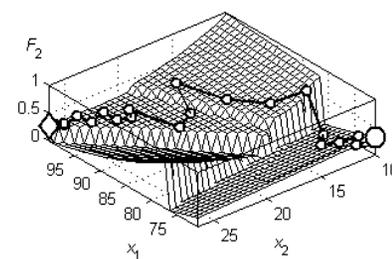


Рис. 4 – Функция штрафа от параметров ПИ регулятора

На основании рис. 3 и 4 проведем анализ изменения ППК в окрестности оптимальной точки  $x^* = (x_1^*, x_2^*) = (K_p^*, \lambda_I^*)$  с использованием функции (14). Оптимальное значение  $x_1^* = K_p^* = 100$  соответствует верхнему граничному значению, при уменьшении  $x_1$  и фиксированном значении  $x_2 = x_2^*$  увеличивается штраф  $\Delta\zeta(x) = \zeta(x) - \zeta_m$  нарушенного ограничения для размаха колебаний  $\zeta(x)$ . При  $x_1 = x_1^*$  и уменьшении  $x_2$  от значения  $x_2 = x_2^*$  увеличивается функция времени регулирования  $\tau(x)$ , а при увеличении  $x_2$  увеличивается  $\Delta\zeta(x)$ .

Процесс оптимизации параметров ПИД регулятора, соответствующий строке PID РЧ в табл. 1, с переменными параметрами  $x_1 = K_p$ ,  $x_2 = \lambda_I$  и фиксированным значением  $\lambda_D = 1,10$  с<sup>-1</sup> из табл. 1, показан на рис. 5 и 6.

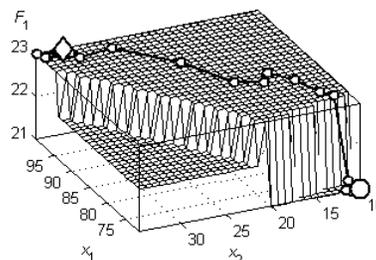


Рис. 5 – Функция уровня от параметров ПИД регулятора

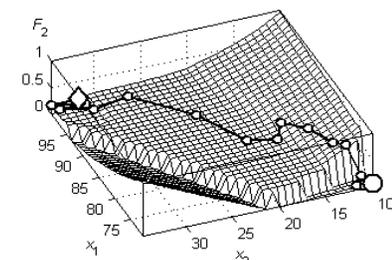


Рис. 6 – Функция штрафа от параметров ПИД регулятора

Этот процесс начался из той же начальной точки  $x^{(0)} = (70; 10)$  с  $F(x^{(0)}) = (21; 0,111)$ ,  $\sigma(x^{(0)}) = 4,111$ ,  $\zeta(x^{(0)}) = 0,394$ ,  $t_c(x^{(0)}) = 14,41с$  и проходил аналогично процессу оптимизации параметров ПИ регулятора. В окрестности оптимальной точки при уменьшении оптимального граничного значения  $K_p^* = 100$  время регулирования немного увеличивается, как и при изменении  $\lambda_I$ . По сравнению с начальной точкой в конечной точке максимальное отклонение частоты уменьшено на 18 %, а время регулирования снижено более чем в 4 раза.

Сравнение рис. 3 и 4 с рис. 5 и 6 показывает существенное расширение области выполнения всех ограничений с максимальным значением  $F_1(x)$  для ПИД регулятора по сравнению с ПИ регулятором. Приведенные на рис. 3–6 графики подтверждают, что для ПИ и ПИД РЧ найдены оптимальные точки, в которых векторная целевая функция (14) принимает оптимальные значения.

**Выводы.** На основании дифференциальных уравнений следящего привода, парового тракта и уравнения движения ротора турбины построена математическая модель паровой турбины К-1000-60/1500 в пространстве состояний как объекта автоматического управления частотой при сбросе нагрузки. Представлены математические модели систем автоматического управления частотой в пространстве состояний с различными типами регуляторов частоты, предназначенные для решения задач оптимизации параметров регуляторов. Поставлена и решена задача оптимизации прямых показателей качества для систем автоматического управления частотой. Результаты оптимизации векторной целевой функции для систем управления турбины К-1000-60/1500 показали, что самым эффективным типом регулятора частоты в режиме сброса нагрузки турбины является ПИД регулятор с оптимальными значениями параметров, обеспечивающий наиболее быстрый переходный процесс с наименьшим отклонением частоты.

**Список литературы:** 1. *Артюх С. Ф.* Основы автоматизированных систем управления энергогенерирующими установками электростанций / С. Ф. Артюх, М. А. Дуэль, И. Г. Шелепов. – Харьков : ООО «Знание LTD», 1998. – 332 с. 2. *Фрагин М. С.* Регулирование и маслоснабжение паровых турбин: настоящее и ближайшие перспективы. / М. С. Фрагин. – СПб.: Энерготех, 2005. – 248 с. 3. *Бабаев И. Н.* Расчет электрогидравлического следящего привода систем регулирования турбин малой мощности НПО «Турбоатом» / И. Н. Бабаев, П. М. Гладкий // Теплоэнергетика. – 1997. – № 3. – С. 36–40. 4. *Бесекерский В. А.* Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб. : Профессия, 2004. – 752 с. 5. *Северин В. П.* Модели та методи оптимізації показників якості систем автоматичного керування енергоблоку атомної електростанції : Автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.13.07 / В. П. Северин. – Харків : НТУ «ХПШ», 2007. – 35 с. 6. *Северин В. П.* Параметрический синтез систем управления методами векторной оптимизации / В. П. Северин // Техническая электродинамика. Тематический выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2008. Ч. 4. – С. 47–52. 7. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1975. – 536 с.

Надійшла до редколегії 08.03.2011

УДК 004.056.5

**И. И. БОБОК**, аспирант ОНПУ, г. Одесса;  
**А. А. КОБОЗЕВА**, д-р техн. наук, проф. ОНПУ, г. Одесса

## ОБЩИЙ СТЕГАНОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД, ОСНОВАННЫЙ НА МАТРИЧНОМ АНАЛИЗЕ

Работа посвящена одному из основных направлений стеганографии – стеганоанализу. Разработаны основы общего стеганоаналитического подхода, основным инструментом которого явился матричный анализ. Получены качественные характеристики сингулярных спектров матриц изображений, хранимых в различных форматах, позволяющие отделить незаполненный контейнер от стеганосообщения, сформированного на основе цифрового изображения, хранимого в формате с потерями

Работа присвячена одному з основних напрямків стеганографії – стеганоаналізу. Розроблені основи загального стеганоаналітичного підходу, основним інструментом якого є матричний аналіз. Отримані якісні характеристики сингулярних спектрів матриць зображень, які зберігаються в різних форматах, що дозволяють відокремити незаповнений контейнер від стеганоповідомлення, сформованого на основі цифрового зображення, збереженого у форматі з втратами

This work is dedicated to one of the main areas of steganography – steganalysis. Designed the fundamentals of general steganalysis approach the main tool of which was the matrix analysis. Obtained qualitative characteristics of the singular spectra of images stored in various formats that allows separating the blank container from a message, formed on the basis of a digital image stored in lossy formats

**Введение.** Террористические акты, произошедшие в мире за последние годы, привели к запрету шифрования на законодательном уровне во многих странах, что дало значительный толчок для разработок в области стеганографии [1, 2], где скрывается сам факт существования тайного сообщения. Отрицательным последствием упомянутого процесса активизации научной деятельности явился рост возможностей использования получаемых новых разработок различными антигосударственными структурами [3]. В силу этого чрезвычайно актуальным в настоящий момент является решение вопросов, связанных с повышением эффективности стеганоанализа (СА) [1].

Общей чертой стеганографических методов является то, что скрываемое сообщение, или дополнительная информация (ДИ), встраивается в некоторый безобидный, не привлекающий внимание объект – основное сообщение (ОС), или контейнер. В качестве ОС для определенности рассматривается цифровое изображение (ЦИ) в градациях серого. Процесс погружения ДИ в контейнер будем называть стеганообразованием (СП), а результат этого погружения – стеганосообщением (СС). После встраивания информации СС открыто транспортируется адресату по каналу связи или хранится в таком виде.

При всем многообразии имеющихся стеганоаналитических методов [3–6] общего подхода к проблеме СА (в смысле детектирования произведенного

внедрения секретной информации или вывода об отсутствии такого внедрения) до настоящего момента не существовало.

**Цель статьи и постановка исследований.** В [7, 8] разработан общий математический подход к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем (ОПАИС), в частности, систем защиты информации, основанный на теории возмущений и матричном анализе, в соответствии с которым произвольная информационная система, в том числе, стеганографическая система (или отдельно рассматриваемые контейнер, СС), формализуется в виде двумерной матрицы (конечного множества двумерных матриц). О результате преобразования информационной системы, ее свойства можно судить по характерным особенностям совокупности возмущений однозначно определяющих ее формальных параметров – сингулярных чисел (СНЧ) и сингулярных векторов (СНВ) соответствующей матрицы (матриц) [7, 8].

*Глобальной целью* авторов является разработка универсального метода СА – метода, не зависящего не только от области анализа ЦИ – пространственной или частотной, но и от конкретики стеганографического алгоритма, использованного при погружении ДИ, путем адаптации ОПАИС в область СА.

Глобальная цель приводит к следующей *глобальной задаче*: необходимо выявить такие характерные особенности СНЧ (СНВ) матриц незаполненного контейнера, которые качественно (и количественно) изменяются при любом даже малом возмущающем воздействии, в частности, при СП, что позволит отделить СС от ОС.

Очевидно, что искомые определяющие характеристики соответствующих матриц будут зависеть от формата, который используется для хранения ЦИ, главным образом, от того, происходят или нет потери информации при сохранении изображения в этом формате. Поскольку в настоящее время хранение и передача ЦИ по каналам телекоммуникаций осуществляется в сжатом состоянии, а одним из самых популярных форматов хранения является JPEG, то рассмотрим, в первую очередь, процесс СП на основе контейнера, хранящегося в формате JPEG (для определенности в качестве основы для JPEG выбрано дискретное косинусное преобразование (ДКП)).

*Целью* настоящей работы является создание теоретических основ метода СА, предусматривающего хранение ОС в формате с потерями, путем выявления качественных характерных особенностей СНЧ матриц JPEG-изображений до и после возмущающего воздействия – СП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- обеспечить универсальность разрабатываемого метода СА с точки зрения его независимости от области анализа ЦИ – пространственной или частотной;

- определить и обосновать качественные отличия СНЧ ЦИ, хранимого без потерь, от ЦИ, частотные коэффициенты которого подвергались операции квантования;
- выявить зависимость возмущений СНЧ матриц ЦИ от объема погружаемой информации;
- определить и обосновать качественные отличия множества СНЧ СС, сформированного на базе JPEG-контейнера, от множества СНЧ ОС.

**Независимость стеганоаналитического метода, основанного на анализе сингулярных чисел матрицы изображения, от анализируемой области изображения.** Говоря о СП, предполагаем, что результирующее возмущение прямоугольной матрицы  $F$  контейнера является малым. Такое ограничение вызвано требованием обеспечения надежности восприятия СС (зрительно СС не должно отличаться от контейнера), выдвигаемым при работе любого стеганографического метода.

Анализ состояния контейнера (СС), в частности, стеганоанализ, целесообразности свести к анализу только СНЧ, являющихся в соответствии с соотношением [9]

$$\max_{1 \leq j \leq n} |s_j(F) - s_j(F + \Delta F)| \leq \|\Delta F\|_2, \quad (1)$$

где  $s_j(F)$ ,  $s_j(F + \Delta F)$  – СНЧ матриц  $F$ ,  $F + \Delta F$  соответственно,  $\|\Delta F\|_2$  – спектральная норма [9] матрицы возмущения, нечувствительными к возмущающим воздействиям, поскольку реакция СНВ на возмущения различна, а в некоторых случаях – непредсказуема [9].

Покажем, что сведение СА к анализу совокупности СНЧ соответствующей матрицы (если такое сведение в итоге окажется возможным) позволит обеспечить независимость разрабатываемого метода от области, пространственной или частотной, анализируемого изображения.

Поскольку контейнер предполагается сохраненным в формате JPEG, который производит в процессе сжатия предварительное стандартное разбиение матрицы изображения на блоки  $8 \times 8$ , произведем такое же разбиение для  $F$ . Пусть  $F_B$  –  $8 \times 8$ -матрица произвольного блока исходного изображения, для которой строится сингулярное разложение [9]

$$F_B = U \Sigma V^T, \quad (2)$$

где  $U$ ,  $V$  – ортогональные  $8 \times 8$ -матрицы, столбцы которых – левые и правые СНВ матрицы  $F_B$  соответственно,  $\Sigma = \text{diag}(s_1, \dots, s_8)$ ,  $s_1 \geq \dots \geq s_8 \geq 0$  – СНЧ.

Пусть  $F_{DCT}$  – соответствующая  $F_B$  матрица коэффициентов ДКП. Тогда:

$$F_{DCT} = P F_B P^T, \quad (3)$$

где матрица  $P$  – ортогональная с элементами  $p_{ij}$ , определяемыми в соответствии с соотношением [10]:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{8}}, & i = 1, 1 \leq j \leq 8, \\ \frac{1}{2} \cos \frac{p(2j-1)(i-1)}{16}, & 2 \leq i \leq 8, 1 \leq j \leq 8 \end{cases}$$

Учитывая (2), формула (3) приобретает вид:

$$F_{DCT} = PU\Sigma V^T P^T = (PU)\Sigma(PV)^T \quad (4)$$

При этом, с учетом ортогональности матриц  $P, U, V$ , имеем:

$$(PU)(PU)^T = P U U^T P^T = I, \quad (PV)(PV)^T = P V V^T P^T = I,$$

где  $I$  – единичная  $8 \times 8$ -матрица, т.е. матрицы  $PU, PV$  – ортогональны,  $\Sigma$  – диагональная, а потому (4) является сингулярным разложением матрицы  $F_{DCT}$ , для которой, очевидно множество СНЧ совпадает с множеством СНЧ матрицы  $F_B$ .

Таким образом, возмущения (или отсутствие возмущений) СНЧ, являющиеся показателем проведенного СП (или его отсутствия), проявятся одинаково для ЦИ как в пространственной, так и в частотной области, независимо от того, в пространственной или частотной области производилось погружение ДИ.

**Качественные особенности сингулярных чисел матрицы изображения в различных форматах хранения.** Общая схема сжатия (с потерями) для ЦИ включает в числе обязательных шагов процесс квантования коэффициентов, полученных в частотной области после предварительного стандартного разбиения матрицы изображения на блоки [11]. Эта процедура является необратимой и приводит к некоторым закономерным особенностям СНЧ блоков. Если для ЦИ, хранимым без потерь, лишь малая часть общего числа блоков (ОЧБ) имеет нулевые СНЧ (в среднем – менее 3% [12]), то в том случае, когда для хранения ЦИ используется схема JPEG, после квантования коэффициентов ДКП и частичного восстановления (ЧВ) (т.е. восстановления, не предусматривающего округление яркости пикселей после «возвращения» изображения в пространственную область) у полученных матриц практически все блоки содержат нулевые СНЧ (в среднем таких блоков более 95 % от ОЧБ [12]). Полное восстановление (ПВ) (т.е. приведение значений яркости пикселей в диапазон целых значений от 0 до 255) возмутит матрицу ЦИ, полученную после ЧВ, определенным образом изменит количество нулевых СНЧ в блоках. В тех блоках, где после ЧВ не было элементов, значи-

тельно меньших 0 или больших 255 (как показывает вычислительный эксперимент, таких блоков большинство), возмущение матрицы будет малым, а поскольку СНЧ в соответствии с (1) являются нечувствительными к возмущающим воздействиям, в данном случае – к округлениям, их возмущения также будут незначительными [7]. Нулевые СНЧ блоков матрицы частично восстановленного ЦИ в большинстве своем станут ненулями после ПВ, но их значения будут сравнимы с погрешностью округления и друг с другом, что не характерно для блоков ЦИ, хранимого без потерь. Это приведет к тому, что скорость изменения наименьших СНЧ JPEG-блоков (вырожденных после ЧВ) будет значительно меньше аналогичного параметра для соответствующих TIF(BMP)-блоков. Такая особенность дает возможность различать блоки ЦИ, ПВ после сжатия, и ЦИ, хранимого в формате, не предусматривающем квантование коэффициентов.

Сопоставление свойств СНЧ блоков изображений, хранимых без потерь и в сжатом состоянии, дает возможность предвидеть характер изменений свойств СНЧ JPEG-контейнера в ходе СП. Исходя из вышесказанного, ожидаемым результатом СП является уменьшение количества нулевых СНЧ, причем это уменьшение будет тем больше, чем большим будет объем погружаемой в ОС ДИ.

**Количественные оценки возмущений сингулярных чисел матрица контейнера в процессе стеганообразования.** В соответствии с ОПАИС, произвольное СП можно представить в виде аддитивного погружения некоторой информации в пространственной области:

$$\bar{F} = F + \Delta F, \quad (5)$$

где  $F$  – матрица контейнера,  $\bar{F}$  – матрица СС,  $\Delta F$  – матрица возмущения вследствие СП.

Рассмотрим подробно работу стеганографического метода модификации наименьшего значащего бита (LSB) [1]. Данный метод выбран авторами, главным образом, потому, что СП здесь, с учетом случайного характера формирования стеганопути [1] и различий в объемах ДИ, может приводить к очень незначительным и случайным возмущениям  $\Delta F$  матрицы контейнера. Возможность выявления результатов *такого* возмущающего воздействия даст реальную перспективу для разрабатываемого СА метода эффективной работы по выявлению результатов работы других стеганографических методов. Кроме того, LSB является одним из самых распространенных и широко используемых стеганографических методов на сегодняшний день. Результат его работы представляется в соответствии с (5).

При погружении ДИ – случайно сформированной бинарной последовательности – в дальнейшем будем учитывать лишь те ее биты, которые вызывают возмущение соответствующих пикселей контейнера. Так будем говорить, что объем погруженной информации (ОПИ) составляет, например, 20%,

если при погружении этой ДИ пятая часть общего числа пикселей ОС претерпела возмущения.

Проанализируем и оценим количественно возмущения СНЧ блоков матрицы JPEG-контейнера, возникающие вследствие погружения ДИ. Хотя абсолютные погрешности СНЧ, возникающие за счет СП, для всех СНЧ согласно (1) ограничены сверху одинаково, для относительных погрешностей картина будет принципиально другой. Для иллюстрации этого в табл.1 приведена часть результатов вычислительного эксперимента для пяти выбранных случайно тестовых ЦИ.

Таблица 1 – Относительные погрешности СНЧ блоков ЦИ-контейнера, возникающие при СП LSB-методом при ОПИ 10%

№ ЦИ	Относительные погрешности СНЧ блоков ЦИ-контейнера при СП LSB-методом для ОПИ 10% (%)							
	Номер СНЧ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.06	1.95	1.48	17.23	5.28	19.27	137.20	12.48
2	0.03	0.08	0.13	0.74	2.41	8.35	11.37	26.15
3	0.02	0.13	1.32	1.98	9.28	9.43	35.19	33.49
4	0.25	2.27	20.51	41.05	26.39	6.45	10.82	0.49
5	0.19	1.80	1.48	3.32	49.69	38.80	76.46	91.16

Очевидно, что в результате СП наиболее значительно относительно других «страдают» наименьшие СНЧ. Причем для подавляющего большинства блоков ЦИ абсолютное значение углового коэффициента прямой, интерполирующей седьмое и восьмое СНЧ (т.е. скорость изменения), после СП возрастает (в среднем в 68% общего числа блоков ЦИ). Это явление является ожидаемым и объясняется следующим образом. После ПВ ЦИ, как уже было отмечено выше, наименьшие СНЧ, бывшие нулевыми после ЧВ, сравнимы друг с другом (и незначительно отличаются от 0), т.е. скорость изменения по абсолютной величине близка к нулю. Поэтому даже малое возмущающее воздействие в таких блоках приведет к увеличению отделенности [9] наименьших СНЧ и, как следствие, к возрастанию скорости изменения. Назовем такие блоки блоками I-го типа. Уменьшение скорости изменения СНЧ после СП практически всегда отвечает блокам, которые уже после ЧВ не имели (или имели малое количество) нулевых СНЧ (такие блоки на изображении отвечают областям, содержащим контуры). Отсюда вытекает вывод, что для получения количественных оценок качественных отличий возмущений СНЧ блоков контейнера от блоков СС необходимо будет различать блоки, соответствующие условно «фоновым» подобластям ЦИ (блоки I-го типа), и блоки, содержащие контуры (II-го типа). Такие подобласти можно выделять различными способами. Однако в силу специфики решаемой задачи, разделение

блоков на указанные два типа можно проводить при помощи оценки значений наименьших СНЧ: если наименьшие СНЧ сравнимы с нулем и друг с другом (скорость изменения близка к 0) – I-й тип; наименьшие СНЧ значительно отличаются друг от друга (скорость изменения больше 1) – II-й тип.

Возмущения, которые претерпевают СНЧ при даже очень малом ОПИ, очевидно приведут к изменению качественной картины наличия нулевых СНЧ в блоках при стандартном разбиении матрицы ЦИ, о чем уже говорилось выше. Поскольку вырожденность блоков определяется линейной зависимостью столбцов (строк) соответствующих матриц, а погружение ДИ, изменяя значения элементов столбцов (строк), с большой вероятностью приведет к «разрушению» этой линейной зависимости (а значит к росту ранга матрицы блока СС), выдвигается гипотеза: количество вырожденных блоков ОС после СП должно резко уменьшиться, количество невырожденных блоков будет тем больше, чем больше ОПИ.

Для проверки этой гипотезы в среде MATLAB был проведен вычислительный эксперимент, в котором тестировалось более 450 различных ЦИ, хранимых в формате JPEG. ДИ, как и ранее, представлялась в виде сформированной случайным образом бинарной последовательности. При этом при СП минимально ОПИ составил 10%. В результате в 100% тестируемых ЦИ было получено строгое монотонное возрастание количества блоков, не содержащих нулевых СНЧ, с ростом ОПИ (типичные картины для четырех из рассмотренных ЦИ представлены на рис.1), причем, когда ОПИ был больше 60%, то практически все блоки матрицы оказывались невырожденными (во всех тестируемых изображениях более 99% общего числа блоков).

В ходе проведенного вычислительного эксперимента также были получены следующие результаты:

- В результате погружения ДИ (даже в случае, когда ОПИ равен 10%) матрица СС никогда не содержит блоков, которые бы имели 7,8 нулевых СНЧ. По мере увеличения ОПИ у матриц СС последовательно исчезают блоки с большим количеством нулевых СНЧ (в табл.2 приведен типичный пример результата исследования одного из тестируемых ЦИ). Данный результат может быть использован в процессе СА: если у исследуемого ЦИ матрица содержит блоки с 7 или 8 нулевыми СНЧ, то изображение не подвергалось СП, которое возмущало бы не менее 10% общего числа пикселей.
- Для матриц СС при любом ОПИ число блоков с максимально возможным количеством нулевых СНЧ всегда меньше числа блоков, у которых нулевых СНЧ на единицу меньше максимально возможного количества. Это свойство часто не соблюдается для блоков матриц ЦИ-контейнеров, что сигнализирует об отсутствии погруженной ДИ и может быть использовано при СА.

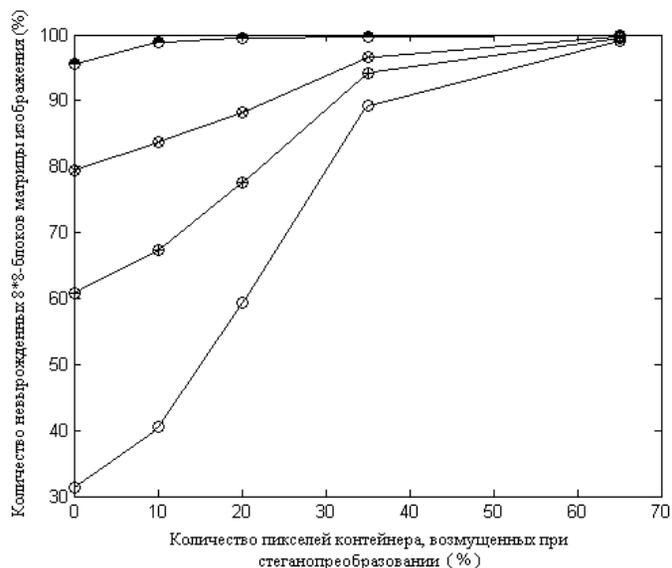


Рис.1 – Зависимость количества невырожденных блоков матрицы ЦИ от ОПИ

Таблица 2– Зависимость количества блоков разного ранга матрицы изображения от ОПИ

		Количество блоков матрицы, содержащих $m$ нулевых СНЧ по отношению к ОЧБ, %								
		$m=0$	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$
Исх. ЦИ		89.36	4.21	1.71	1.43	1.06	0.95	0.57	0.59	0.12
ОПИ, %	10	93.4	3.55	1.88	0.82	0.3	0.05	0	0	0
	20	95.45	3.42	0.91	0.21	0.01	0	0	0	0
	35	98.24	1.63	0.13	0	0	0	0	0	0
	65	99.78	0.22	0	0	0	0	0	0	0

**Выводы.** Таким образом, в работе путем адаптации ОПАИС в область

СА

- разработаны основы общего стеганоаналитического подхода, основанного на сведении процесса СА к анализу СНЧ матриц тестируемых ЦИ;
- получены качественные характеристики сингулярных спектров матриц изображений, хранимых в различных форматах;
- основные качественные отличия сингулярных спектров блоков СС с разными ОПИ от блоков JPEG-контейнеров.

Определение количественных пороговых значений для найденных качественных отличий позволят разработать универсальный метод СА, что является целью дальнейшей работы авторов.

**Список литературы:**1. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М. : Солон-Пресс, 2002. – 272 с. 2. Ленков С. В. Методы и средства защиты информации : в 2 т. / С. В. Ленков, Д. А. Перегудов, В. А. Хорошко. – К. : Арий, 2008. 3. Gul G. SVD-Based Universal Spatial Domain Image Steganalysis / G. Gul, F. Kurugollu // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2010. – Vol. 5. – №. 2. – P. 349–353. 4. Gul G. Steganalytic features for JPEG compression based perturbed quantization / G. Gul, A. E. Dirik, I. Avcibas // IEEE Signal Process.Lett. – Vol. 14. – №. 3. – P. 205–208. 5. Lyu S. Detecting hidden messages using higher-order statistics and support vector machines / S. Lyu, H. Farid // Lecture Notes in Computer Science. New York : Springer-Verlag, 2002. – Vol. 2578. – P. 340–354. 6. Avcibas I. Image steganalysis with binary similarity measures / I. Avcibas, M. Kharrazi, N. Memon [et al.] // EURASIP J. Appl. SignalProcess. – 200. – Vol. 17. – P. 2749–2757. 7. Кобозева А. А. Анализ информационной безопасности / А. А. Кобозева, В. А. Хорошко. – К. : ГУИКТ, 2009. – 251 с. 8. Кобозева А. А. Анализ защищенности информационных систем / А. А.Кобозева, I. О. Мачалин, В. О. Хорошко. – К. : ДУКТ, 2010. – 316 с. 9. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра / Дж. Деммель; пер. с англ. Х. Д. Икрамова.– М. : Мир, 2001. – 430 с. 10. Кобозева А. А. Учет свойств нормального спектрального разложения матрицы контейнера при обеспечении надежности восприятия стегосообщения / А. А. Кобозева, Е. А. Трифонова // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 18. – С 81–93. 11. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с. 12. Кобозева А. А. Матричный анализ – основа общего подхода к обнаружению фальсификации цифрового сигнала / А. А. Кобозева, О. В. Рыбальский, Е. А. Трифонова // Вісник Східноукраїнського нац.ун-ту ім. В. Даля. – 2008. – № 8(126), ч.1. – С.62–72.

Надійшла до редколегії 07.06.2011

УДК 004.932

**В. А. КОЛБАСИН**, канд. техн. наук, каф. САиУ, НТУ «ХПИ»;  
**К. В. ЩЕБЕНЮК**, магистрант, каф. САиУ, НТУ «ХПИ»

### ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИИ ЭНЕРГИИ НА КАЧЕСТВО НЕПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

У статті розглядаються вплив вибору функції енергії на результат непропорційного масштабування фотографічних зображень. Показано, що для збереження пропорцій об'єктів переднього плану можливо використовувати функцію ентропії на основі оператора Собеля. Також в роботі розглянуті питання прискорення роботи програмної реалізації за рахунок використання технології паралельного програмування CUDA.

В статье рассматриваются влияние выбора функции энергии на результат непропорционального масштабирования фотографических изображений. Показано, что для сохранения пропорций объектов переднего плана можно использовать функцию энергии на основе оператора Собеля.

Также в работе рассмотрены вопросы ускорения работы программной реализации за счет использования технологии параллельного программирования CUDA.

The article deals with the influence of the choice of the entropy function on the result of disproportional scaling of photographic images. It is shown that to maintain the proportions of the foreground objects it makes sense to use energy function that based on Sobel operator. Also in the paper accelerated program implementation using CUDA parallel programming technique is proposed.

**Введение.** Массовое распространение цифровых фотоаппаратов значительно увеличило число людей, использующих цифровые фотографические изображения и средства для работы с ними. При этом, независимо от типа устройства получения изображения и его характеристик, практически все цифровые изображения требуют предварительной подготовки для публикаций на бумажных носителях и в Интернете – предпечатной подготовки.

Одной из наиболее часто возникающих при этом задач является изменение масштаба изображений. Чтобы при выводе растрового изображения оно воспринималось человеком в надлежащем качестве число точек в нем должно соответствовать геометрическим размерам выведенного изображения, разрешающей способности устройства вывода и расстоянию, с которого изображение будет рассматриваться. Если число точек в исходном изображении намного меньше числа точек в результирующем изображении, размеры точек увеличиваются, и появляется эффект пикселизации – элементы раstra становятся заметны человеку, что ухудшает качество изображения. Для снижения влияния эффекта пикселизации можно либо получать сразу исходное изображение с высоким разрешением, либо использовать методы интерполяции для получения недостающих точек изображения по соседним с ними точкам.

Частным случаем проблемы масштабирования изображений является непропорциональное масштабирование, когда соотношение размеров исходного изображения не равно соотношению размеров результирующего изображения. Задача непропорционального масштабирования может быть сведена к задаче изменения размеров изображения только по ширине или по высоте. Для этого в изображение должны быть добавлены дополнительные строки или столбцы. Причем, чтобы избежать значительного снижения визуального качества изображения, они должны быть добавлены так, чтобы пропорции объектов переднего плана не были изменены.

Для непропорционального масштабирования изображений в [1] предложен алгоритм «Liquid Resize». Однако в своей исходной форме он довольно часто искажает пропорции объектов переднего плана. Такое искажение возможно за счет неудачного выбора метода вычисления матрицы энергии изображения. Поэтому цель данной работы – исследование влияния выбора функции вычисления энергии изображения на качество непропорционального масштабирования.

**Непропорциональное масштабирование фотографических изменений.** Метод «Liquid Resize» построен на удалении/добавлении из изображения точек, которые относятся к областям с наименьшим числом деталей.

Для определения таких областей используется матрица энергии изображения. Ее получают путем применения к изображению так называемой функции энергии. На основании различных критериев важности или различных моделей изображения могут быть построены различные функции энергии. В основном их строят так, чтобы важные, заметные для человека объекты, имели большую энергию, а малозаметные, фоновые – малую энергию. Простейший пример такой функции энергии – градиент, его значение велико там, где изображение резко меняется (края объектов, места резкого изменения цвета), и мало в фоновых частях изображения. Кроме того, повлиять на результаты обработки изображений можно вручную, присвоив большое значение энергии пикселям той части изображения, которая является важнейшей, или малое значение энергии пикселям, которые являются неважными.

То, какие именно области будут подвергаться изменению, определяется выбором функции энергии. Возможно создание функций энергии, выделяющих определенные области изображения, например, лица людей, машины, дома. Однако для их использования необходимо решить нетривиальную задачу распознавания указанных объектов на растровом изображении. Поэтому в данной работе ограничимся использованием простых функций энергии, основанных на использовании методов выделения границ на растровом изображении: типовой функции энергии данного метода, градиентного фильтра и фильтра Собеля.

Типовая функция энергии использует разницу между текущей точкой и ее соседями справа и снизу в соответствии со следующей формулой:

$$e_{x,y} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{|p_{x,y} - p_{x+1,y}| + |p_{x,y} - p_{x,y+1}|}{2} & x = \overline{1, W-1}, y = \overline{1, H-1} \\ |p_{x,y} - p_{x,y+1}| & x = \overline{W}, y = \overline{1, H-1} \\ |p_{x,y} - p_{x+1,y}| & x = \overline{1, W-1}, y = \overline{H} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где  $e_{x,y}$  – значение энергии точки изображения с координатами  $x, y$  ;

$p_{x,y}$  – точка исходного изображения с координатами  $x, y$  ;

$W, H$  – ширина и высота изображения.

Данная функция была предложена в исходной работе и дает неплохие результаты для изображений, в которых имеются резкие переходы длинной в один пиксель между границами объектов. Однако за счет размытия границ оптикой среднего и плохого качества таких фотографических изображений не так много среди общего количества.

Функция на основе градиента использует в качестве матрицы энергии результат применения к изображению одного из линейных градиентных фильтров [2].

Применение линейного фильтра к изображению описывается формулой

$$e_{x,y} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 E_{i,j} \cdot P_{x+i,y+j}, \quad (2)$$

где  $E_{i,j}$  – матрица ядра фильтра.

Для вычисления энергии изображения могут быть использованы горизонтальный и вертикальный градиентный фильтры, ядра которых определяются так:

$$E_{hor} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad E_{ver} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Преимуществом таких энергетических функций являются простота их реализации и, как результат, высокая скорость вычисления. Следует отметить, что горизонтальный градиентный фильтр лучше применить тогда, когда нужно выполнять масштабирование по вертикали. И, наоборот, в случае масштабирования по горизонтали лучше использовать вертикальный градиент, тогда происходит поиск границ объектов по вертикали.

Наиболее эффективным методом выделения границ объектов является фильтр Собеля [2]. Функция вычисления энергии изображения с его использованием будет выглядеть следующим образом:

$$e_{x,y} = \sqrt{\left( \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 S_{i,j} \cdot P_{x+i,y+j} \right)^2 + \left( \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 S_{j,i} \cdot P_{x+i,y+j} \right)^2}, \quad S = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Данный метод эффективно выделяет границы объектов на изображении, но требует большого количества вычислений и, соответственно, является достаточно медленным. Результаты применения данных функций энергии к одному и тому же изображению приведены на рис. 1.



Рис.1 – Результаты применения различных функций энергии. Слева направо: типовая функция энергии, на основе градиента, на основе фильтра Собеля.

Как можно заметить, наиболее сильно границы объектов оказались выделены при использовании оператора Собеля. Рассмотрим приведенные на

рис. 2 результаты сравнения функций энергии для изображений классов портрет и пейзаж.



Как можно увидеть из приведенных изображений, вес границ объектов оказывается достаточным, чтобы точки объекта не участвовали в расширении изображения только при использовании фильтра Собеля. При использовании градиентного фильтра часть объектов переднего плана все же меняет свои пропорции. В частности, на изображении пейзаж меняются пропорции здания, расположенного в правом нижнем углу. Вместе с тем исключение объекта переднего плана, занимающего значительную площадь изображения, из масштабирования приводит к появлению эффекта пикселизации. Этот эффект заметен на деревьях и цветах на заднем плане изображения портрета. Таким образом, лучше всего пропорции объектов переднего плана сохраняются при использовании оператора Собеля, но при этом значительно увеличивается время обработки изображения. Для его уменьшения в данной работе предлагается использовать технологии параллельного программирования.



Рис.2 – Результаты непропорционального масштабирования изображений. Слева направо – исходное изображение, далее результаты масштабирования с использованием типовой функции энергии, градиента, фильтра Собеля.

#### Параллельная реализация непропорционального масштабирования.

Для программной реализации поставленной задачи, были использованы технологии OpenMP и CUDA. Для реализации на базе технологии CUDA использовались входящие в состав библиотеки фильтры выделения границ объектов, и была создана реализация алгоритма поиска линии повтора. Времена обработки изображений различного размера с использованием функций энергии на основе фильтра Собеля и градиентного фильтра обеими реализациями приведены в таблице (использовались процессор Core 2 Duo 2,8 GHz и видеокарта GeForce 8800 GT).

Размер изображения	OpenMP, с		CUDA, с	
	Градиент	Собель	Градиент	Собель
1600x1200	1,2	2,9	0,08	0,12
3400x2100	4,6	8,1	0,26	0,49

Итак, выбор функции энергии оказывает существенное влияние на визуальное воспринимаемое качество изображения, полученного в результате непропорционального масштабирования. Очевидно, что для программных пакетов, предполагающих профессиональное использование, имеет смысл реализовать поддержку выбора функции энергии. Использование платформы параллельного программирования CUDA позволяет ускорить выполнение операции непропорционального масштабирования более чем в 15 раз.

**Список литературы:** 1. Avidan S. Seam carving for content-aware image resizing / S. Avidan, A. Shamir // ACM Trans. Graph., 2007. – Vol. 26, № 3. 2. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 3. Боресков, А.В. Основы работы с технологией CUDA / А. В. Боресков, А. А. Харламов. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.

Поступила в редколлегию 01.06.2011

УДК 004.056.5

**Е. Ю. ЛЕБЕДЕВА**, ст. препод. кафедры ИУЗИС ОНПУ, г. Одесса;  
**Ю. Ф. ЛЕБЕДЕВ**, начальник ИЦ НИИ Шторм, г. Одесса

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРИК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ КЛОНИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАЛЬСИФИКАЦИИ

Досліджуються метрики для оцінки схожості блоків цифрового зображення, що використовуються в методі виявлення клонованих ділянок зображень при виявленні фальсифікації. Робляться висновки про доцільність вживання розглянутих метрик і виборі переважної метрики в умовах даного завдання.

Исследуются метрики для оценки схожести блоков цифрового изображения, используемые в методе обнаружения клонированных участков изображений при выявлении фальсификации. Делаются выводы о целесообразности применения рассмотренных метрик и выборе предпочтительной метрики в условиях рассматриваемой задачи.

Metrics are investigated for the estimation of blocks similarity of digital image, using in a detection method of the cloned areas of images when exposing the forensics. Drawn conclusion about using expedience of the considered metrics and choice of preferable metric in the conditions of the examined task.

**Введение.** Информация играет важную роль в человеческом обществе. Современные технологии позволяют хранить и обрабатывать информацию в цифровом виде. Появление быстродействующей компьютерной техники, современных цифровых камер и программного обеспечения, позволяющего обрабатывать цифровую информацию, привело к широкому распространению цифровой фальсификации.

Объектами фальсификации могут служить цифровые изображения (ЦИ) и цифровое видео (ЦВ). Фальсификации ЦИ и ЦВ зачастую нельзя обнаружить человеческим глазом. Учитывая, что ЦИ и ЦВ могут выступать доказательствами в работе правоохранительных органов и судов, чрезвычайно актуальным является решение проблемы выявления фальсификации в ЦИ и ЦВ.

**Постановка задачи и цель исследования.** Существует достаточно много способов создания фальсификации в ЦИ. Эти способы можно свести, например, в следующие группы [1]:

- Композиция (compositing). Два или более ЦИ сращиваются вместе и образуют композиционное изображение.
- Морфинг (morphing). Трансформация одного ЦИ в другое.
- Ретуширование (re-touching). В ЦИ вносится ряд программных вмешательств, таких как размытие (blur), смазывание (smudge) и клонирование частей изображения.
- Усиление (enhancing). В ЦИ вносится ряд изменений, таких как усиление или уменьшение резкости (sharpen), изменение цвета и контраста (color and contrast adjustment).
- Компьютерная графика (computer graphics). Изменяются ЦИ, которые были созданы с использованием графических программ, например, Autodesk 3ds Max.

В настоящей работе рассматриваются фальсификации, созданные путем клонирования частей одного и того же изображения, так как этот вид фальсификации очень часто используется ввиду легкости осуществления. Целью работы является исследование различных метрик и выбор наилучшей из них для обнаружения клонированных участков в ЦИ (ЦВ), не подвергшихся процедуре сжатия. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику обнаружения дублированных участков в изображении.
2. С учетом разработанной методики на основании вычислительного эксперимента проанализировать в качестве основного параметра, определяющего сходство между частями тестируемого изображения, различные метрики.
3. Выбрать предпочтительную метрику для решения рассматриваемой задачи используемым методом.

**Метод обнаружения клонированных участков.** Для обнаружения клонированных участков в задачах фальсификации предлагается следующая методика. Пусть имеется изображение  $I$  размера  $M \times N$ . Построим разбиение изображения на непересекающиеся блоки  $D = \{d_1, d_2, \mathbf{K}, d_l\}$  размера  $p \times p$  и на пересекающиеся блоки  $C = \{c_1, c_2, \mathbf{K}, c_s\}$  размера  $p \times p$ , где  $p < M$  и  $p < N$ . Необходимо найти для каждого блока  $d_i, i = 1, \mathbf{K}, l$  подобный блок  $c_j, j = 1, \mathbf{K}, s$ , т.е.  $Metrica(d_i, c_j) = \delta$ , где  $\delta$  – некоторая

числовая константа. Если такой блок найден, например  $d_i$  и  $c_j$ , то эти блоки помечаются как дублированные. Объединение дублированных блоков  $\bigcup d_k, k \leq l$ ,  $\bigcup c_f, f \leq s$  и определяет возможные клонированные части изображения  $I$ .

Возникает вопрос, какие метрики можно использовать в качестве меры подобия блоков  $Metrica(d_i, c_j)$ .

**Обзор метрик для определения подобия блоков.** Рассмотрим несколько наиболее известных метрик для определения подобия блоков в изображении  $I$ , таких как MSE, коэффициент корреляция, расстояние Минковского и HS [2]. Для вычисления метрик преобразуем изображения из цветовой модели RGB в YUV.

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.522 & 0.311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Модель YUV (1) основана на разложении изображения на три составляющие:  $Y$  – самая значимая составляющая определяющая яркость точки изображения;  $U, V$  – две цветные составляющие (их называют цветоразностями, т.к.  $U = G - R, V = G - B$ ).

При работе с метриками будем использовать только составляющую  $Y$ .

Наиболее простой метрикой является среднеквадратичная ошибка MSE (mean squared error):

$$MSE = \frac{1}{p \times p} \sum_n (d_n - c_n)^2, \quad (2)$$

где  $d_n, c_n$  – значения яркости каждого пикселя блока.

Коэффициент корреляции указывает силу связи между исследуемыми объектами [3]. Рассмотрим коэффициент корреляции Пирсона:

$$R = \frac{\sum_n (d_n - \bar{d}_n)(c_n - \bar{c}_n)}{\sqrt{\sum_n (d_n - \bar{d}_n)^2 \sum_n (c_n - \bar{c}_n)^2}}, \quad (3)$$

где  $\bar{d}_n, \bar{c}_n$  – среднее значения яркости блока.

Степенное расстояние Минковского, является обобщенным выражением Евклидова расстояния:

$$M = \left( \sum_n |d_n - c_n|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (4)$$

где  $p$  – произвольное целое число.

Метрика Histogram Similarity (HS) вычисляется по результатам построения гистограммы по блоку изображения (5). Гистограмма — это график распределения полутонов изображения, в котором по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали — число пикселей блока изображения с данным значением яркости.

$$HS = \sum_{y=0}^{255} |f_{d_i}(y) - f_{c_j}(y)|, \quad (5)$$

где  $f_{d_i}(y), f_{c_j}(y)$  – значения гистограммы для блоков  $d_i$  и  $c_j$  соответственно.

**Результаты исследований.** Для исследований возьмем изображения, полученные с помощью цифрового фотоаппарата. Клонированные участки добавлены с помощью программы Adobe Photoshop CS. Результаты фальсификации не подвергались сжатию (рис. 1). Использовалось разбиение изображения на блоки размера  $8 \times 8$  пикселей.



Рис. 1 – Исходные изображения (слева) и фальсифицированные (справа)

К каждому фальсифицированному изображению в качестве меры подобия блоков применили рассмотренные выше метрики. Помечаем блоки как дублируемые, если значение метрик MSE (2), расстояние Минковского

(4), HS (5), равно нулю, а значение коэффициента корреляции (3) равно 1. Найденные дублируемые блоки помещаются в результирующее изображение в те позиции, где они были обнаружены. Результаты применения метрик, в обнаружении клонированных участков представлены на рисунке 2.

Из представленных результатов можно заметить, что все рассмотренные метрики определяют практически точно клонированные участки.

Для получения более точной границы клонированных участков необходимо использовать разбиение на блоки меньших размеров, что в свою очередь может привести к появлению лжеблоков. Для ускорения работы метода целесообразно разбивать изображение на блоки больших размеров, что в свою очередь может ослабить точность обнаружения границ клонированных участков, а также может привести к не выявлению таковых.

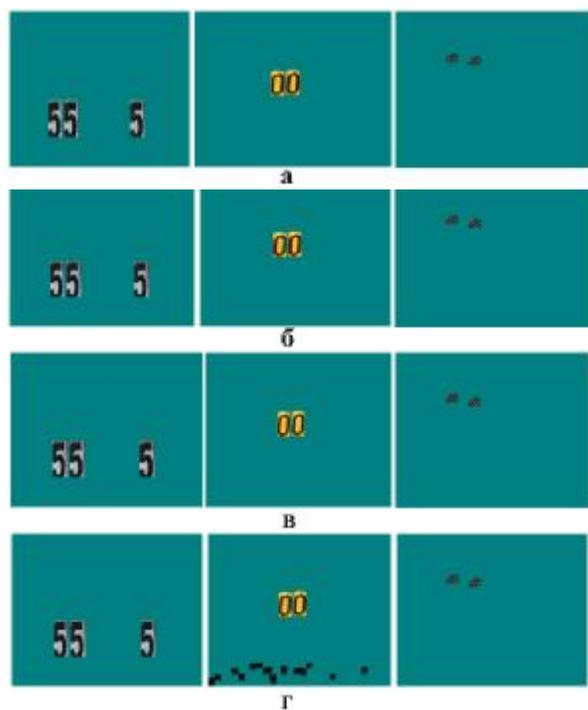


Рис. 2 – Результаты работы метрик: а – MSE; б – коэффициента корреляции; в – расстояния Минковского; г – Histogram Similarity

Следующим этапом наших исследований является выяснение, какие значения принимают метрики рядом с обнаруженными дублирующими

участками. Это позволит экспериментальным путем выявить порог, который позволит дополнительно обрабатывать те блоки, значение метрик которых соответствуют установленному пороговому значению. Под обработкой в этой ситуации понимаем деление блока на подблоки меньших размеров. Рассмотрим, как распределяются значения метрик для второго фальсифицированного изображения рядом с найденными дублирующими блоками (рис. 3). В случае метрик MSE, расстояние Минковского и HS фиксируется минимальное значение метрики для текущего блока  $d_i$ . Для коэффициента корреляции – максимальное значение.

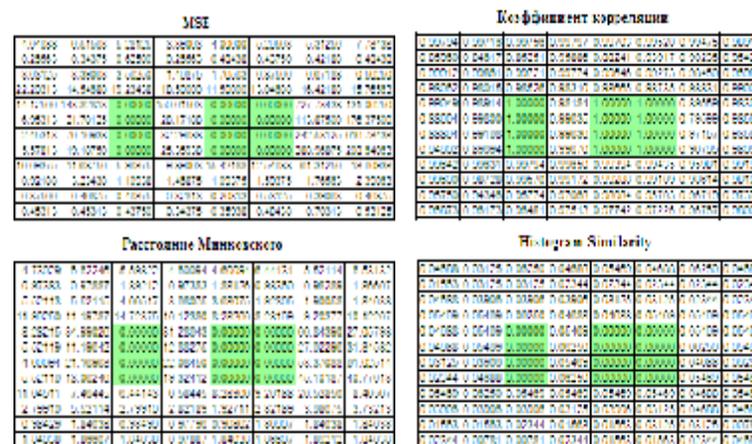


Рис. 3 – Распределение значений метрик возле дублирующих участков (дублирующиеся участки обозначены закрашенным фоном)

Для получения более точной границы дублирующихся участков, следует рассмотреть блоки окружающие найденные или находящиеся между ними. Эти блоки могут содержать в себе части фальсификаций, которые можно будет обнаружить, разбив их на более мелкие. Для автоматизации процесса уточнения границ участков фальсификации, необходимо подобрать такое пороговое значение, появление которого было бы маловероятно в других блоках изображения, не содержащих частей дублирующихся участков. По полученным результатам (рис. 3) можно увидеть, что метрики MSE, расстояние Минковского и HS не подходят для такого уточнения.

**Выводы.** Предложенная методика, использующая в качестве параметра коэффициент корреляции, позволяет точно обнаружить местоположение клонированных участков изображения. Хотя все рассмотренные метрики одинаково фиксируют дублирующиеся блоки, но для последующего уточнения наиболее предпочтительным является коэффициент корреляции, так как экс-

периментальным путем для него можно получить универсальное пороговое значение, позволяющее более точно определить границы клонированных участков.

**Список литературы:** 1. Alin C. Popescu Statistical Tools for Digital Image Forensics / Alin C. Popescu // Phd Thesis Dartmouth College. – 2004. – P. 131. 2. M. Kutter A fair benchmark for image watermarking systems / M. Kutter, F. A. P. Petitcolas // Electronic Imaging '99. Security and Watermarking of Multimedia Contents. – 1999. – vol. 3657. – P. 226–239. 3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2004. – 479 с.

*Надійшла до редколегії 07.06.2011*

УДК 004.056

**В. В. ЗОРИЛО**, аспирант ОНПУ, г. Одесса

## **ВЫЯВЛЕНИЕ КЛОНИРОВАНИЯ КАК ФАЛЬСИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Розроблено та програмно реалізовано метод, який дозволяє виявити та локалізувати фальсифікацію цифрового зображення, проведено за допомогою інструменту «Штамп», реалізованого у більшості графічних редакторів. Розроблений метод значно перевершує аналогів з швидкодії.

Разработаны программно реализован метод, позволяющий выявить и локализовать фальсификацию цифрового изображения, проведенную с помощью инструмента «Штамп», реализованного в большинстве графических редакторов. Разработанный метод значительно превосходит аналоги по быстродействию.

The detection digital image falsification method is developed and implemented. The falsification made by using Adobe Photoshop instrument "Clone". These methods calculate complicity is much less than this one parameter in other similar methods.

**Введение.** В век глобальной компьютеризации и интенсивного развития информационных технологий особенно остро ставится вопрос защиты информационных систем. Вместе с информационными технологиями развивается и компьютерная преступность, используя для своих противозаконных действий все более изощренные методы. В частности, такой вид компьютерной преступности, как подделка информации, может преследовать различные цели. Итогом подделки является то, что потребителю информации будут предоставлены недостоверные данные. Примером могут служить подтасовка результатов выборов или же хищение различного вида товаров путем ввода в программу фальшивых данных; подделка, изготовление или сбыт поддельных документов, штампов, печатей и бланков; изготовление или сбыт поддельных кредитных либо расчетных карт и иных платежных документов.

Ежегодно на борьбу с киберпреступностью развитые страны мира выделяют миллионы долларов. Новые компьютерные атаки требуют постоянного развития методов защиты информации. Практически во всех областях нашей жизни (медицина, охранные системы, системы безопасности, судебные разбирательства) используются цифровые аудио-, видео-, изображения. Их подделка доступна всем компьютерным пользователям. Чаще всего фальсификации подвергаются цифровые изображения (ЦИ). Ввиду этого особенно *актуальным* на сегодняшний день является умение отличить подделку от подлинного сигнала. В [1] была разработана общая методология анализа свойств, состояния и технологии функционирования произвольной информационной системы, которая успешно адаптируется для решения вопросов, связанных с идентификацией фальсификаций цифровых сигналов [2, 3].

В данной работе продолжается исследование возможностей обнаружения несанкционированного изменения цифрового сигнала, в частности, фотомонтажа ЦИ, и разработка методов решения этой актуальной проблемы.

**Постановка проблемы и цель исследования.** Из практики известно, что наиболее часто при подделке фотографий необходимо убрать какой-то предмет, либо, наоборот, продублировать его. В Adobe Photoshop для решения этой задачи чаще всего, если не всегда, применяют инструмент «Штамп». Данный инструмент используется для переноса клона объекта из одной части изображения в другую путем параллельного переноса, как правило, в пределах одной и той же фотографии. Как нам известно из открытой печати, наиболее успешным методом обнаружения такой фальсификации является метод, основанный на корреляции коэффициентов дискретного косинусного преобразования матрицы изображения [4], однако данный метод в реальных условиях требует значительных вычислительных затрат. Как показано в [2], любое вмешательство в ЦИ отразится на сингулярных числах (СНЧ) его матрицы и приведет к некоторым их особенностям. Выявление таких особенностей даст возможность отличить подлинное изображение от подвергнутого обработке штампом, что, в свою очередь, в случае наличия фальсификации позволит не использовать исследуемое ЦИ, например, в качестве доказательства чего-либо в суде. *Целью* данной работы является разработка метода выявления фальсификации цифрового изображения, выполненной посредством инструмента «Штамп» в Adobe Photoshop. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выделить и обосновать целесообразность математических параметров, определяющих ЦИ, являющихся объектом сравнения при поиске клонированных участков;
- выявить характерные особенности математических параметров, определяющих изображение, при различных форматах хранения: с потерями и без потерь;
- разработать практический метод отделения ЦИ, подвергнувшегося обработке штампом, от изображения, которое не подвергалось данной операции; реализовать его программно;

- апробировать разработанный метод в реальных условиях.

Очень часто при фотомонтаже появляется необходимость дублирования каких-либо объектов (добавить людей в толпе, вставить дополнительное окно в стене дома, изменить номерной знак и т.п.) либо сокрытия различных деталей (убрать человека, дерево, самолет и т.п.). Удобнее всего «перекрывать» убираемый объект небольшими фрагментами, которые целесообразно брать из того же ЦИ вблизи обрабатываемого объекта, чтобы минимизировать отличия света/тени, яркости/контрастности. Дублирование объекта из тех же соображений целесообразно проводить, используя одну и ту же фотографию. В обоих случаях происходит копирование (параллельный перенос) групп пикселей из одной части ЦИ в другую. Задача заключается в том, чтобы обнаружить группы повторяющихся пикселей ЦИ. Если таковые найдутся, это будет свидетельствовать о применении «Штампа» в данной области.

**Выделение формальных параметров, определяющих ЦИ.** В [1] было показано, что в качестве формального набора параметров, которые однозначно определяют свойства, состояние, изменение состояния любой информационной системы, в частности, ЦИ, можно использовать множество СНЧ и СНВ соответствующих матриц. Поскольку СНВ при даже очень малом возмущающем воздействии часто ведут себя принципиально непредсказуемо, для решения рассматриваемых в работе задач в качестве искомого набора формальных параметров будем использовать только СНЧ. Такой выбор, кроме всего прочего, даст возможность, как будет показано ниже, значительно уменьшить вычислительную сложность разработанного алгоритма выявления клонированных областей ЦИ по сравнению с существующими аналогами. Исследуем свойства СНЧ блоков матриц ЦИ, подвергнутых обработке штампом. Для этого создадим ситуацию, когда в изображении  $16 \times 16$  пикселей встречаются идентичные блоки: передвинем верхний левый блок  $8 \times 8$  пикселей вправо. Для каждого блока найдем множество СНЧ. Результат приведен в таблице. Проведенный эксперимент показал, что повторяющиеся блоки имеют абсолютно одинаковые СНЧ. Это вполне естественно, ведь штамп – не что иное, как клонирование пикселей. Как нам известно, основную зрительную информацию несут не контуры ЦИ, а фоновые части фотографии, или низкие и, возможно, средние составляющие частоты сигнала изображения. В [1] было установлено, что этим частотам соответствуют наибольшие и средние СНЧ. Таким образом, в целях уменьшения вычислительных затрат достаточно сравнивать между собой по 4 наибольших СНЧ каждого блока.

Мы получим желаемый результат, и это потребует на порядок меньше вычислительных затрат, чем сравнение блоков матрицы яркости пикселей или сравнение коэффициентов дискретного косинусного преобразования блоков матрицы ЦИ в [4]. Более того, если СНЧ блока сложить между собой, то в одинаковых блоках эти суммы будут равны. Вероятность равенства сумм СНЧ отличных друг от друга блоков очень мала, а значит, поиск штампа

можно свести к сравнению сумм четырех СНЧ блоков матрицы изображения, что позволит еще сократить вычислительные затраты. В данном эксперименте блок был продублирован строго в соседний блок, то есть наше разбиение на блоки  $8 \times 8$  не нарушило линейной зависимости между пикселями при нахождении СНЧ. Однако в реальных условиях такая ситуация маловероятна. Следовательно, необходимо выбрать такое разбиение на блоки, которое дало бы возможность адекватно провести исследование на наличие штампа.

СНЧ соответствующих блоков  $8 \times 8$  матрицы исследуемого изображения

		Координаты блока			
		(1,1)	(1,2)	(2,1)	(2,2)
№ СНЧ	1	830,330	830,330	821,814	826,171
	2	15,692	15,692	23,018	99,608
	3	8,171	8,171	9,394	54,277
	4	3,932	3,932	6,143	16,375
	5	1,841	1,841	4,612	11,160
	6	1,499	1,499	3,382	7,317
	7	0,657	0,657	0,126	2,480
	8	0,373	0,373	0,028	0,167

Пусть имеется изображение, подвергшееся обработке инструментом «Штамп» в Adobe Photoshop, хранящееся в формате без потерь, для определенности – формат TIF. После фальсификации изображение также сохранено в формате без потерь. Будем анализировать одну из трех матриц изображения. Для поиска идентичных областей матрицы разобьем ее на пересекающиеся блоки  $8 \times 8$  следующим образом: каждый блок отличается от предыдущего на один столбец (двигаемся вправо со сдвигом на 1 пиксель) до  $(n-7)$ -го столбца матрицы изображения; дойдя до конца строкидвигаемся на одну строку вниз и т.д. до  $(m-7)$ -й строки. Тогда, имея изображение  $m \times n$  необходимо сравнить между собой  $(m-7) \times (n-7)$  блоков. Матрице изображения поставим в соответствие так называемую матрицу клонирования (МК), каждый элемент которой соответствует блоку  $8 \times 8$  и принимает значения с учетом суммы четырех наибольших СНЧ: 0, если данный блок не имеет дубликатов (клонов), а 1 – иначе.

**Вычислительный эксперимент.** Рассмотрим ЦИ (рис. 1, а). С помощью штампа уберем ветку в правой части ЦИ.

Сохраним фотомонтаж без потерь (рис. 1, б). Построим для фальсифицированного изображения МК. Блокам, не имеющим клонов, соответствуют нули матрицы. Единицы возникают в той области, где ранее находилась ветка, а также там, откуда были взяты фрагменты для ее «перекрытия». Визуально небо на фотографии не вызывает никаких подозрений, но на матрице четко выделены области клонирования.

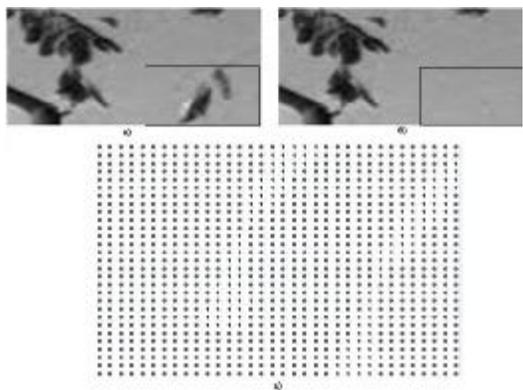


Рис. 1 – Отражение «штампа» на матрице клонирования: *a* – исходное ЦИ; *b* – фальсифицированное ЦИ; *c* – МК фальсифицированной части ЦИ

Эксперимент проведен удачно. Однако могут возникнуть неудобства в случае больших размеров областей, обработанных штампом, МК трудно сопоставить с реальными размерами фотографии. В этом случае представим МК в виде бинарного изображения, где черный цвет соответствует нулю МК, белый – единице. Для иллюстрации рассмотрим изображение, обработанное штампом, хранившееся без потерь до и после проведения фальсификации (рис. 2). Уберем птицу с помощью штампа. Визуально изображение на рис. 2, *b* не вызывает подозрений. Однако анализ показывает, что в области изображения, где ранее находилась птица, явно выделены белые участки изображения, соответствующие штампу (рис. 2, *c*).

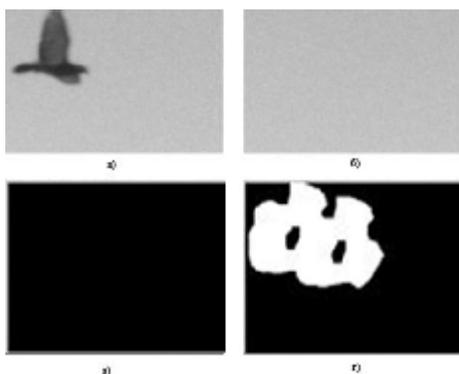


Рис. 2 – Визуализация фальсификации изображения большого размера: *a* – исходное ЦИ; *b* – фальсифицированное ЦИ; *c* – бинарное представление МК исходного ЦИ; *d* – бинарное представление МК фальсифицированного ЦИ

Большинство современных ЦИ хранится в формате jpeg (с потерями). Проверим работу метода для изображения, которое до фальсификации хранилось в формате jpeg, а после фальсификации было сохранено в формате без потерь (рис. 3). На наличие фальсификации подозревается номер автомобиля. В большинстве случаев области, подозрительные на фальсификацию, известны. Тогда нет необходимости исследовать изображение целиком. Достаточно вырезать только номерной знак и исследовать его. Это поможет сократить вычислительные затраты. Вычислительный эксперимент показал, что если такую фотографию обработать штампом и сохранить без потерь, то данный метод позволит выявить и локализовать область клонирования (рис. 3, *e*). В результате анализа видно, что белые области бинарного изображения соответствуют первому и третьему нулю номера авто. Фальсификация выделена успешно. Таким образом, в нашей ситуации совершенно не имеет значения формат ЦИ до обработки штампом.

На базе проведенного анализа разработан метод выявления фальсификации ЦИ, проведенной посредством инструмента «Штамп» Adobe Photoshop.

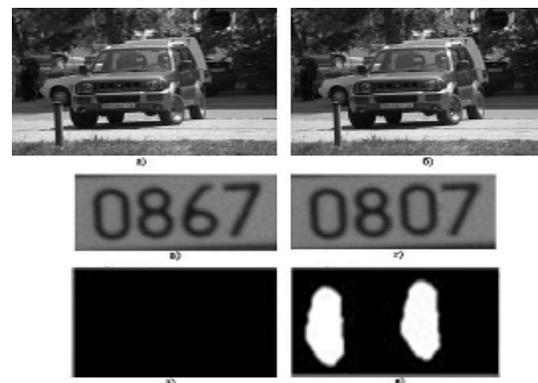


Рис. 3 – Поиск фальсификации: *a* – исходное ЦИ; *b* – фальсифицированное ЦИ; *c* – исследуемый номер исходного ЦИ; *d* – исследуемый номер фальсифицированного ЦИ; *e* – бинарное представление МК исходного ЦИ; *f* – бинарное представление МК фальсифицированного ЦИ

Основные шаги данного метода следует выполнять в таком порядке:

- Разбить матрицу изображения на пересекающиеся блоки 8×8 предложенным выше способом.
- Для каждого блока найти множество сингулярных чисел.
- Сложить наибольшие 4 СНЧ между собой в каждом блоке.
- Взять первое значение суммы  $S(1 \ 1)$ .

- Сравнить со всеми остальными значениями. Если  $S(1\ 1) = S(ij)$ , тогда значениям МК, соответствующим номерам блоков, содержащих  $S(1\ 1)$  и  $S(ij)$ , присвоить значение «1». Если совпадений не найдено, тогда значению МК, соответствующему номеру блока, содержащего  $S(1\ 1)$  присвоить «0».
- Взять значение суммы  $S(1\ 2)$ . Повторить для него предыдущий пункт. Затем следующее значение суммы, до тех пор, пока все значения сумм не будут проверены.
- Построить МК.
- Представить МК в виде бинарного изображения.
- Белые области бинарного изображения соответствуют клонированным частям исследуемого ЦИ.

**Апробация разработанного метода.** В целях апробации данного метода в реальных условиях проверим фотографию обложки известной книги (рис. 4, а), подозрительную на фальсификацию, проведенную вышеописанным способом. Проверка программой, реализующей наш метод, показывает, что часть тестируемого ЦИ под фамилией автора на рисунке соответствует белым областям бинарного представления МК (рис. 4, б).

Это говорит о том, что это ЦИ вероятнее всего могло быть подвергнуто обработке посредством инструмента «Штамп». Более того, как мы знаем и можем в этом убедиться, имея данную книгу – в действительности у книги 2 автора, что не оставляет сомнений в проведении фальсификации. Апробация разрабо-

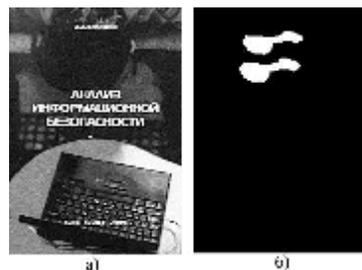


Рис. 4 – Поиск фальсификации: а – тестируемое ЦИ; б – бинарное представление МК тестируемого ЦИ

танного метода показала, что данный метод точно определяет и локализует как область, обработанную штампом, так и область, из которой были взяты фрагменты для перекрытия фальсифицируемого объекта.

**Выводы.** Итогом данной работы явился практический метод выявления фальсификации ЦИ, проведенной наиболее распространенным способом – с помощью инструмента «Штамп» программы Adobe Photoshop. Данный метод позволяет точно определить и локализовать области, которые обработаны штампом, а также области, из которых были взяты фрагменты для перекрытия фальсифицируемого объекта. Если изображение, подвергнутое обработке штампом, сохранено без потерь, то сравнение сингулярных чисел блоков матрицы изображения дает точный результат и требует меньше вычислитель-

ных затрат, чем предложенные в открытой печати методы решения данной проблемы. Все поставленные задачи выполнены. Цель достигнута.

**Список литературы:** 1. Кобозева А. А. Анализ информационной безопасности / А. А. Кобозева, В. А. Хорошко. – К. : Изд. ГУИКТ, 2009. – 251 с. 2. Кобозева А. А. Основы общего подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала / А. А. Кобозева // Электромашинобудовання та електрообладнання. – 2009. – Вип.72. – С. 35–41. 3. Кобозева А. А. Метод виявлення фальсифікації цифрового зображення в умовах збурних дій / А. А. Кобозева, В. В. Зоріло // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім.Т.Шевченка. – 2009. – Вип. № 20. – С.147–154. 4. J. Fridrich, D. Soukal, J. Lukas / Detection of copy-move forgery in digital images // Digital Forensic Research Workshop. – 2003. – № 3. – PP. 90–105.

Надійшла до редколегії 07.06.2011

УДК 519.68:338.45

**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## О ВЫБОРЕ СТРАТЕГИЙ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Работа посвящена вопросам раннего выявления проблемных ситуаций в электроэнергетике, які можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій з можливими збитками як у сфері виробництва і поставок електроенергії, так і у сфері її споживання. В роботі пропонується підхід, що дозволяє прогнозувати появу подібних подій при виникненні певних поєднаннях значень виділених факторів, зміни яких спостерігаються в статистичних даних, і процедури вибору стратегій, що перешкоджають розвитку відповідних негативних тенденцій.

Работа посвящена вопросам раннего обнаружения проблемных ситуаций в электроэнергетике, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций с возможными убытками как в сфере производства и поставок электроэнергии, так и в сфере ее потребления. В работе предлагается подход, позволяющий прогнозировать появление подобных событий при возникновении определенных сочетаний значений выделенных факторов, изменения которых наблюдаются в статистических данных, и процедуры выбора стратегий, препятствующих развитию соответствующих негативных тенденций.

This paper addresses early detection of problematic situations in the power that can lead to accidents with possible losses in the production and supply of electricity, as well as in its consumption. An approach that allows you to predict the likelihood of such events when certain combinations of values of the extracted factors, changes which are observed in the statistics and the procedures for selecting strategies for preventing the development of the negative trends it is proposed.

**Введение.** Своевременное распознавание неблагоприятных малозаметных процессов позволяет планировать и реализовывать адекватные меры по их нейтрализации вплоть до полного прекращения, что позволяет значительно повысить надежность функционирования. Целью работы является по-

становка и формализация задачи раннего обнаружения потенциальных проблемных ситуаций в электроэнергетике, которые могут привести к потерям различного уровня в результате прекращения поставок электроэнергии потребителям. В свою очередь, решение данной задачи позволяет сформулировать задачу управления развитием электроэнергетической системы в условиях функционирования оптового рынка электроэнергии, решение которой позволяет выбрать стратегии развития, препятствующие возникновению негативных последствий изменения ее состояния.

Суть обсуждаемой проблемы заключается в следующем. Для управления производством и поставками электроэнергии Национальной комиссией регулирования электроэнергетики (НКРЭ) Украины в соответствии с практикой стран Евросоюза и России принята концепция оптового рынка электроэнергии и его участников [1–2]. В соответствии с положениями данной концепции предлагается использовать систему двухсторонних договоров между поставщиками (производителями) и потребителями электроэнергии, включающих долгосрочные, краткосрочные договора и договора по результатам торгов на балансирующем рынке электроэнергии, на котором выполняется согласование платежеспособного спроса на электроэнергию на следующие сутки и возможностей поставщиков и производителей его удовлетворения [3].

Энергосистема, включающая подсистемы производства, распределения и поставок электроэнергии, находится под влиянием процессов износа оборудования, морального старения используемых технологий и других случайных процессов, которые могут приводить к нарушениям графиков поставок электроэнергии, что в свою очередь снижает конкурентный потенциал энергосистемы и может стать причиной ее последующих убытков. Анализ текущего и прогнозного состояния энергосистемы, обеспечивающий своевременное обнаружение отрицательных тенденций в динамике изменения параметров функционирования представляют собой важный источник повышения эффективности управления и обеспечивающий процессы энергосбережения.

**Постановка задачи.** Выполняя анализ статистики процессов производства, поставок и потребления электроэнергии, можно обнаружить определенные тенденции, которые могут служить источниками информации для получения оценок возможностей возникновения проблемных ситуаций на ранних проявлениях изменений. На их основе могут быть сформированы совокупности соответствующих стратегий управления, реализация которых будет способствовать восстановлению требуемого состояния функционирования стадий производства, поставок, распределения и потребления электроэнергии.

Рассматриваемые задачи могут быть представлены в виде совокупности математических моделей, отражающих показатели процессов производства, поставок, распределения и потребления электроэнергии в зависимости от уровня влияния внешних и внутренних факторов, что позволяет анализировать динамику их изменения во времени и получить оценки контролируемых параметров и величин, а также оценки моментов выхода их за пределы зада-

ваемых диапазонов, тем самым предоставляя возможность учесть возникновение проблемных ситуаций. Такие оценки позволяют планировать реализацию стратегий управления, препятствующих развитию негативных тенденций в пределах ограничений располагаемых материальных и временных ресурсов.

Будем считать, что для  $i$ -го производителя (поставщика) электроэнергии,  $i \in I$ , в моменты времени  $t \in T$  может быть определена функция  $y_i(t)$ , отражающая изменение мощности  $i$ -го производителя электроэнергии в соответствии с действием двухстороннего договора о производстве и потреблении электроэнергии,  $i \in I$ , которая имеет следующий вид

$$y_i(t) = M_i(t) \cdot k_i(t), \quad i \in I, \quad t \in T. \quad (1)$$

Здесь  $M_i(t)$  – рабочая мощность  $i$ -го производителя,  $k_i(t)$  – оценка значения его коэффициента готовности. В свою очередь можно говорить о существовании зависимостей значений  $M_i(t)$  и  $k_i(t)$  от ряда внешних и внутренних факторов, отражающих влияние внешней среды и внутренних параметров состояния энергосистемы.

Участники договорных отношений при выполнении договорных обязательств реализуют передачу электроэнергии, значения мощности которой могут быть представлены зависимостями следующего вида

$$x_j(t) = y_i(t) + z_k(t) + e_{ijk}(t). \quad (2)$$

Здесь  $x_j(t)$  – уровень потребления электроэнергии  $j$ -го потребителя,  $j \in J$ ;  $z_k(t)$  – объем внешних поставок электроэнергии от  $k$ -го поставщика,  $k \in K$ , а  $e_{ijk}(t)$  – текущий уровень неудовлетворенного спроса, вызванного проблемными ситуациями как в сфере производства, распределения и поставок, так и в сфере потребления.

Если  $\exists t_0 \in T$ :

$$e_{ijk}(t_0) > h_{ijk}(t_0) \text{ и } \Delta(t_0) > d(t_0), \quad i \in I, \quad j \in J, \quad k \in K, \quad (3)$$

или

$$j_{ijk}(t_0) > w_{ijk}(t_0), \quad i \in I, \quad j \in J, \quad k \in K, \quad (4)$$

где  $h_{ijk}(t)$  – допустимый уровень неудовлетворения спроса от невыполненных обязательств по поставкам электроэнергии в соответствии с действующим двухсторонним договором;

$\Delta(t_0)$  – текущий интервал времени нарушения договорных обязательств;

$d(t_0)$  – допустимый интервал времени нарушения договорных обязательств;

$j_{ijk}(t_0)$  – уровень убытков, включая штрафные санкции, от невыполненных обязательств по поставкам электроэнергии в соответствии с действующим двухсторонним договором;

$w_{ijk}(t_0)$  – допустимый уровень убытков для рассматриваемых участников рыночных отношений, то возникает проблемная ситуация, для предотвращения негативных последствий которой требуется выбор и реализация некоторой стратегии из задаваемого подмножества для восстановления требуемого состояния энергосистемы.

Выбор соответствующих стратегий, обеспечивающих достижение поставленных целей в зависимости от уровня финансирования, может быть представлен задачей определения стратегий преодоления проблемных ситуаций с критериями, такими как минимум затрат на восстановление работоспособного состояния энергосистемы, минимум потерь вследствие возникновения нарушений поставок электроэнергии потребителям, максимум эффективности компенсаций нарушений рассматриваемых поставок при ограничениях на потребляемые материальные и временные ресурсы.

Будем считать, что для каждого  $i$ -го производителя,  $i \in I$ , можно определить  $S_i$  – множество стратегий снижения негативных последствий тенденций изменения процессов производства, распределения и поставок электроэнергии доступных в момент  $t \in T$ ,  $c_s$  – стоимость реализации  $s$ -й стратегии,  $s \in S_i$ ,  $e_s$  – эффективность реализации  $s$ -й стратегии;  $p_s$  – оценка максимальных потерь при реализации  $s$ -й стратегии  $r_{ls}$  – требуемые ресурсы  $l$ -го вида для реализации  $s$ -й стратегии,  $R_l$  – доступный объем ресурсов  $l$ -го вида.

Тогда при условии альтернативности вариантов стратегий снижения негативных последствий тенденций изменения состояния энергосистемы, которое описывается с использованием логических переменных, принимающих значения из множества  $\{0, 1\}$ , для каждого момента возникновения проблемной ситуации может быть рассмотрена следующая задача выбора стратегии.

Для  $i$ -го производителя,  $i \in I$ ,  $\forall t = t_0 \in T$ , найти стратегию  $s^*$  в виде значений  $\{a_s\}$ , которая обеспечивает выполнение следующих условий

$$C(t_0) = \sum_{s \in S_i} c_s a_s \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$E(t_0) = \sum_{s \in S_i} e_s a_s \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$P(t_0) = \sum_{s \in S_i} p_s a_s \rightarrow \min \quad (7)$$

при ограничениях

$$\sum_{s \in S_i} a_s \leq 1, \quad t \in T, \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S_i} r_{ls} a_s \leq R_l, \quad l \in L, \quad (9)$$

$$a_s \in \{0, 1\}, \quad s \in S_i, \quad t \in T. \quad (10)$$

Задача выбора стратегий (5)–(10) является многокритериальной и для ее решения необходимо применять методы согласования критериев. В этом случае искомая стратегия  $s^*$  определяется компонентом решением задачи (5)–(10), для которого  $a_{s^*} = 1$ .

**Выводы.** В работе сформулированы условия и содержание задач раннего обнаружения проблемных ситуаций в электроэнергетике, которые могут привести к соответствующим аварийным процессам и потерям как со стороны производителей и поставщиков электроэнергии, так и со стороны ее потребителей, произведена формализация рассматриваемой задачи в виде совокупности моделей с оценками выбранных факторов, которые могут быть использованы для выбора стратегий противодействия негативным последствиям проблемных ситуаций. Решение задач раннего обнаружения проблемных ситуаций в электроэнергетике предоставляет значительные преимущества по своевременному предотвращению развития негативных процессов и восстановления требуемого состояния функционирования электроэнергетических систем с согласованными значениями критериев эффективности. Использование для этих целей совокупности взаимодействующих математических моделей позволяет получить оценки возникновения событий выхода контролируемых параметров за пределы диапазона допустимых значений, формировать и выбирать необходимые стратегии, способствующие восстановлению требуемого работоспособного состояния электроэнергетической системы.

**Список литературы:** 1. Постанова КМУ від 16.11.2002 №1789 "Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України". – К. : Інформаційний Бюлетень НКРЕ. – 2002. – № 12. – 53 с. 2. Програма економічних реформ України на 2010–2014 гг. // Комитет по економічним реформам при Президенті України. – Офіц. изд. – К. : 2010. – 99 с. 3. Шевченко С. В. Формирование планов производства электроэнергии с учетом динамики изменения состояния энергосистемы / С. В. Шевченко, А. М. Пивненко // Вісник НТУ «ХП». – 2010. – № 67. – С. 196–202.

Надійшла до редколегії 19.08.2011

**В. А. КОЛБАСИН**, канд. техн. наук, каф. САиУ, НТУ «ХПИ»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗДЕЛЯЕМОЙ ПАМЯТИ ПЛАТФОРМЫ CUDA В ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

У статті розглядається вплив способу використання пам'яті, що розділюється, на продуктивність реалізації штучної нейронної мережі на платформі CUDA. Розглянуто варіанти розміщення кількох вікон вихідних даних та вагових коефіцієнтів в пам'яті, що розділюється. Показано, що через нерациональне використання часу очікування завантаження даних з глобальної пам'яті продуктивність цих варіантів не перевершує продуктивності базової схеми розпаралелювання.

В статье рассматриваются влияние способа использования разделяемой памяти на производительность реализации искусственной нейронной сети на платформе CUDA. Рассматриваются варианты размещения нескольких окон исходных данных и весовых коэффициентов в разделяемой памяти. Показано, что из-за нерационального использования времени ожидания загрузки данных из глобальной памяти производительность этих вариантов не превосходит производительности базовой схемы распараллеливания.

The performance of several schemes of shared memory usage in artificial neural network implementation on a CUDA platform is considered. The placement of several windows of input data and neuron inputs weights in shared memory is investigated. It is shown, that due to waiting while data is loaded from global memory, performance of these schemes doesn't exceed the performance of basic scheme of parallelization.

**Введение.** Аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) широко применяется для решения многих практических задач, связанных с распознаванием образов, классификацией сигналов различной природы [1,2]. Одним из существенных ограничений при использовании ИНС является их высокая ресурсоемкость, что усложняет обработку данных в режиме реального времени.

В ИНС каждый нейрон является независимым вычислителем, и все нейроны одного слоя могут работать параллельно. Поэтому для уменьшения времени обработки данных искусственными нейронными сетями могут быть использованы технологии параллельных вычислений.

Для параллельной реализации ИНС используются технологии команд потоковых SIMD-расширений процессора (SSE), средства многопроцессорных и распределенных вычислений (OpenMP и MPI, соответственно), технологии неграфических вычислений на процессорах видеокарт (AMD StreamComputing, NVidia CUDA).

Технология NVidia CUDA (Computer Unified Device Architecture) [3,4] позволяет использовать процессоры видеокарт для выполнения неграфических расчетов, обеспечивая высокую вычислительную производительность при сравнительно низкой стоимости решения. В работах

[5-7] было показано, что реализация ИНС на базе платформы CUDA позволяет достичь существенного прироста производительности в задачах обработки данных ИНС, и были предложены схемы параллельной реализации ряда ИНС. В работе [7] автором была предложена схема распараллеливания вычислений для обработки нейронной сетью прямого распространения потока данных. Данная схема предполагает обработку одного блока данных на одном мультипроцессоре, при этом значения выходов обрабатываемых слоев нейронов располагаются в разделяемой памяти CUDA. В случаях, когда размеры ИНС малы, объем разделяемой памяти позволяет разместить в ней переменные для обработки нескольких блоков данных и даже весовые коэффициенты нейронов. Однако, из-за определенных ограничений на доступ к разделяемой памяти эти меры могут и не привести к увеличению скорости обработки. Проверке данных возможностей ускорения обработки посвящена данная работа.

**Схема обработки данных с использованием ИНС.** Как и в работе [7], будем исходить из предположения, что входной поток данных разбивается на окна анализа фиксированной длины, а затем данные каждого окна анализа передаются на вход ИНС. Также в данной работе предполагается, что если в прикладной задаче окна анализа перекрываются, то и ИНС они обрабатываются независимо друг от друга. То есть, задача оптимизации обработки зоны перекрытия окон анализа в данной работе не рассматривается.

Также ограничимся рассмотрением многослойной ИНС прямого распространения с сигмоидной активационной функцией и количеством нейронов входного слоя, равным количеству нейронов входного слоя, поскольку такая ситуация является наиболее сложной с точки зрения производительности.

Значение на выходе каждого нейрона вычисляется по формуле [1]:

$$y_i = f\left(\sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot w_{i,j}\right), \quad (1)$$

где  $x_j$  - значение на  $j$ -м входе  $i$ -го нейрона;

$w_{i,j}$  - весовой коэффициент;

$y_i$  - значение на выходе  $i$ -го нейрона;

$f(z) = 1/(1 + e^{-z})$  - функция активации.

Слой нейронов обрабатываются последовательно: сначала вычисляются значения на выходах всех нейронов первого слоя, затем, используя полученные значения как входные значения следующего слоя, вычисляются значения на выходах второго слоя и т.д. В качестве результатов обработки данных ИНС рассматриваются значения выходов нейронов последнего слоя.

**Оптимизация вычисления ИНС для CUDA.** Обработку данных ИНС предлагается проводить по следующему принципу. Каждое окно исходных

данных будет обрабатываться в одном блоке потоков, а каждый поток будет вычислять значение на выходе одного или нескольких нейронов. При этом количество блоков потоков определяется исходя из требований к скорости реакции системы. Использование большего числа блоков, чем количество установленных на аппаратуре потоковых мультипроцессоров (SMP), позволяет уменьшить затраты на запуск потоков и, если достаточно ресурсов, запустить несколько блоков выполняться на одном SMP.

Таким образом, схема обработки данных имеет следующий вид:

1. Накапливается набор данных из  $N \cdot G$  отсчетов, где  $N$  – длина окна анализа, а  $G$  – количество обрабатываемых за один раз окон анализа. В свою очередь, значение  $G$  имеет смысл делать кратным числу имеющихся SMP.

2. Накопленные данные копируются в память устройства CUDA и запускается их обработка с помощью ИНС. При этом исходные данные копируются в разделяемую память, и послойно выполняется расчет значений выходов каждого слоя нейронов. Значения на выходах последнего слоя нейронов записываются в память устройства CUDA.

3. Результаты обработки копируются в память компьютера.

Для случая малого размера ИНС предлагается проанализировать влияние на производительность следующих модификаций данного подхода.

*Обработка нескольких окон исходных данных в одном блоке.* Как было показано в работе [7], наибольшая производительность достигается, если число потоков в блоке превосходит 100. Если максимальное число нейронов в слое в несколько раз меньше числа потоков, можно попытаться обработать несколько окон данных в одном блоке. При этом во избежание конфликтов доступа к разделяемой памяти и сопутствующего этому снижения производительности данные каждого блока должны быть выровнены по границе банков памяти, то есть на 16 элементов.

*Хранение весов нейронов в разделяемой памяти.* Пусть для максимального числа нейронов в слое  $K$  выполняется соотношение

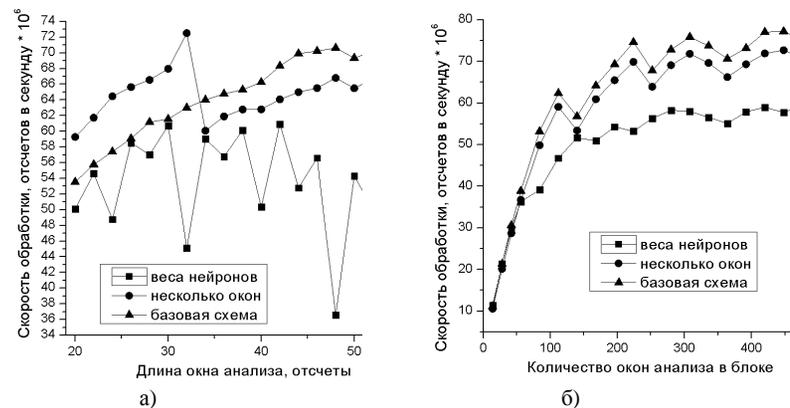
$$2 \cdot A(K) + A(K) \cdot K \leq SM, \quad (2)$$

где  $SM$  – объем разделяемой памяти в переменных с плавающей точкой;

$A(K)$  – оператор округления в большую сторону до кратности 16.

Тогда весовые коэффициенты входов нейронов можно разместить в разделяемой памяти. Однако начала строк матрицы весов должны быть выровнены по границе 16, чтобы не возникало конфликтов доступа к разделяемой памяти.

**Результаты.** В рамках данной работы были измерены скорости обработки данных для базового алгоритма и для его модификаций. Результаты для числа потоков в блоке не более 128 приведены на графике.



Зависимость скорости обработки от длины окна анализа при 196 окнах на блок потоков (а) и от количества окон анализа в блоке при длине окна анализа 50 (б).

Как видно из приведенных графиков, скорость обработки данных с использованием базовой схемы в большинстве случаев выше, чем у предложенных вариантов. В результате детального анализа с использованием средств профилирования было определено, что причиной данного явления стала нехватка ресурсов для запуска достаточного числа потоков выполнения, которые бы сгладили задержки доступа к глобальной памяти устройства. Незначительный прирост производительности наблюдался при обработке нескольких окон анализа в одном блоке, когда в блоке помещалось не менее четырех окон анализа. Данные зависимости могут быть использованы при проектировании технических систем, использующих обработку данных при помощи ИНС в режиме реального времени.

**Список литературы:** 1. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети / О. Г. Руденко, Е. В. Бодянский. - Х.: Компания СМІТ, 2005. - 408 с. 2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. - М. Финансы и статистика, 2004. - 344 с. 3. NVidia CUDA Programming Guide [Электронный ресурс] / NVidia Corp, 2008. - Режим доступа: [http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/3\\_2/toolkit/docs/CUDA\\_C\\_Programming\\_Guide.pdf](http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/3_2/toolkit/docs/CUDA_C_Programming_Guide.pdf). - 10.05.2011 г. - Загл. с экрана. 4. Борсков А. В. Основы работы с технологией CUDA [Текст] / А. В. Борсков, А. А. Харламов. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 232 с. 5. Jang H. H. Neural Network Implementation Using CUDA and OpenMP / H. H. Jang, A. J. Park, K. C. Jung // Proceeding of Computing: Techniques and Applications, 2008. - p. 155-161. 6. Uetz R. Large-scale Object Recognition with CUDA-accelerated Hierarchical Neural Networks Intelligent Computing and Intelligent Systems / R. Uetz, S. Behnke // Proceeding of Intelligent computing and Intelligent Systems, 2009. - p. 536 - 541. 7. Колбасин В. А. Параллельная обработка данных искусственными нейронными сетями на платформе CUDA / В. А. Колбасин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - Харьков, 2011. - № 3/3 (51). - С. 54-57.

Поступила в редколлегию 22.08.2011

*Т. Є. АЛЕКСАНДРОВА*, доц., канд. техн. наук, каф. САіУ, НТУ «ХП»;  
*А. С. ЧИРВА*, студентка, каф. САіУ, НТУ «ХП»

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ КОРПОРАТИВНИХ КЛІЄНТІВ КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ

Метою даної розробки є створення нової моделі рейтингу, що змогла дати комплексну оцінку фінансового стану клієнта та врахувати його потенціальний розвиток, а також розробка інформаційної системи, яка зберігала б у собі усю інформацію про клієнтів, для виявлення установами банківської сфери серед юридичних осіб бажаючих отримати кредит тих, які мають найменший ризик неповернення банківських кредитів. Будуть розглянуті методи аналізу й керування кредитними ризиками, що дозволяють максимально зменшити видачу «проблемних» кредитів.

Целью данной разработки является создание новой модели рейтинга, которая смогла бы дать комплексную оценку финансового состояния клиента, и учесть его потенциальный рост. Так же разработка информационной системы, которая сохраняла бы в себе всю информацию о клиентах, для выявления учреждениями банковской сферы среди юридических лиц, желающих получить кредит тех, которые имеют наименьший риск невозврата банковских кредитов. Будут рассмотрены методы анализа и управления кредитными рисками, позволяющие максимально уменьшить выдачу "проблемных" кредитов.

The purpose of this development is to create a new model of the rating, which could give the complex assessment of the financial state of the customer and consider its potential development, and developing an information system that would preserve all the information in a customer. To identify banking institutions among entities wanting to get credit those who have the lowest risk of non-bank loans. Will cover methods of analysis and credit risk management, allowing minimize the issue of troubled loans.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Умови жорсткої банківської конкуренції, що вимагають від кредитних організацій оперативного прийняття рішень щодо надання кредитних запозичень з метою залучення корпоративної клієнтурі, з одного боку, і високих кредитних ризиків, що супроводжують кредитування реального сектора економіки, – з іншого, культивують необхідність розробки та впровадження удосконалених технологій, здатних якісно і в прийнятні для клієнтів терміни оцінити їх кредитоспроможність. У той час як інші кредитні організації, керуючись прибутковістю, здатні видати кредит на першу вимогу позичальника без достатніх підтверджень його кредитоспроможності, беручи на себе при цьому, як правило, невинуваті ризики. Очевидно, що жоден з перерахованих вище варіантів кредитної політики банку щодо корпоративних клієнтів не прийнятний.

З метою вирішення проблеми суміщення оперативності і якості оцінки кредитних ризиків позичальників пропонуємо один з варіантів розробки методики експрес-оцінки кредитоспроможності корпоративних клієнтів, яка

дозволить визначити рівень кредитного ризику на основі фінансових коефіцієнтів.

**Постановка задачі.** Розробити систему автоматизації моніторингу клієнта комерційного банку, яка б допомагала зменшити існуючу диспропорцію інформації між позичальниками та емітентами, з одного боку, і кредиторами та покупцями боргових зобов'язань з іншого. Методика визначення рейтингу клієнта комерційного банку повинна швидко й ефективно допомагати приймати відповідальні стратегічні рішення отримання кредиту, відстрочки платежів, рефінансування.

Для реалізації поставленої задачі було виконане наступне:

- переглянуто характеристику аналізу фінансової звітності та визначено фінансовий рейтинг як основи для визначення кредитоспроможності клієнта комерційного банку за допомогою вибраного методу;
- розроблено методику визначення рейтингу клієнта;
- розроблено базу даних, що включає в себе інформацію про клієнтів;
- розроблено програму обслуговуючу інформаційну систему, яка б надавала користувачам результати рейтингового процесу.

**Моделювання фінансового та якісного рейтингу корпоративних клієнтів комерційного банку.** Моделі рейтингової оцінки фінансової та якісної стабільності можуть застосовуватися як для внутрішніх цілей підприємства, так і аналізу їх бізнес-ризиків діловими партнерами – комерційними банками, інвестиційними компаніями, постачальниками та інше.

Фінансовий рейтинг визначається на підставі даних балансового звіту та звіту про фінансові результати («жорсткі показники» / "hard facts").

Фінансовий рейтинг визначається на підставі двох статичних, трьох динамічних показників. Схема визначення фінансового рейтингу має вигляд, який поданий на рис. 1.



Рис. 1 – Схема визначення фінансового рейтингу

Процес визначення фінансового рейтингу реалізується за допомогою методу Альтмана.

Якісний рейтинг (Qualitative rating) визначається на підставі аналізу наступних якісних факторів / показників ("soft facts") та відповідних вагових значень, див. рис. 2.



Рис. 2 – Схема визначення якісного рейтингу

Показники якісного рейтингу обробляються за допомогою методу бальних оцінок.

З метою вирішення проблеми суміщення оперативності і якості оцінки кредитних ризиків позичальників пропонуємо один з варіантів розробки методики експрес-оцінки кредитоспроможності корпоративних клієнтів, яка дозволить визначити рівень кредитного ризику на основі фінансових коефіцієнтів.

Слід зазначити, що запропонована методика застосовує комплексний підхід к оцінці кредитоспроможності корпоративних клієнтів, що приймає до уваги не тільки їх фінансовий стан, але й якісні чинники їх діяльності, такі як рівень менеджменту, сутність угоди яка кредитується, структура власників та інше. Остаточний рейтинг корпоративного клієнта визначається за алгоритмом поданим на рис. 3.

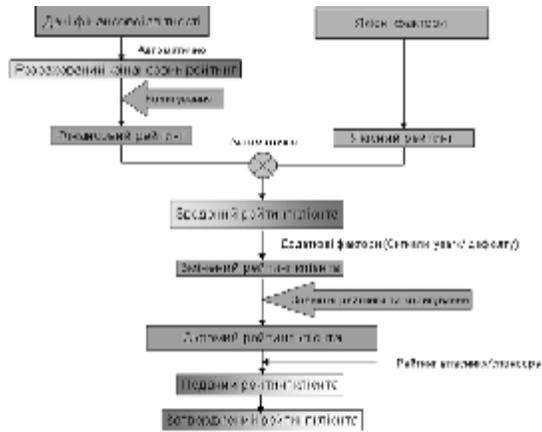


Рис. 3 – Схема визначення рейтингу клієнта банку

Зведений рейтинг клієнта є результатом інтеграції фінансового та якісного рейтингів позичальника. Вага фінансового та якісного рейтингів залежить від величини компанії, яка визначається сумою її чистого доходу за рік (виручки від реалізації з вирахуванням ПДВ, акцизу та інших вирахувань з доходу), див. таблицю нижче.

Вага фінансового та якісного рейтингів

Чистий дохід в 1000 грн	Вага фінансового рейтингу	Вага якісного рейтингу
700.000 та вище	65%	35%
70.000	60%	40%
7.000	55%	45%
1.500	50%	50%

Таким чином, можна зробити висновок, що зведений рейтинг допоможе компаніям із сектору середнього бізнесу, які мають незначний дохід, а як слід низький фінансовий рейтинг, не вийти з числа корпоративних клієнтів банку. Це стає можливим за рахунок якісних показників, що значно підвищують оцінку клієнта в зведеному рейтингу. Отже використання даної методики дозволить «середньому бізнесу» вийти із фінансової кризи без втрати свого положення у переліку корпоративних клієнтів банку, а банківським установам оптимізувати суму страхових резервів та водночас не втратити клієнтів.

Для автоматизації рейтингового процесу пропонується програма, інфологічна модель якої подана на рис. 4.

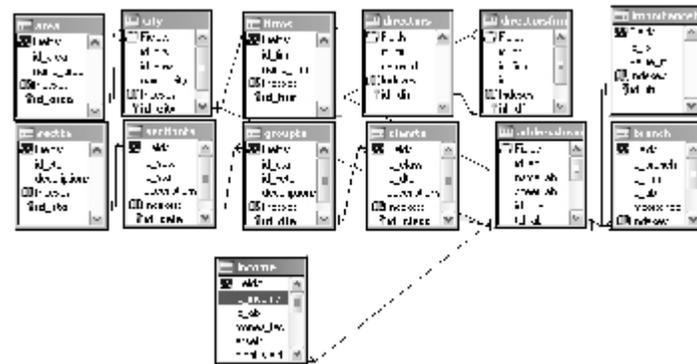


Рис. 4 – Інфологічна модель бази даних

На рис. 5 подані результати обчислень, тобто всі показники рейтингу корпоративного клієнта.

Категорія фінансової звітності		
ФІНАНСОВИЙ РЕЙТИНГ	Значення	кат
Загальн. оверрац. доц. (в 1000 UAH)	41544,1	3
Прощ. котік за звітом про приб. та об. / Зобов'яз. (чисті)	13,14	5-
Прибуток до податків / Загальні активи (зобов'язання)	3,35	4
ЕВГДА / Процентні витрати	1,27	5-
Капітал / Загальні активи	25,28	4+
Оборотні активи - запаси / Короткостр. зобов'язання	56,79	6
Розрахований фінансовий рейтинг		5+
ЯКІСНИЙ РЕЙТИНГ		
		кат
1 Структура менеджменту та власників		
1.1 Освіта / Досвід / Компетентність / Бізнес-чуття	(1)	
1.2 Відповідальність Менеджменту	(1)	
1.3 Кількість акцій, що утримуються Менеджментом	(5)	
2 Облік та звітність		
2.1 Звітність / Планування	(3)	
2.2 Якість Планування / Контролю	(2,5)	
2.3 Фінансові звітності	(1)	
3 Обладнання та Системи		
3.1 Сучасність Обладнання	(2)	
4 Ринок та Ринкова Позиція		
4.1 Розвиток Ринку	(2)	
4.2 Ринкова Позиція	(3)	
Розрахований якісний рейтинг		4
КОРЕКТУВАННЯ		
Зведений рейтинг клієнта		5+
Додаткові фактори		
Розрахований Рейтинг Клієнта		5+

Рис. 5 – Зведений рейтинг клієнта

**Висновки.** За допомогою запропонованої методики, процес моніторингу клієнта комерційного банку піднявся на якісно новий рівень, допомагаючи зменшити існуючу диспропорцію інформації між позичальниками та емітентами, з одного боку, і кредиторами та покупцями боргових зобов'язань з іншого. Нова методика визначення рейтингу клієнта комерційного банку дозволить швидко й ефективно приймати відповідальні стратегічні рішення. Результати роботи можуть бути використані у відділах ризику банківських послуг для автоматизації процесу рейтингу кредитів, а також для проведення різних досліджень в області фінансової стабільності підприємств.

**Список літератури:** 1. *Беляев Р. С.* Процесс проведения оценки кредитоспособности заемщиков // Управление корпоративными финансами / Р. С. Беляев. – М. : Наука. – 2006. – № 5. – С. 8–11. 2. *Ковалев П. П.* Некоторые аспекты управления рисками // Деньги и кредит / П. П. Ковалев. – М. : Наука. – 2006. – С. 47–51. 3. Рейтингове агентство «Кредит-Рейтинг». – Сайт в мережі Інтернет. – [www.credit-rating.com.ua](http://www.credit-rating.com.ua).

Надійшла до редакції 20.05.2011

УДК 004.8

*И. Д. ПОЛОСУХИН*, студент НТУ «ХПИ»

## ДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГРЕГИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В статті розглядається задача кластеризації часових рядів стосовно котирування акцій. У роботі були використані: метод отримання головних компонент «Гусениця» і коефіцієнт Херста для отримання параметрів ряду; метод  $k$ -середнього та евклідова відстань для кластеризація.

В статье рассматривается задача кластеризации временных рядов применительно к котировкам акций. В работе были использованы: метод получения главных компонент «Гусеница» и коэффициент Херста для подсчета параметров ряда; метод  $k$ -среднего и евклидово расстояние для кластеризации.

In this paper was examined a problem of time series based on stocks market history prices. For this purpose was used: method of Singular Spectrum Analysis and Hurst exponent for parameters calculation;  $k$ -mean clustering and Euclidean distance for clustering.

**Введение.** Успешное решение задачи прогнозирования рядов в значительной мере определяется соответствием выбранной модели истинной структуре ряда. Задача выбора вида модели не имеет формального решения и в значительной мере опирается на эвристические соображения в сочетании со статистическими методами оценивания параметров модели и последующей проверкой ее адекватности. Очевидно, что решение указанной задачи существенно облегчается, если предварительно сгруппировать исследуемые временные ряды в группы, содержащие ряды, в определенном смысле близкие по структуре. Для решения этой вспомогательной задачи можно использовать известные методы кластеризации, однако при этом возникает проблема выбора обоснованных показателей «близости» временных рядов на основе вычисляемых статистических характеристик.

**Проблема кластеризации временных рядов.** Различные подходы к решению задачи кластеризации временных рядов рассматривались в ряде работ [1, 2]. При этом для решения задачи использовались такие методы кластеризации, как перегруппированная кластеризация (*relocation clustering*), агломеративная иерархическая кластеризация, метод  $k$ -среднего, метод нечеткого  $c$ -среднее и другие.

В [1] рассмотрены вопросы классификация временных рядов цен на акции по индустриальным категориям, таким как Media, IT, и др. и проведен анализ движения цен акций между различными категориями. При этом использовались следующие показатели:

- результаты усреднения ряда на недельной основе;
- процентные приросты цен на акции в определенные моменты времени;
- нормализованные значения процентных приростов цен акций;

Для решения задачи использовалась иерархическая конгломеративная кластеризация с функциями стоимости *Single link (min)*, *Complete link (max)*, *average link*, *ward's method*. В качестве метрики была выбрано Евклидово расстояние.

Основные подходы к задаче кластеризации временных рядов рассмотрены в [2]. Таким образом, основная проблема состоит в выборе системы показателей временного ряда, обеспечивающих формирование критериев их подобия (близости) и соответствующего метода кластеризации.

**Выбор перечня показателей.** Для решения задачи кластеризации были в работе выбраны следующие показатели временного ряда  $X = \{x_i\}_{i=1}^N$ :

- Показатель «математическое ожидание» –  $M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ .
- Показатель «среднее квадратичное отклонение» –  $Std_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2}$ .
- Показатель «тренд» – направленность роста временного ряда:

$$P^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & N \end{pmatrix}, \Theta = (P^T P)^{-1} P^T X, T_x = \Theta_2.$$

- Показатель, основанный на использовании коэффициентов разложения ряда по методу главных компонент. Для расчетов целесообразно воспользоваться методом «Гусеницы» (Singular Spectrum Analysis) [3]. Расчеты производятся на основе использования так называемой «траекторной» матрицы, вычисленной на интервале времени  $K = N - M + 1$ , где  $M \leq \frac{N}{2}$ :

$$P = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_K \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{K+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_M & x_{M+1} & \dots & x_N \end{pmatrix}, V = \frac{1}{K} P^T P. \quad (1)$$

Далее выполняется сингулярное разложение матрицы  $V$ :  $V = U \Sigma V$ , где  $\Sigma_x$  – диагональная матрица размера  $M \times K$  с неотрицательными вещественными числами по диагонали. Эти числа и используются в качестве коэффициентов разложения по методу «Гусеницы».

- Показатель Хёрста [4] – показатель стохастичности ряда, позволяющий оценить, является ли ряд стохастическим, белым шумом или же имеет место наличие тренда. Показатель определяется из соотношения:

$$M \left[ \frac{R(n)}{S(n)} \right] = C n^H, n \longrightarrow \infty, \quad (2)$$

где  $\frac{R(n)}{S(n)}$  – нормированный диапазон (rescaled range),  $C$  – константа,  $H$  – показатель Хёрста. В свою очередь нормированный диапазон можно вычислить следующим способом:

$$R(n) = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) - \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_n), S(n) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2}, \quad (3)$$

где  $y_i = x_i - M_x$ ,  $z_i = \sum_{j=1}^i y_j$ .

Для получения оценки  $M \left[ \frac{R(n)}{S(n)} \right]$ , нужно усреднить  $\frac{R(i)}{S(i)}$  для всех  $i = 1, 2, \dots, n$ . Параметр Херста в свою очередь оценивается с использованием уравнения линейной регрессии, полученного путем логарифмирования (5):

$$\log \left( M \left[ \frac{R(n)}{M(n)} \right] \right) = H \log(n) + \log(C). \quad (4)$$

Окончательно выражение для искомой оценки приобретает вид:

$$P^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \log(1) & \log(2) & \dots & \log(n) \end{bmatrix}, Y^T = \left[ \log \left( M \left[ \frac{R(1)}{M(1)} \right] \right), \log \left( M \left[ \frac{R(2)}{M(2)} \right] \right), \dots, \log \left( M \left[ \frac{R(N)}{M(N)} \right] \right) \right]; \quad (5)$$

$$\Theta = (P^T P)^{-1} P^T Y, H_x = \Theta_2. \quad (6)$$

**Выбор алгоритма кластеризации и метрики.** В работе был использован известный метод кластеризации  $k$ -среднее. В качестве метрики было выбрано Евклидово расстояние в пространстве оцениваемых показателей.

Соответственно можно ввести показатель расстояния между двумя рядами:

$$P(X^i, X^j) = \sqrt{\sum_k (p_k^i - p_k^j)^2}, \quad (7)$$

где  $p_k^i$  –  $k$ -й показатель  $i$ -го временного ряда.

**Вычислительный эксперимент.** Для вычислительного эксперимента были использованы временные ряды цен на акции на бирже NASDAQ за последние 5 лет. Был проведен эксперимент, на 500 временных рядах,

которые разбивались на 10 групп. В приведенной ниже таблице, указаны среднее расстояние, заданное формулой (7), между временными рядами внутри одной группы.

Как видно из таблицы, группы 1–6 имеют сравнительно малое среднее расстояния между временными рядами. Группы 7–10 в таблице не приведены, так как среднее расстояние в них на порядок больше, что означает, что эти группы содержат выбросы. Подсчёт среднего расстояния между центрами кластеров показал, что они удалены друг от друга, так как расстояние превышает  $10^5$ .

Таблица полученных групп

	Номер группы					
	1	2	3	4	5	6
Количество рядов	88	46	81	33	161	65
Среднее P в группе	2232	7150	4392	9293	1426	3101

**Заклучение.** В перспективе, для лучшей кластеризации, можно использовать другие методы. Например, *c*-среднее – нечеткая кластеризация, которая позволит определить с какой степенью тот или иной ряд относится к какому-то кластеру. Целесообразно также использовать методы иерархической кластеризации, которые не требуют задания исходного числа кластеров, а позволяют найти их в процессе выполнения процедуры кластеризации. Так же для процедуры *c*-среднего можно использовать метрику относительного расстояния, вычисленную через корреляционный коэффициент Пирсона.

Представляет интерес так же использование других показателей, таких как коэффициенты разложения на прототипы функций (вейвлеты), коэффициенты разложения Фурье и другие возможные разложения, что, возможно, позволит повысить точность кластеризации.

**Список литературы:** 1. *Todd Wittman*. Time-Series Clustering and Association Analysis of Financial Data [Электронный ресурс] : сайт математического факультета Университета Калифорнии – Режим доступа: <http://www.math.ucla.edu/~wittman/thesis/project.pdf>. 2. *T. Warren Liao*. Clustering of time series data — a survey. [Электронный ресурс]: архив статей Университета Пенсильвании – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.6594&rep=rep1&type=pdf>. 3. Метод «Гусеница» [Электронный ресурс]: сайт об методе «Гусеница» – Режим доступа: <http://www.gistatgroup.com/gus/> 4. Показатель Хёрста [Электронный ресурс] : международная интернет энциклопедия – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Hurst\\_exponent](http://en.wikipedia.org/wiki/Hurst_exponent).

Надійшла до редколегії 16.06.2011

УДК 658.58:621

*А. В. КИЗИМ*, канд. техн. наук, доц. ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;  
*С. В. ШЕВЧЕНКО*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## О МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Визначені задачі методологічної і програмно-інформаційної підтримки процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР), основні проблемні галузі наукової підтримки організації робіт з ТОіР. Пропонуються мінімальний набір функцій системи програмно-інформаційної підтримки процесу ТОіР, а також використання в подібних системах засобів аналізу та інтелектуальної підтримки. Наведено основні елементи методики організації ремонтних робіт із застосуванням засобів автоматизації та приклади IDEF0–діаграм опису процесу ТОіР.

Определены задачи методологической и программно-информационной поддержки процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР), основные проблемные области научной поддержки организации работ по ТОиР. Предлагаются минимальный набор функций системы программно-информационной поддержки процесса ТОиР, а также использование в подобных системах средств анализа и интеллектуальной поддержки. Приведены основные элементы методики организации ремонтных работ с применением средств автоматизации и примеры IDEF0–диаграмм описания процесса ТОиР.

There were identified problems of methodology and software-information support to maintenance and overhaul (MRO), and main areas of scientific support to the organization of work on maintenance and repair. Proposed minimum set of function of system software and information support to MRO, as well as the use of such systems, analytical tools and intellectual support. Basic elements of MRO organization methodic showed.

**Введение.** После распада СССР многие производственные предприятия вынуждены в новых условиях самостоятельно решать проблему обеспечения непрерывного функционирования своего оборудования. Работоспособность оборудования напрямую влияет на производственно-финансовые показатели предприятия и его экономическое состояние. Поэтому решение задачи обеспечения эффективной организации технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) производственного оборудования имеет достаточно большое значение.

Рассматриваемая проблема заключается в том, что ранее в СССР существовали специализированные научные институты (ЭНИМС, ЭНИКМАШ, ВНИИЛИТМАШ, ВНИИДМАШ), занимающиеся научной организацией ТОиР, которые публиковали методические рекомендации по организации на предприятиях системы ТОиР и, в частности, планово-предупредительных ремонтов (ППР), а после его распада отсутствует системная организация работы ремонтных служб, и каждое предприятие вынуждено самостоятельно решать задачи организации ТОиР своего оборудования. Упомянутые институты под руководством ЭНИМС еще в

1986 г. подготовили редакцию типовой системы ТОиР металло- и деревообрабатывающего оборудования [1].

По нашему мнению, в настоящее время имеется недостаточное количество публикаций и научных работ, посвященных обеспечению научной поддержки организации работ по ТОиР. Известно множество исследований по обеспечению надежности машин и систем, и гораздо меньше – публикаций по научной организации ТОиР. Исключением является наличие ряда работ по организации работы служб ТОиР металлургической отрасли [2] и публикаций по организации ТОиР горного оборудования.

В СССР была принята серия стандартов по системе технического обслуживания и ремонта техники (ГОСТ 18322–78, ГОСТ 21623–76, ГОСТ 23660–79 и ГОСТ 28.001–83). В 1999 г. в России был принят Межгосударственный стандарт ГОСТ 15.601–98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое обслуживание и ремонт техники. Основные положения», который не регламентирует непосредственно саму организацию и проведение процессов, работ и процедур ТОиР. Многие предприятия все еще пользуются методологическим наследием минувшей эпохи, но в современных условиях многие положения советской системы ТОиР просто неприменимы по разным причинам (коммерциализация и рыночные условия, сокращение финансирования и отсутствие необходимых мощностей и объемов капитальных затрат, не позволяющие выполнять весь комплекс ППР в полном объеме). В работе [4] приведена структура методики автоматизации ремонтных работ предприятия, которая позволяет создать не только методологическую базу для работ ТОиР, но и автоматизировать соответствующие процессы. В работе [5] с системных позиций приводятся схемы управления развитием сложных систем с учетом их состояния, поддерживаемого выполнением экономически обоснованных работ ТОиР.

Основные проблемные области научной поддержки организации работ по ТОиР представляются нам следующим образом:

- организация управления службами ТОиР предприятия, а также автономным ремонтно-сервисным предприятием (задачи управления предприятием или подразделением, организации работ, оценки и повышения эффективности работы служб ТОиР, контроля работ, составления производственной программы);
- использование рациональных стратегий ТОиР, минимизирующих затраты (аварийные ремонты, а также ремонты по наработке и по фактическому состоянию);
- контроль технического состояния, диагностика (в т.ч. неразрушающий контроль и вибродиагностика) и прогнозирование отказов оборудования;
- научно-методическая поддержка планирования работ по ремонту и техническому обслуживанию (в т.ч. планирование последовательности обслуживания и ремонта оборудования, определение момента вывода оборудования в ремонт, обеспечение ресурсами работ по ТОиР);

– оптимизация складских запасов запасных частей и материалов для проведения ТОиР.

Многие из выделенных задач имеют решение, применимое при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и для повышения конкурентоспособности предприятия необходимо уделить им особое внимание. Эффективное решение достигается при применении системного подхода в сопровождении подчас и синергетического эффекта.

Анализ возможных положительных изменений и динамики основных показателей эффективности системы ТОиР после внедрения средств автоматизации ТОиР приводился в [3]. Применение научно обоснованной организации ТОиР является источником следующих основных эффектов:

- уменьшение числа поломок и простоев;
- увеличение срока службы обслуживаемых систем;
- сокращение затрат на эксплуатацию;
- повышение производительности оборудования.

Известны отдельные публикации по поддержке внедрения программных систем класса CMMS (Computerized Maintenance Management System, компьютеризированная система управления техническим обслуживанием) и EAM (Enterprise Asset Management, управления основными фондами предприятия), однако очень мало публикаций по вопросам проектирования и реализации подобных систем.

Как показали проведенные исследования, в системе автоматизации процесса ТОиР необходим следующий минимальный набор функций программно-информационной поддержки:

- ведение необходимой информации по ремонтной службе и объектах ремонта в электронном виде (паспортизация оборудования, ведение истории работы с оборудованием, работа в электронном виде с технологической и организационной структурой, хранение информации о материальных ресурсах, ведение информации о сотрудниках);
- ведение электронного журнала проведенных работ по ремонту и обслуживанию оборудования (фиксация в электронном виде информации о составе проведенных плановых и внеплановых работ по ТОиР, затраченных ресурсах и трудозатратах, автоматизированная регистрация проведенной запланированной работы, формирование документов по проведенным работам);
- составление планов проведения работ в электронном виде (добавление в электронный план работ, ресурсов и трудозатрат, автоматизация процесса составления планов с помощью заготовок-шаблонов работ, формирование документов "план работ");
- автоматизация расчетов стоимости работ (расчет стоимости работы, расчет стоимости затрачиваемых материалов, учет вида получения материала в расчетах (покупные или изготавливаемые), задание соотношений и коэффициентов расчета).

При рассмотрении требований к системе автоматизации процессов и задач ТОиР можно подходить к определению функций программной системы также и с точки зрения реализации функций субъектов процесса обеспечения работоспособности оборудования: собственников предприятий, директората, ремонтных служб, специалистов-механиков и подрядных сервисных организаций, осуществляющих ремонт и обслуживание на принципах аутсорсинга. В этом случае концепция построения системы поддержки представляет собой связанную совокупность автоматизированных рабочих мест специалиста, в которых они фиксируют результаты действий по своим работам и процедурам процесса ТОиР. Следует отметить, что результаты процесса ТОиР зависят от совокупности конкурирующих целей субъектов процесса ТОиР, и успех применения средств автоматизации зависит от степени удовлетворения целей субъектов автоматизируемого процесса.

Современные программные системы представляют собой не только инструменты поддержки выполнения функций деятельности специалистов «как есть», но и могут содержать средства интеллектуальной поддержки и разного рода анализа, что повышает их практическую ценность. Для систем программно-информационной поддержки процесса ТОиР – это механизмы интеллектуальной поддержки выполнения работ и процедур ТОиР, план-фактного анализа, прогнозирования отказов оборудования, планирования работ по ТОиР, поддержки принятия решения для отбора наиболее приемлемых вариантов альтернатив (оценка и выбор альтернатив оборудования, материальных и людских ресурсов, ремонтных процедур и др.), а ее система данных – представлять собой не простое хранилище данных (базу данных в классическом смысле), но и содержать метаданные, определяющие способы организации и связи данных низкого уровня, и правила для получения новых решений. Степень полезности программно-информационной системы поддержки ТОиР имеет большие значения при аккумуляции методологических правил организации ТОиР, выполнения работ и процедур ТОиР, опыта экспертов-специалистов по ТОиР в отрасли.

Эксплуатация программных систем приносит максимальный эффект при использовании специально разработанного методического обеспечения. На основании стандартов, опыта работы сервисных организаций и ремонтных подразделений предприятий, экспертных знаний, была formalизована методика автоматизации ремонтных работ предприятия, которая может использоваться в качестве методического обеспечения при проведении процессов ТОиР [4]. При этом для создания методики организации ремонтных работ с применением средств автоматизации решались следующие задачи:

- выделение объекта и направлений исследования;
- выявление субъектов процесса ТОиР, должностных обязанностей и функций служб ТОиР;

- исследование стандартов и документации по ТОиР;
- исследования состава оборудования и объектов обслуживания;
- выявление видов и состава работ;
- описание процессов ТОиР;
- оформление методики автоматизации ремонтных работ предприятия.

Методика автоматизации ремонтных работ является формализацией процесса ТОиР – моделью, которая может применяться при проведении ТОиР с использованием средств программно-информационной поддержки. Методика организации ремонтных работ с применением средств автоматизации содержит следующие основные разделы:

- введение, общие положения и терминология;
- система ТО и ремонта техники (состав процесса, объекты и средства, состав документации ТОиР);
- субъекты процесса ТОиР;
- описание процессов ТОиР (порядок сдачи и приема оборудования, формы и методы проведения, описание процессов «as-is» и «to-be»);
- вопросы обеспечения ТОиР (техника безопасности, информационное, материально-техническое, математическое обеспечение ТОиР, нормирование и планирование).

Формальные описания обобщенных типовых процессов ТОиР «as-is» и «to-be» вынесены в приложения и выполнены в виде функциональных диаграмм в нотации IDEF0. Примеры IDEF0-диаграмм описания процесса ТОиР приведены на рис. 1 и 2.

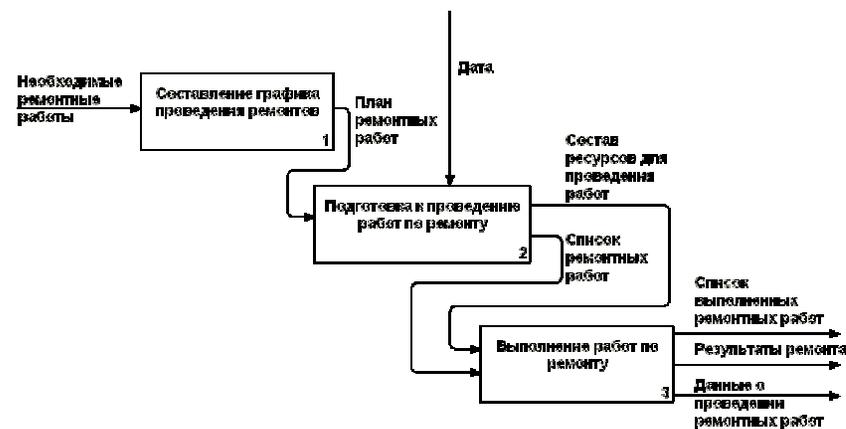


Рис. 1 – Схема процесса «Организация работ по ремонту»



Рис. 2 – Схема процесса «Выполнение работ по ремонту оборудования»

Описанные выше методологические аспекты задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта позволяют повысить эффективность организации и проведения ТОиР, что в итоге повышает производительность оборудования, прибыль и конкурентоспособность предприятий.

**Выводы.** Полученные результаты могут быть использованы ремонтными службами предприятий и специализированными ремонтными организациями при проведении технического обслуживания и ремонта, а также при проектировании и реализации программных систем программно-информационной поддержки ТОиР.

**Список литературы:** 1. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / Минстанкомпром СССР, ЭНИМС. – М. : Машиностроение, 1988. – 672 с. 2. *Ченцов Н.А.* Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник. – /Под ред. В.Я. Седуша, Донецкий национальный технический университет. – Донецк: Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. – 258 с. 3. *Кизим А.В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / *А.В. Кизим* // Известия ВолгГТУ. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. – Волгоград, 2009. – № 6. – С. 118–121. 4. *Кизим А.В.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / *А.В. Кизим, Н.А. Линева* // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2008. – № 2, вып. 4. – С. 43–45. 5. *Шевченко С.В.* Управление развитием сложных систем с учетом стадии их жизненного цикла // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научн. тр. Тематичний випуск „Системний аналіз, управління та інформаційні технології”. - Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2007. –№ 18. – С. 154–157.

Надійшла до редколегії 08.06.2011

УДК 681.3.01:621.311

*Н. Л. ЩЕРБАКОВА*, канд. техн. наук, доц. ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;

*М. В. ЩЕРБАКОВ*, канд. техн. наук, доц. ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;

*В. А. КАМАЕВ*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;

*С. В. ШЕВЧЕНКО*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ОТМЕНЕ ПЕРЕХОДА НА ЛЕТНЕЕ/ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ<sup>1</sup>

Розглянуто методику визначення енергоспоживання при скасуванні переходу на літній / зимовий час. Для реалізації методики використовувалася система інтелектуального прогнозування споживання електроенергії EFAS, за допомогою якої були проведені випробування на комерційних будівлях торгового типу, розташованих у середній широті.

Рассмотрена методика определения энергопотребления при отмене перехода на летнее/зимнее время. Для реализации методики использовалась система интеллектуального прогнозирования потребления электроэнергии EFAS, с помощью которой были проведены испытания на коммерческих зданиях торгового типа, расположенных в средней широте.

The method of determining power consumption for the abolition of daylight saving time. To implement the method used a system of predictive forecasting of electricity consumption EFAS. It tests were conducted on commercial buildings, commercial type, located in the middle latitude.

**Введение.** До 2011 года на территории Российской Федерации осуществлялся переход на зимнее и летнее время. В последнее воскресенье марта стрелки часов переводили на 1 час вперед, а в последнее воскресенье октября – на 1 час назад. Подобный переход в 2011 году осуществляется еще в 82 из 252 государств мира. Данная практика применяется для максимального использования освещения солнечным светом и минимизации потребления электроэнергии и используется странами, расположенными в средних широтах (странами, расположенными вблизи экватора, в основном не используется).

В начале 2011 года президент России Дмитрий. Медведев дал поручение правительству об отмене перевода стрелок часов. В связи с этим, последний раз перевод часов был произведен 27 марта 2011 года, и, начиная с этого момента, страна будет жить только по летнему времени [1].

Альтернативой перехода на летнее время также является сдвиг режима работы на предприятиях в зависимости от времени года. Этой практикой пользуются некоторые отказавшиеся от перевода страны (Япония, Китай, Индия, Сингапур, Узбекистан, Киргизия и т.д.). В Японии, например, при сдаче экзаменов, работа начинается только через 2 часа после восхода солнца.

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ № 10-07-97008-р\_поволжье\_a

В связи с отменой перехода возникает проблема оценки ожидаемой прибыли или затрат на энергопотребление в различных регионах России [2, 3]. Кроме этого, эта оценка зависит от специфики объекта – потребителя электроэнергии.

В статье предлагается методика, основанная на интеллектуальном анализе данных, позволяющая оценить изменение затрат на потребление электроэнергии от отмены перевода часов и, следовательно, реализовать меры по снижению рисков.

**Методика определения энергопотребления.** Данная методика включает в себя последовательность из 6-и шагов, включая реализацию методов прогнозирования.

Шаг 1. Задается дата перевода часов на 1 час вперед  $-D_{T_1}$  (последнее воскресенье марта) и  $T_1$  – время перевода часов; на 1 час назад  $D_{T_2}$  (последнее воскресенье октября) и  $T_2$  – время перевода часов.

Примечание: При весеннем переводе часов в данных, полученных от датчиков, обнаруживался пробел в 1 час от времени  $T_1$ . Для построения прогнозной модели этот пропуск заполнялся повтором данных, снятых за 1 час ранее времени  $T_1$ . Осенью, с момента перевода часов и  $T_2$ , в течение 1 часа получали двойной набор данных. В этом случае оставляли набор данных с момента времени и  $T_2 + 1$ . Погрешность в данных при таких действиях была ничтожна мала, так как перевод осуществляется в ночные часы, при стабильно малом энергопотреблении.

Шаг 2. Выделяется набор данных (с учетом перевода часов) на временном интервале и  $[T_1 - \Delta T_1; T_1 + \Delta T_{12}]$ , где  $\Delta T_1$  – временной интервал, отсчитанный назад с момента  $T_1$  (предполагается взять один день),  $\Delta T_{12}$  – временной интервал, отсчитанный вперед с момента  $T_1$  (предполагается взять один месяц). Выделяется набор данных (с учетом перевода часов) на временном интервале  $[T_2 - \Delta T_2; T_2 + \Delta T_{21}]$ , где  $\Delta T_2$  – временной интервал, отсчитанный назад с момента  $T_2$  (предполагается взять один день),  $\Delta T_{21}$  – временной интервал, отсчитанный вперед с момента  $T_2$  (предполагается взять один месяц).

Шаг 3. Выделяется модифицированный набор данных (при отмене перевода часов) на временном интервале  $[T_1 - \Delta T_1; T_1] \cup [T_1'; T_1' + \Delta T_{12}]$ , где  $\Delta T_1$  – временной интервал, отсчитанный назад с момента  $T_1$  (предполагается взять один день),  $\Delta T_{12}$  – временной интервал, отсчитанный вперед с момента  $T_1' = T_1 - 1$  (предполагается взять один месяц). Выделяется модифицированный набор данных (при отмене перевода часов) на временном интервале

$[T_2 - \Delta T_2; T_2] \cup [T_2'; T_2' + \Delta T_{21}]$ , где  $\Delta T_2$  – временной интервал, отсчитанный назад с момента (предполагается взять один день),  $\Delta T_{21}$  – временной интервал, отсчитанный вперед с момента  $T_2' = T_2 + 1$  (предполагается взять один месяц).

Шаг 4. Проведение предварительного анализа модифицированных данных: исключение аномалий, восстановление пропусков в данных (подстановки среднего значения), кодирование категориальных переменных и нормализация. Здесь следует ввести понятие выброса (аномалии), под которым будем понимать отклонение потребления электроэнергии в текущий момент времени от среднего на  $N$  кВт·ч в течении  $T$  дискретных временных отсчетов. Значения  $N$  и  $T$  устанавливается управляющим в процессе наблюдения за потреблением электроэнергии.

Шаг 5. Построение прогнозной модели, основанной на модифицированных данных, потребления электроэнергии на следующий месяц от  $D_{T_1}$  или  $D_{T_2}$  [4, 5].

Шаг 6. Определение потребления электроэнергии за этот период от  $D_{T_1}$  или  $D_{T_2}$  и сравнение с данными по энергопотреблению, полученными с учетом перевода часов.

**Испытание методики.** Для реализации методики использовалась система интеллектуального прогнозирования потребления электроэнергии EFAS [6]. Система имеет основные компоненты (см. рис. 1):

1. Семантический слой для выбора (описания) проблемы.
2. Диспетчер загрузки и определения качества данных.
3. Диспетчер запросов.
4. Хранилище данных со структурой OLAP с диспетчером загрузки информации с внешних источников данных и с прослойкой, обеспечивающей доступ к хранилищу (например, объектная схема данных, Inq).
5. Компоненты библиотек моделей и методов.
6. Компоненты библиотек процессов (процесс – последовательность вызовов методов для решения проблемы).
7. Метаданные или база знаний.
8. Компонента интеллектуального формирования и управления процессами и потоками потока метаданных.

В системе реализовано 9 моделей прогнозирования, которые разделены на группы: наивные модели, линейные регрессионные модели и нелинейные нейросетевые модели. Все программные классы моделей унаследованы от одного класса абстрактной модели. Ключевым понятием в рассматриваемой системе является процесс (workflow). Под процессом здесь понимается класс,

включающий список последовательно вызываемых моделей и класс настроек модели.

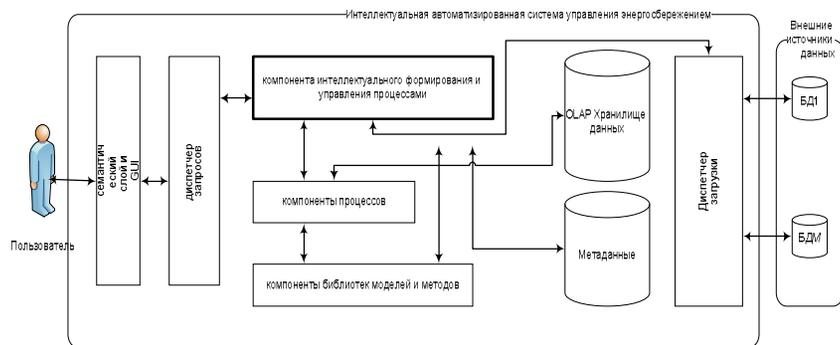


Рис. 1 – Архитектура интеллектуальной системы

В качестве объекта – потребителя электроэнергии выбрано типовое коммерческое здание типа торгового центра, расположенное на широте 52°.

Для весны использовался интервал прогнозирования [23.03.2009 00:00:00; 05.04.2009 23:45:00], где  $D_{T_1} = 29.03.2009$  и  $T_1 = 03:00:00$ .

В табл. 1 приведены реальные и модельные значения энергопотребления за этот период и разница между ними.

Таблица 1- Реальные и модельные значения энергопотребления, весна

Реальное значение энергопотребления с учетом перевода часов (КВт·ч)	Модельное значение энергопотребления (КВт·ч)	
	Модель скользящего среднего	Наивная модель
194259,67	194865,62	195190,87
Отклонение	-605,95	-931,3

Выборка значений потребления электроэнергии, на момент перехода на летнее время, представлена на рис. 2.

Для осени использовался интервал прогнозирования [19.10.2009 00:00:00; 01.11.2009 23:45:00], где  $D_{T_2} = 25.10.2009$  и  $T_2 = 03:00:00$ .

Выборка значений потребления электроэнергии, на момент перехода на зимнее время, представлена на рис. 3.

В табл. 2 приведены реальные и модельные значения энергопотребления за этот период для осеннего перехода и разница между ними.



Рис. 2 – График выборки значений потребления электроэнергии в коммерческом здании на весеннем этапе перевода часов

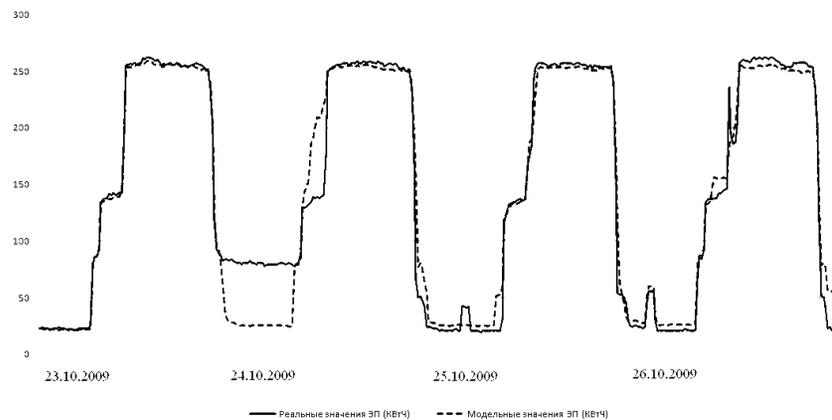


Рис. 3 – График выборки значений потребления электроэнергии в коммерческом здании на осеннем этапе перевода часов

Таблица 2 - Реальные и модельные значения энергопотребления, осень

Реальное значение энергопотребления с учетом перевода часов (КВт·ч)	Модельное значение энергопотребления (КВт·ч)	
	Модель скользящего среднего	Наивная модель
199314	197242,5	198373,2
Отклонение	2071,5	940,8

**Заключение.** В статье предложена методика определения потребления энергопотребления с учетом отмены перевода стрелок часов на летнее/зимнее время.

Испытание методики на зданиях, расположенных в средних широтах подтвердило, что перевод стрелок в городах малоэффективен, так как большинство офисов, магазинов и учебных заведений используют освещение весь рабочий день. Это обусловлено большой площадью помещений и сравнительно малой поверхностью окон, что приводит к необходимости постоянного освещения в помещении.

Предложенная методика позволит также оптимизировать режимы работы сотрудников и оборудования с позиций энергопотребления и формировать своевременные меры по снижению рисков потерь.

**Список литературы:** 1. Законопроект РФ 509727-5 «Об исчислении времени». 2. *Макоклюев Б. И.* Анализ и планирование электропотребления / *Б. И. Макоклюев.* – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с. 3. *Шевченко С. В.* Распределение объемов производства и поставок электроэнергии с учетом состояния субъектов энергосистемы // Открытое образование. – 2011. – № 2 (85). Ч. 2. – С. 234–235. 4. *Камаев В. А.* Применение коннективистских систем для прогнозирования потребления электроэнергии в торговых центрах / *В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. П. Панченко [и др.].* // Управление большими системами. ИПУ РАН. – 2010. – № 31. – С. 92–109. 5. *Щербаков М. В.* Методика выбора значимых параметров для краткосрочного прогнозирования энергопотребления / *М. В. Щербаков, Н. Л. Щербакова, А. Бребельс* // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – № 11. – С. 68–71. 6. *Камаев В. А.* Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / *В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс* // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 227–231.

*Надійшла до редколегії 08.06.2011*

УДК 681.513.2:311.2-3:[620.9:005.93:502.174]::004

**П. В. БОТВИНКИН**, аспирант ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;  
**В. С. ЛУКЬЯНОВ**, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия;  
**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Запропоновані програмна та апаратна архітектури комплексу для збору, аналізу даних і управління параметрами роботи зовнішніх пристроїв. Наведено результати серії експериментів щодо забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату житлового приміщення, що свідчать про підсумкове зниження рівня споживання електроенергії. Розроблено механізм формування розкладу роботи керуючого пристрою по рівнянню, отриманому з побудованої статистичної моделі.

Предложены программная и аппаратная архитектуры комплекса для сбора, анализа данных и управления параметрами работы внешних устройств. Приведены результаты серии экспериментов по обеспечению оптимальных параметров микроклимата жилого помещения,

свидетельствующие об итоговом снижении уровня потребления электричества. Разработан механизм формирования расписания работы управляющего устройства по уравнению, полученному из построенной статистической модели.

Proposed software and hardware architectures of the complex, oriented on data collection, data analysis and control parameters of external devices. The results of a series of experiments to ensure the optimal parameters of the microclimate of the living room, indicating a final reducing of electricity consumption. Developed the mechanism of formation of the timetable to control the device by quadratic equation derived from the compiled statistical model.

**Введение.** Процессы энергосбережения представляют собой реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Энергоресурсы являются одним из основных источников жизнеобеспечения государства. Поэтому поддержка энергосберегающих стратегий для всех сфер жизни общества является важной и актуальной задачей.

Следует отметить, что в этом контексте для конечных потребителей особое значение принадлежит именно обеспечению рационального уровня потребления энергии. Поэтому представляет интерес проведение исследований и синтез решений, которые позволили бы эффективно воздействовать на уровень энергопотребления как хозяйствующих субъектов, так и жителей жилых домов. В связи с этим вопросы разработки и внедрения общедоступных программно управляемых технических решений для организации рационального уровня потребления энергетических ресурсов на основе анализа и обработки собираемых данных, простых в установке, настройке и эксплуатации, использующих распространенные компоненты, в настоящее время приобретают важную практическую ценность.

**Целью работы** является повышение эффективности энергопотребления пользователями при условии сохранения выбранного уровня качества микроклимата в помещении путем реализации механизмов контроля и управления потреблением энергетических ресурсов с использованием программно-аппаратного комплекса, поддерживающего и реализующего соответствующие алгоритмы управления.

**Постановка задачи.** Контроль процессов, обуславливающих действия, направленные на энергосбережение, заключается в обработке дискретной информации, характеризующей состояние и уровни значений определенных параметров, организованной в некий информационный поток. Под информационным потоком понимается группа данных, рассматриваемых в процессе ее передачи, имеющих общий источник и общий приёмник. Управление включает обработку данных информационного потока, на основе которой выполняется формирование и последующая передача дискретных значений, поступающих в соответствующие заданные внешние устройства и обеспечивающих их требуемое функционирование.

Для анализа данных информационного потока и прогнозирования их значений используются статистические методы [1]. Оценка степени взаимозависимости переменных, определяющих микроклимат в помещении и, как следствие, энергопотребление, производится на основе коэффициентов корреляции. Для построения алгоритма, позволяющего достичь минимально возможное энергопотребление при заданном уровне параметров обеспечения комфортного микроклимата в помещении, использовались методы множественной регрессии. В данном исследовании изучались связи между температурой и влажностью окружающей среды, температурой и влажностью в помещении, временем работы исполнительных устройств, обеспечивающих заданный микроклимат, и суммарным энергопотреблением.

В ходе исследования для решения рассматриваемой задачи была предложена Web-ориентированная система управления, ее программная и аппаратная архитектуры [2].

На основе представленных архитектур была разработана установка, используемая для проведения экспериментов, в ходе которых производился сбор следующих параметров с интервалом в 15 минут:

- температура воздуха в помещении;
- температура воздуха на улице;
- относительная влажность воздуха в помещении;
- относительная влажность воздуха на улице;
- уровень потребления электроэнергии.

Аппаратная архитектура системы контроля и управления микроклиматом представлена на рис. 1.

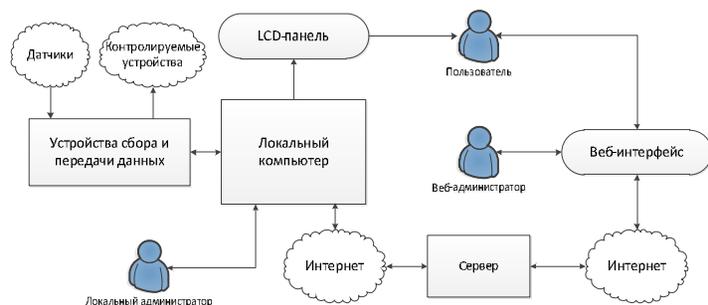


Рис. 1 – Аппаратная архитектура системы

Программная архитектура системы контроля и управления микроклиматом представлена на рис.2

В качестве устройства сбора и передачи данных было использовано устройство сбора и передачи данных (УСПД) «Advantech ADAM-6050», име-

ющее 12 цифровых входов, 6 цифровых выходов, работающее в сетях Ethernet и поддерживающее управление данными по протоколу Modbus TCP/IP.

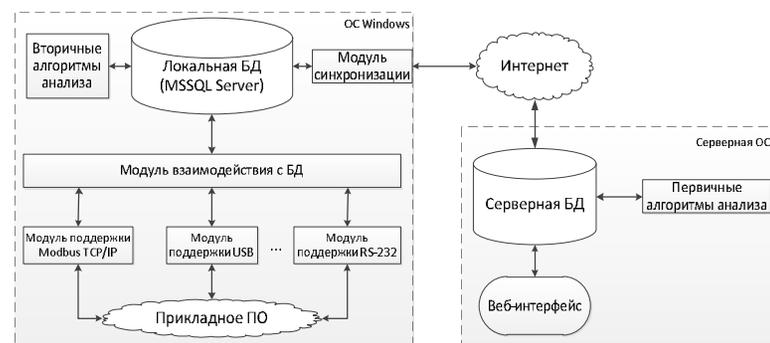


Рис. 2 – Программная архитектура системы

В качестве управляющего компьютера, объединяющего функции и клиентской, и серверной части, был применён нетбук «Asus Eee PC 701» мощностью 24 Вт под управлением ОС Windows XP.

Для нагревания использовался тепловентилятор «AEG HS 203». Так как тепловентиляторы обладают малой тепловой инерционностью, его применение позволяет изменять температуру в помещении в широких пределах за малый промежуток времени. В процессе исследований установленная мощность тепловентилятора равна 1000 Вт·час.

Для снижения влажности воздуха использовалась сплит-система Akai с включенной функцией «dry» — «снижение влажности воздуха».

Для повышения относительной влажности воздуха применялся увлажнитель воздуха «Boneco 7131».

Измерение температуры и влажности воздуха в помещении и на улице осуществилось термометрами-влажномерами «Brando TEMPer Hum» с диапазоном измерения температуры от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$  и диапазоном измерения относительной влажности воздуха от 0% до 100%, подключаемыми к компьютеру посредством интерфейса USB.

Для получения данных об электропотреблении использовался «Матрица NP 515» — двухтарифный счётчик электроэнергии, работающий в импульсном режиме (1 Ватт-час/импульс).

Суммарная стоимость оборудования, предназначенного для сбора и управления, составила 10800 рублей. Стоимости тепловентилятора, сплит-системы и увлажнителя воздуха не учитываются, так как это оборудование принято вспомогательным.

Программное обеспечение для этого комплекса было разработано в соответствии с предложенной программной архитектурой (см. рис. 2) на языке С#. В качестве СУБД была использована MSSQL Server 2008 Express.

Было проведено три эксперимента:

1. Исследование данных, собранных без учёта комфортных параметров микроклимата (с 15.03.2011 по 31.03.2011).
2. Исследование данных, собранных с учётом контроля комфортных параметров микроклимата с помощью простого алгоритма (с 01.04.2011 по 15.04.2011).
3. Исследование данных, собранных с учётом контроля комфортных параметров микроклимата с помощью полученной статистической модели (с 17.04.2011 по 30.04.2011).

Контролируемыми параметрами микроклимата являлись температура и влажность воздуха в жилом помещении. Управление этими параметрами происходило при помощи включения и выключения тепловентилятора, увлажнителя воздуха и кондиционера в режиме просушки воздуха.

Принятые комфортные параметры микроклимата жилого помещения, применяемые в рамках проведения эксперимента, указаны в таблице.

Принятые комфортные параметры микроклимата

Время суток	Временной период	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха
дневное	с 8:00 до 20:00	23°C	50%
ночное	с 20:00 до 8:00	19°C	35%

Под простым алгоритмом управления в рамках данной работы подразумевается поддержание режима «включено» для соответствующего устройства до момента достижения необходимого значения параметра микроклимата, после чего происходит выключение устройства.

В ходе первого эксперимента были получены данные, свидетельствующие об отсутствии корреляции между значениями собираемых параметров.

По результатам второго эксперимента был получен ряд корреляционных зависимостей, на основании которых с использованием методов регрессионного анализа построены модели энергопотребления в зависимости от времени работы тепловентилятора и температуры в помещении следующего вида

$$E = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3tT + b_4T^2,$$

где  $E$  - величина энергопотребления, Вт·ч;

$b_i$  - коэффициенты регрессии,  $i \in \overline{0,3}$ ;

$t$  - температура воздуха в помещении, °C;

$T$  - продолжительность работы тепловентилятора, мин.

Очевидно, при заданной температуре в помещении  $t$  зависимость  $E = E(t, T)$  имеет минимальное значение в точке, соответствующей корню квадратного уравнения

$$b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3tT + b_4T^2 - E = 0$$

Тогда можно использовать следующую схему формирования расписания работы управляющего устройства, рис. 3.

Для проведения третьего эксперимента была применена модель энергопотребления, полученная по результатам второго эксперимента. Для управления параметрами работы тепловентилятора был использован разработанный механизм.



Рис. 3 – Схема формирования расписания работы устройства

По данным экспериментов была установлено, что среднесуточная экономия электроэнергии при контроле параметров работы тепловентилятора, основываясь на полученной модели энергопотребления, составляет 5,22 рубля в сутки при цене 2,53 рубля за Киловатт-час.

Исходя из расчёта затрат на покупку аппаратуры и сбора экспериментальной установки, срок окупаемости проекта для России на текущее время составляет около 5,7 лет.

**Выводы.** Для осуществления действий, связанных со сбережением энергии в различных сферах ее потребления, необходимо контролировать данные, определяющие внешние и внутренние параметры окружающей среды и управляемых устройств, и обеспечивать управление их состоянием в соответствии с целями управления.

Проведённые в рамках работы эксперименты показали, что при использовании статистической модели энергопотребления для управления потребляющими энергию устройствами, используя разработанные механизмы, можно добиться снижения уровня энергопотребления. Это снижение будет

тем значительнее, чем для большего числа устройств будет обеспечен автоматический контроль и управление.

Предлагаемые подходы к построению систем управления процессами энергопотребления обеспечивают повышение эффективности использования энергоресурсов и могут быть применены в организации энергопотребления различными потребителями.

**Список литературы:** 1. Шевченко С. В. Распределение объемов производства и поставок электроэнергии с учетом состояния субъектов энергосистемы // Открытое образование. – 2011. – № 2 (85). Ч. 2. – С. 234–235. 2. Ботвинкин П. В., Лукьянов В. С. Автоматизированное управление параметрами производства и потребления энергетических ресурсов / П. В. Ботвинкин, В. С. Лукьянов // Открытое образование. – 2011. – Ч. 2. № 2 (85). – С. 109–111.

*Надійшла до редколегії 09.06.2011*

УДК 621.396

**А. Е. ГОЛОСКОКОВ**, канд. тех. наук, проф., НТУ «ХПИ»;  
**М. А. БРОДСКИЙ**, студент НТУ «ХПИ»

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

У даній статті розглянута задача прогнозування конфліктних ситуацій. Проведено моделювання руху повітряних суден з урахуванням впливу випадкових збурень. Процес руху повітряних суден описується випадковим марківським процесом Орнштейна–Уленбека. Оцінка ймовірності конфлікту знаходиться шляхом вирішення рівняння Потрягіна або Фоккера–Планка–Колмогорова.

В данной статье рассмотрена задача прогнозирования конфликтных ситуаций. Проведено моделирование движения воздушных судов с учетом влияния случайных возмущений. Процесс движения судов описывается случайным марковским процессом Орнштейна–Уленбека. Оценка вероятности конфликта находится путем решения уравнения Потрягина или Фоккера–Планка–Колмогорова.

The problem of predicting the conflict situations was considered in this article. The motion of aircrafts is modeled with the effect of random perturbations. The aircraft motion process is described by a random Markov process of Ornstein-Uhlenbeck process. Estimating the probability of conflict is solved by Potryagina or Fokker–Planck–Kolmogorova equations.

**Введение.** Согласно прогнозам к 2018 году в два раза увеличится интенсивность воздушного движения. В связи с этим возникает необходимость пересмотра существующих и развития новых концепций организации движения воздушного транспорта. Также в мировом авиационном сообществе активно обсуждается проблема безопасности

полетов в связи с переходом от централизованного управления воздушным движением (УВД) к децентрализованному. Решить данную проблему возможно с помощью введения режима «свободного полета» (Free Flight) [1].

Концепция свободного полёта подразумевает существование среды, в которой пилот наделен полномочиями выбора маршрута в реальном времени без контроля со стороны диспетчера и, следовательно, пилот уже сам несет ответственность за безопасность и оптимальное проведение полёта [2].

Кооперативное УВД – новая концепция, которая позволяет повысить производительность и безопасность воздушного движения путем оптимизации взаимодействия диспетчеров, экипажей самолетов и других служб за счет интеграции цифровой системы передачи данных, улучшения методов наблюдения и автоматизации.

Концепция свободного полёта имеет два преимущества. С одной стороны, это сокращение финансовых затрат за счёт меньшего потребления топлива, а с другой стороны – возможность увеличения воздушного трафика. Локальная оптимизация, которая проводится непосредственно бортом, может быть гораздо более эффективной, чем глобальная оптимизация, которая проводится диспетчером, – прежде всего из-за того, что критерии оптимальности у различных авиакомпаний могут различаться [2].

Из-за наличия достаточно большого числа факторов, приводящих к отклонению самолета от заданных параметров траектории движения, возможны ситуации, когда нарушаются нормы безопасного расстояния между самолетами. При этом возникает угроза их столкновения, даже если первоначально спланированные полеты являются бесконфликтными и имеется система, контролирующая воздушное движение. В условиях оперативно изменяющейся воздушной обстановки, связанной с изменением направления и динамикой относительного движения самолетов, а также при сокращении норм эшелонирования значительно возрастает роль системы обнаружения и предупреждения опасного сближения самолетов.

В этой ситуации моделирование движения воздушных судов (ВС) под воздействием случайных внешних воздействиях и оценка вероятности их опасного сближения является актуальной проблемой.

**Описание объекта исследования.** Объектом исследования в данной работе является пара динамических объектов – воздушные судна (ВС). ВС, как динамические объекты, характеризуется вектором состояний. Рассматриваемые динамические объекты находятся в режиме полета.

Установим компоненты вектора состояния для каждого воздушного судна:

$$D_j = \{x_j(t), y_j(t), z_j(t), t, \Delta x_j(t), \Delta y_j(t), \Delta z_j(t), v_{xj}(t), v_{yj}(t), v_{zj}(t), v_{0j}, \Delta v_{xj}(t), \Delta v_{yj}(t), \Delta v_{zj}(t), h_{xj}, h_{yj}, h_{zj}, m_j, d_j, W_j(t)\}, j = 1, 2,$$

где  $x_j(t)$  – координата продольного положения самолета в момент времени  $t$ ;

$y_j(t)$  – координата бокового положения самолета в момент времени  $t$ ;

$z_j(t)$  – координата вертикального положения самолета в момент времени  $t$ ;

$t$  – текущий момент времени;

$\Delta x_j(t)$  – отклонение продольного положения самолета от линии заданного курса;

$\Delta y_j(t)$  – отклонение от линии заданного курса;

$\Delta z_j(t)$  – отклонение вертикального положения самолета от линии заданного курса;

$v_{xj}(t)$  – скорость полета по оси  $x$ ;

$v_{yj}(t)$  – скорость полета по оси  $y$ ;

$v_{zj}(t)$  – скорость полета по оси  $z$ ;

$v_{0j}$  – заданная скорость полета;

$\Delta v_{xj}(t)$  – отклонение от заданной скорости по оси  $x$ ;

$\Delta v_{yj}(t)$  – отклонение от заданной скорости по оси  $y$ ;

$\Delta v_{zj}(t)$  – отклонение от заданной скорости по оси  $z$ ;

$h_{xj}$  – горизонтальное минимальное расстояние между парой ВС по направлению паллета;

$h_{yj}$  – горизонтальное боковое минимальное расстояние между парой ВС;

$h_{zj}$  – вертикальное минимальное расстояние между парой ВС;

$m_j$  – масса ВС;

$d_j$  – расстояние до  $i$  ВС;

$m_j$  – масса ВС;

$W_j(t)$  – винеровский процесс (воздействие внешней среды на ВС).

Система находится в состоянии конфликта тогда, когда внутренние или внешние факторы препятствуют, противодействуют осуществлению ее базисного предназначения.

Конфликтная ситуация (КС) — это наименьшая целостная неделимая часть конфликта, обладающая всеми его основными свойствами [3].

**Постановка задачи.** Задачей исследования является нахождение вероятности возникновения конфликтной ситуации, т.е. вероятности

попадания ВС в конфликтную область. Математическая модель решаемой задачи описывается с помощью стохастических дифференциальных уравнений.

Спрогнозировать конфликтную ситуацию означает определить вероятность опасного сближения ВС, следовательно прогнозирование конфликтных ситуаций чрезвычайно актуальная задача, на фоне увеличения количества ВС.

Для решения поставленной задачи рассматриваются две стохастические модели прогнозирования конфликтной ситуации. Каждая из моделей отличается размерностью и характеризуется векторами  $D_j$ ,  $j=1,2$ .

В первой модели не учитывается управляющее воздействие по оси  $y$ . Процесс отклонения от заданной скорости полета по оси  $x$  считается случайным процессом и описывается следующим вектором состояний:

$$D_j = \{x_j(t), y_j(t), t, v_{xj}(t), v_{0j}, \Delta v_{xj}(t), d_j, W_j(t)\}, j=1,2. \quad (1)$$

Во второй модели учитывается управляющее воздействие по осям  $x$  и  $y$ . Процесс отклонения от заданной скорости полета по осям  $x$  и  $y$  считается случайным процессом и описывается следующим вектором состояний:

$$D_j = \{x_j(t), y_j(t), t, v_{xj}(t), v_{yj}(t), v_{0j}, \Delta v_{xj}(t), \Delta v_{yj}(t), d_j, W_j(t)\}, j=1,2. \quad (2)$$

В работе авторы считают, что процесс отклонения является случайным и его можно аппроксимировать процессом Орнштейна-Уленбека.

**Математическая модель.** Предположим, что состояние системы в некоторый момент времени описывается случайным векторным процессом  $\mathbf{x}_t = \{x_1(t), \dots, x_N(t)\}$  в  $N$ -мерном пространстве. Компонентами случайного вектора  $\mathbf{x}_t$  являются координаты и скорости динамического объекта.

Относительное движение двух ВС описывается многомерным линейным стохастическим дифференциальным уравнением вида Ито

$$d\mathbf{x}_t = \mathbf{a}(\mathbf{x}_t, t) dt + \sum (\mathbf{x}_t, t) d\mathbf{f}_t, \quad \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0, w), \quad (3)$$

где  $\mathbf{x}_t \in \mathbb{R}^n$  – случайный марковский процесс являющейся решением уравнения (3) (согласно теореме Дуба [5]);

$f_t \in \mathbb{R}^m$ ,  $F_t$  – измеримый при всех  $t \in [0, T]$  стандартный винеровский процесс с независимыми компонентами  $f_t^{(i)}$ ;  $i=1, \dots, m$ ;

$\mathbf{a} : \mathbb{R}^n \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^n$  – коэффициент сноса;

$\sum : \mathbb{R}^n \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^{n \times m}$  – коэффициент диффузии;

$\mathbf{x}_0$  – начальное условие;

$\mathbf{x}_0, f_i - f_0, t > 0$  – стохастические независимые процессы [4].

Каждому элементу вектора  $D_j$  соответствует элемент многомерного марковского процесса  $\mathbf{x}_t$ , которые в свою очередь описываются случайным процессом Орнштейна-Уленбека

$$X(t) = \{x(t), y(t), \Delta v_x(t), \Delta v_y(t)\}. \quad (4)$$

Процесс отклонения от линии заданного пути является случайным процессом, и аппроксимировать его можно случайным процессом Орнштейна-Уленбека:

$$dy(t) = -a_y y(t) dt + s_y dW_y(t) \quad (5)$$

где  $x(t)$  – координата продольного положения самолета в момент времени  $t$ ;  
 $y(t)$  – координата бокового положения самолета от линии заданного пути;

$v_x(t)$  – скорость полета ВС;

$v_0$  – заданная скорость полета ВС;

$a_y, s_y$  – известные положительные коэффициенты [4].

Отклонение самолета от заданной скорости полета по каждой координате также описывается случайным процессом Орнштейна-Уленбека:

$$d\Delta v = -a\Delta v dt + s dW \quad (6)$$

где  $a, s$  – известные положительные коэффициенты;

$W = W_y(t)$  – стандартный винеровский процесс;

$v = v(t)$  – отклонение от заданной скорости.

На процесс отклонения самолета в продольном движении наиболее существенное влияние оказывают ветровые воздействия, поэтому для продольной координаты запишем модель в виде

$$dx(t) = (v_0 + \Delta v_x(t)) dt, \quad (7)$$

где  $x(t)$  – координата продольного положения самолета в момент времени  $t$ ;

$\Delta v_x(t) = v_x(0) - v_0$  – отклонение от заданной скорости полета;

$v_0$  – заданная скорость полета ВС вдоль линии заданного пути.

**Определение вероятности конфликта.** Спрогнозировать конфликтную ситуацию означает определить вероятность достижения границы

динамической системы многомерным марковским процессом, поведение системы при наличии случайных возмущений описывается системой  $n$  стохастических дифференциальных уравнений.

Пусть некоторая замкнутая область  $\Omega$  многомерного пространства имеет границу  $\Gamma$  и  $g$  – часть этой границы. Обозначим через  $p_g(t, \mathbf{x})$  вероятность того, что ВС находящееся в начальный момент времени  $t=0$  в положении  $\mathbf{x}$ , внутри области  $\Omega$ , в течении времени  $t$  впервые выйдет из  $\Omega$  через часть границы  $g$  [6].

Данная вероятность может быть получена из решения многомерного уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова

$$\frac{\partial}{\partial t} P(\mathbf{x}, t) = - \sum_{i=1}^M \frac{\partial}{\partial x_i} [a_i(\mathbf{x}, t) P(\mathbf{x}, t)] + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^M \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} [a_{ij}(\mathbf{x}, t) P(\mathbf{x}, t)], \quad (8)$$

где  $\mathbf{x}(t)$  – многомерный марковский процесс;

$P(\mathbf{x}, t)$  – плотность вероятности в произвольный момент времени;

$a_i(\mathbf{x}, t)$  – коэффициент сноса;

$b(\mathbf{x}, t)$  – коэффициент диффузии;

или из уравнения Понтрягина

$$\frac{\partial p_g}{\partial t} = \sum_{i=1}^M a_i(\mathbf{x}) \frac{\partial p_g}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^M b_{ij}(\mathbf{x}) \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}. \quad (9)$$

Уравнения (8) и (9) относятся к дифференциальным уравнениям в частных производных параболического типа [6].

Уравнение (9) следует решать при начальном условии

$$p_g(0, \mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in \Omega \setminus \Gamma \quad (10)$$

и граничных условиях

$$p_g(t, \mathbf{x}) = 1, \quad \mathbf{x} \in g; \quad (11)$$

$$p_g(t, \mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in \Gamma \setminus g. \quad (12)$$

Начальное условие (10) следует из того, что ВС при  $t = 0$  находится внутри области  $\Omega$ . Граничное условие (11) означает, что выделенная часть границы  $g$  достигнута уже при  $t=0$ , а условие (12) для точек, принадлежащих остальной части границы, означает, что достижение границы произошло уже при  $t=0$  (ВС вышло из области), но заведомо не на  $g$ . При

этом предполагается, что траектории многомерного марковского процесса  $\mathbf{x}$ , могут выходить из области  $\Omega$  через любую точку границы  $\Gamma$  [6].

В отсутствие случайных возмущений система, находясь в одном стационарном состоянии, не может перейти в другое без каких-либо внешних воздействий. Наличие даже малых случайных возмущений приводит к тому, что система начинает совершать малые флуктуационные колебания вблизи одного из стационарных состояний и время от времени переходит из одного состояния в другое. Естественно, что при рассмотрении подобных систем возникает вопрос о вычислении вероятности таких переходов или же о частоте смены различных состояний [7].

Рассмотрим условия возникновения конфликтной ситуации. Предположим, что два самолета конфликтуют, если относительное расстояние между ними меньше или равно безопасно допустимому расстоянию  $d$ . Вероятность опасного сближения самолетов на интервале времени  $[0, T]$  определяется по формуле:

$$q = P\{\exists t \in [0, T] : \mathbf{r}(t) \leq d\}$$

где  $\mathbf{r}(t)$  – вектор относительного положения самолетов;

$d$  – безопасно допустимому расстоянию между самолетами.

Конфликтная ситуация характеризуется вектором:

$$K = (p, d, t),$$

где  $p$  – вероятность опасного сближения самолетов;

$d$  – безопасно допустимому расстоянию между самолетами;

$t$  – момент времени.

**Выводы.** В работе приведена математическая модель движения ВС под влиянием случайных возмущений, основанная на математическом аппарате линейных стохастических дифференциальных уравнений. Задача прогнозирования конфликтных ситуаций описывается многомерным уравнением Фоккера–Планка–Колмогорова (8) и многомерным уравнением Понтрягина (9). Дальнейшим развитием работы авторы видят в реализации описанной математической модели прогнозирования КС между парой ВС, доработка последней с целью прогнозирования КС не только между ВС (техническими объектами), но и прогнозирования КС между экономическими объектами.

**Список литературы:** 1. A. Alonso-Ayuso. Conflict Detection & Resolution / A. Alonso-Ayuso // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2006. – Vol. 7, № 2. – PP. 242–249. 2. Золотухин В. В. Актуальные задачи управления воздушным движением / В. В. Золотухин // ТРУДЫ МФТИ. – 2009. – Т. 1, № 3. – С. 109–111. 3. Светлов В. А. Аналитика конфликта / В. А. Светлов. – СПб. : Питер, 2001. – 543 с. 4. Кузнецов Д. Ф. Стохастические

дифференциальные уравнения : теория и практика / Д. Ф. Кузнецов. – СПб. : Политехн. ун-т., 2010. – 816 с. 5. Дуб Дж. Л. Вероятностные процессы / Дж. Л. Дуб. – М. : ИЛ, 1956. – 536 с. 6. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов. – М. : Советское радио, 1977. – 488 с. 7. Свейников А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свейников. – М. : Наука, 1968. – 449 с.

Надійшла до редколегії 09.06.2011

УДК 378

**М. І. БЕЗМЕНОВ**, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;  
**Н. В. КОНОХОВА**, магістрант НТУ «ХПІ»;  
**В. Г. БОРИСОВ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

### ОЦІНКА ЯКОСТІ ДИСТАНЦІЙНОГО КУРСУ

Пропонуються методи і показники оцінки якості дистанційного курсу. Важливими оцінками є кредитність курсу та рівень інтерактивності курсу. Основними вимогами до побудови тестів є надійність, валідність та дискримінативність. Зроблені висновки про ефективність оцінок.

Предлагаются методы и показатели оценки качества дистанционного курса. Важными оценками являются кредитность курса и уровень интерактивности курса. Основными требованиями к построению тестов являются надежность, валидность и дискриминативность. Сделаны выводы об эффективности оценок.

Methods and indexes of estimation of quality of the controlled from distance course are offered. Important estimations it is been creditability course and level of interactiveness of course. The basic requirements to the construction of tests it is been reliability, validity and discriminative. Conclusions are done about efficiency of estimations

**Вступ.** Світові освітні тенденції полягають в тому, що освіта стає все більш прикладною, все більш доступною. Це стало можливим, зокрема, завдяки галопуючому розвитку дистанційних форм навчання.

Вища дистанційна освіта – це освітні технології, які реалізовані в основному із застосуванням інформаційних і телекомунікаційних технологій при опосередкованій (на відстані) або не повністю опосередкованій взаємодії студента та педагогічного працівника.

Незалежне навчання за спеціально підготовленими програмами є визначальною формою для вищої дистанційної освіти, де викладач є чимось середнім між методистом і тьютором – фахівцем, який надає всебічну підтримку студентам, виставляє оцінки, грає посередницьку роль між навчальним закладом і студентом. Дистанційна освіта стає сьогодні помітною складовою системи вищої школи. У ВНЗ щорічно створюються десятки нових центрів та інститутів дистанційної вищої освіти. Ця форма освіти дозволяє: вибирати зручний час, місце і темп навчання кожному учневі; підвищувати свою квалі-

фікацію, набувати спеціальність без відриву від дому та роботи; здобувати вищу освіту особам, позбавленим можливості здобути традиційну освіту (віддаленість від навчального закладу, хвороба, специфіка роботи і т. д.).

Система дистанційної освіти – це навчання за індивідуальним планом. Вона припускає, що кожен «дистанційний» студент прикріплюється до викладача, завдання якого – курирувати навчання, консультувати по складних темах і питаннях, перевіряти контрольні роботи і тести, допомагати готуватися до іспитів. Система дистанційної освіти – це сукупність організаційних, телекомунікаційних, педагогічних і наукових ресурсів, залучених у створення та практичне здійснення освітніх програм з використанням дистанційної технології навчання [1].

Але тут постає питання, як обрати потрібні курси? Для цього існує ряд оцінок курсу – інтерактивність курсу, кредитність курсу, надійність, валідність та дискримінативність тестів.

#### **Неформальні оцінки курсу.**

Пропоновані в системах віртуального навчання курси прийнято поділяти на два види – кредитні та не кредитні. «Кредитним» вважається курс, офіційно затверджений в акредитованій навчальній установі. Він зараховується студенту в рамках навчальної програми по якій-небудь спеціальності і є однією зі сходинок на шляху до одержання ученого ступеня. Кожен курс у кредитній ієрархії має свою вагу. До «не кредитних» відносять курси, призначені для одержання додаткової чи поступіверситетської освіти (наприклад, з метою підвищення кваліфікації), і ті курси, що не ведуть до одержання ученого ступеня.

Важливим показником оцінки дистанційного курсу є рівень інтерактивності – залучення студентів до процесу. Наприклад, Жиркін и Замлер вважали, що інтерактивність є важливим фактором успішності навчання, і крім того, задоволення від процесу навчання [2]. Гільберт та Мур приводять визначення інтерактивності як взаємообмін між технологіями та тими, хто навчається – цей процес вони називають «зворотнім зв'язком» [3].

Для визначення інтерактивності застосовують елементи, які об'єднують у правила. Ці правила містять чотири окремі елементи для визначення відповідності рівня курсу з точки зору інтерактивності і взаємодії. Для кожного з елементів обирають опис, який найбільш правильно описує курс. Після перегляду всіх елементів і виділення всіх рівнів, складають бали та отримують визначення рівня інтерактивних властивостей курсу (низький (1–7 балів), середній (8–14 балів) або високий (15–20 балів)). За кожен елемент можна поставити від 1 до 5 балів.

#### **Елемент № 1: Соціальні цілі інтерактивності.**

Гільберт та Мур, виділяють важливу ціль – встановлення довіри та атмосфери колективної праці між самими учасниками навчання, а також між учасниками навчання та тьютором. Як вони стверджують, інтерактивність може сприяти як соціальним, так і навчальним задачам, у відношенні задач

навчання, не стільки соціальна довіра, скільки збільшення співпраці може бути головним фактором збільшення рівня інтерактивності.

#### **Елемент № 2: Навчальні цілі інтерактивності.**

Аналіз літератури по дистанційному навчанню показує, що інтерактивність забезпечує дві важливі функції у середовищі навчання. Одна з них – залучення у дискусії по розділам та концепціям курсу. Але у багатьох джерелах у даній області більше уваги приділяється сприянню дизайну курсів на отримання зворотного зв'язку від студентів.

#### **Елемент № 3: Типи та використання технологій.**

Багато авторів описують різноманітні технології, які можуть використовуватися для посилення інтерактивності. Відеоконференції з робочого місця та веб-орієнтовані ресурси у сучасному світі дуже популярні. У той же час, не менш технологій важливі методики, дизайн та методи, які використовують в повній мірі можливості цих потужних ресурсів, що постійно розвиваються [4].

#### **Елемент № 4: Вплив інтерактивності на зміни в поведінки студентів.**

Останній показник в оцінці якості інтерактивності курсів, яким часто нехтують, – вплив на студентів. МакГенрі та Божик [5] розглядали реакцію студентів на ефективно (або неефективно) спроектовані дистанційні курси з точки зору їх поведінки. Цей показник сам по собі збільшує або зменшує готовність використання різних технологічних ресурсів (таких як мікрофон або чат), для спільної роботи з іншими студентами, для запиту додаткової необхідної інформації у тьютора, участі в аудиторних заходах [6].

#### **Формальні оцінки тестів.**

Самоконтроль є первинною формою контролю знань студентів, який обов'язково забезпечується структурою та організацією будь-якого дистанційного курсу.

Основною формою вхідного, поточного та рубіжного контролю є тестування. Крім того, поточний контроль здійснюється під час проведення практичних, лабораторних, семінарських занять та дискусій. Оцінювання результатів тестування, практичних та лабораторних робіт відбувається дистанційно у двох режимах: автоматизовано та безпосередньо викладачем [7].

Важливим показником якості дистанційного курсу є якість його тестів.

Основними вимогами до побудови тестів є надійність, валідність та дискримінативність.

Надійність тесту – це характеристика методики, що відображає точність психодіагностичних вимірювань, а також стійкість результатів тесту до дії сторонніх факторів. При цьому надійність буває декількох видів, найважливішими з яких є:

- ре-тестова надійність – коли розглядаються показники при повторному дослідженні випробовуваних за допомогою одного і того ж тесту протягом часу;

- надійність частин тесту – вираховується шляхом аналізу стійкості результатів окремих сукупностей тестових задач або окремих частин тесту.

Коефіцієнт надійності – середня величина кореляції одного тесту або завдання з усіма тестами або завданнями з генеральної сукупності. Однак на практиці неможливо точно обчислити це теоретичне значення надійності  $r_i$ , оскільки кількість розроблених викладачами завдань і тестів не є нескінченною. Це означає, що надійність  $r_i$   $i$ -го тесту можна оцінити лише приблизно.

На практиці коефіцієнти надійності засновані на кореляції одного тесту з іншими, і ця оцінка може бути не дуже точною. Таким чином, надійність зростає з величиною тесту. З точки зору розробника тестів важливою є швидкість зростання надійності зі зростанням кількості завдань. Завжди важко розробити велику кількість валідних завдань (наприклад, таких, які належать саме потрібній генеральній сукупності); отже, якщо потрібно продемонструвати, що, скажімо, надійність двадцяти п'яти завдань (з заданою середньою кореляцією) є високою, то досягнення цієї мети буде мати сенс.

Тісноту зв'язку між якісними ознаками  $X$  і  $Y$  вимірюють за допомогою коефіцієнта асоціації, де  $X$  – вид тесту, а  $Y$  – результати тестування. У найпростішому випадку формула, за якою розраховується цей показник, має такий вигляд:

$$r_a = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}, \quad (1)$$

де  $a, b, c, d$  – чисельності груп.

Коефіцієнт асоціації, як і пірсоновскій коефіцієнт кореляції, змінюється від  $-1$  до  $+1$ . Значущість  $r_a$  можна перевірити за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента. Нульову гіпотезу, яка зводиться до гіпотези, що в генеральній сукупності цей показник  $r_a$  дорівнює нулю, відкидають, якщо

$$t_0 = \frac{r_a \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_a^2}} \geq t_{st}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість тестованих;

$r_a$  – коефіцієнт асоціації;

$t_{st}$  – квантиль, для прийнятого рівня значущості ( $\alpha$ ) і числа ступенів свободи  $k = n - 2$ .

Оскільки коефіцієнт асоціації має пряме відношення до пірсоновського критерію  $\chi^2$ , на якому він базується, але якісні ознаки дискретні, їх числове значення не розподіляються безперервно. Враховуючи цю особливість, у

формулу (1) прийнято вносити поправку Йетса на безперервність варіації, яка дорівнює половині обсягу вибірки, в результаті чого формула (1) приймає наступний вигляд:

$$r_a = \frac{|ad - bc| - 0.5n}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}. \quad (3)$$

Стисло розглянемо природу валідності, другої з основних характеристик ефективних тестів. Тест називається валідним, якщо він вимірює те, для вимірювання чого він призначений.

Змістовна валідність застосовується до тестів досягнень. Якщо можна показати, що завдання тесту відображає усі аспекти досліджуваної області поведінки, то тест є, по суті, валідним, за умови, що інструкції викладені ясно.

Дискримінативність – це здатність окремих завдань тесту і тесту в цілому диференціювати обстежуваних щодо «максимального» і «мінімального» результату тесту. За допомогою ретельного конструювання тесту можна забезпечити відповідний рівень дискримінативності, а це саме те, у чому тести значно виграють у порівнянні з іншими формами випробовувань.

Дискримінативність вимірюється показником Фергюсона  $d$  і приймає максимальне значення при рівномірному (прямокутному) розподілі показників ( $d = 1$ ):

$$d = \frac{(n+1)(N^2 - \sum_{i=1}^N F_i^2)}{nN^2}, \quad (4)$$

де  $N$  – кількість тестованих,

$n$  – кількість завдань тесту,

$F_i$  – частота зустрічальності кожного показника.

Особливостями цього показника є те що він змінюється від 0 до 1, причому  $d = 0$ , коли усі тестовані отримали однакові показники, тобто коли немає дискримінативності, і  $d = 1$  при рівномірному розподілі завдань, в яких найбільш повно були реалізовані усі можливі прояви вимірюваної властивості.

**Висновки.** таким чином важливими оцінками є кредитність курсу та рівень інтерактивності курсу. Основними вимогами до побудови тестів є надійність, валідність та дискримінативність. Найефективнішими оцінками є формальні оцінки якості курсів, тобто оцінки тестів. За допомогою ретельного конструювання тесту можна забезпечити відповідний рівень дискримінативності, а це саме те, у чому тести значно виграють у порівнянні з іншими формами випробовувань.

**Список літератури:** 1. <http://science.kharkov.ua/education/distance-education/distance-education-problems.html>. 2. Interactive or non-interactive? That is the question! An annotated bibliography. Journal of Distance Education/ Zirkin, B. & Sumler, D., 10(1), 95–112. 3. Building interactivity into web courses: Tools for social and instructional interaction. Educational Technology / Gilbert, L., & Moore, D. R. (1998), 38(3), 29–35. 4. Distance teaching with a vision. Paper presented at the Biennial Conference of the Australian Society for Educational Technology, Melbourne / Edmonds, R. (1996, July). 5. From a distance: Student voices from the interactive video classroom. TechTrends, 42(6), 20–24. / McHenry, L., & Bozik, M. (1997). 6. Online Journal of Distance Learning Administration, Volume III, Number II, Spring 2000 State University of West Georgia, Distance Education Center. 7. Офіційний вісник України від 30.04.2004. – 2004 р., № 15, стор. 241, стаття 1078, код акту 28528/2004 Положення про дистанційне навчання в Україні. Наказ МОН України.

Надійшла до редакції 16.03.2011

УДК 519.7; 691; 681.51.015; 517.958

**И. А. ГАРЬКИНА**, д-р техн. наук, доц. ПГУАС, г. Пенза, Россия;  
**А. М. ДАНИЛОВ**, д-р техн. наук, проф. ПГУАС, г. Пенза, Россия

### РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПАТТЕРН<sup>1</sup>

Приводиться алгоритм синтезу композиційних матеріалів на основі їхнього подання як складних систем з модульною структурою. Здійснюється розробка модифікації методу ПАТТЕРН для її реалізації при проектуванні радіаційно-захисних композитів із системних позицій.

Приводится алгоритм синтеза композиционных материалов на основе их представления как сложных систем с модульной структурой. Осуществляется разработка модификации метода ПАТТЕРН для ее реализации при проектировании радиационно-защитных композитов с системных позиций.

The algorithm of the synthesis of composite materials is derived on the base of representation of composites as complex systems with modular structure. The adjustment of the PATTERN method for the algorithm is performed during design (which is based on system approach) of the radiation-protective composites.

**Введение.** Важность системных исследований при математическом моделировании и проектировании сложных систем в разных отраслях в настоящее время стала очевидной. В сложных системах отдельные части (подсистемы) системы настолько сильно взаимосвязаны между собой множеством прямых и обратных связей, что изменение одной из них часто ведет к значительным изменениям в других ее частях. Становятся затруднительными декомпозиция всей системы и исследование отдельных более простых ее частей

с возможностью синтеза системы из этих частей. Возникает необходимость оценки и анализа системы как целостной.

**Постановка задачи.** К настоящему времени уже накоплен значительный опыт конструирования сложных систем на основе *системного подхода*. *Первым таким подходом можно считать метод ПАТТЕРН* (Planning Assistance Through Technical Relevance Number, англ. – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки) для решения задач планирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в условиях неопределенности. В нем предусматривалось выделение в сложной противоречивой системе функциональных подсистем на основе четкой формулировки целей по уровням. Количество целей не ограничивалось, но предполагалась их детализация с указанием взаимосвязей. Использовался принцип деления сложной проблемы на более мелкие с использованием результатов количественной экспертной оценки каждой из подпроблем, исходя из различных критериев. Метод, в основном, предназначался для прогноза, насколько сформулированные цели могут быть достигнуты. Определялись перечень конечных целей, суммарные веса целей (показатели научно-технической значимости; сумма коэффициентов относительной важности для каждого уровня иерархии принимались равной единице). На заключительном этапе осуществлялось рациональное распределение ресурсов в соответствии с уровнем этих коэффициентов. Для повышения степени обоснованности принимаемого решения, выбора варианта из числа альтернативных (с указанием оптимальных) использовались модели, отражающие все те факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могли проявиться в процессе осуществления решения. Метод позволил определить классы критериев оценки относительной важности, взаимную полезность, состояние и сроки выполнения научно-исследовательских разработок, а также необходимость разумного баланса между внутренней логикой науки и ее практической значимости (его нарушение приводит к безразличию общества к науке или потере перспективы в фундаментальных исследованиях).

Системный подход позволяет уменьшить или даже исключить неопределенность, свойственную решаемой проблеме; реконструировать ее в моделях, отвечающих целям исследования; выявлять объекты, свойства и связи исследуемой системы с учетом взаимного влияния внешней среды. Сложные иерархические структуры в соответствии с методикой ПАТТЕРН можно рассматривать и как набор определенным образом типологизированных элементов и связей между ними (многоуровневое представление структур). Переход с одного уровня на другой осуществляется путем выделения определенных подструктур, которые, в свою очередь, можно рассматривать в качестве *макроскопических* элементов, связанных между собой более простым и понятным образом. Элементы более низкого уровня могут рассматриваться как *микроскопические*. Тогда система при ее проектировании конфигурируется с использованием, так называемых, *паттернов* (англ. *pattern* — образец, пример, принцип; *не путать* с методикой ПАТТЕРН!). Паттерн можно рассматривать

<sup>1</sup> Работа выполнена в соответствии с заказом Минобрнауки РФ на 2011–2013 гг. (№ 11-ГБ-2).

как некое удачное типовое решение проблемы или как систематически повторяющийся фрагмент или последовательность элементов системы (широко применяется при создании программного обеспечения). В общем случае *паттерн-проектирование* представляет собой формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования. Важнейшим на начальном этапе при работе с паттернами является адекватное моделирование рассматриваемой предметной области. Низшим уровнем представления системы является описание ее в терминах классов (со своими атрибутами и операциями) и соответствующих им объектов, выступающих в качестве микроскопических элементов, и отношений между ними, играющих роль связей. Примером макроскопического элемента следующего уровня является системная архитектура, представляющая собой базовую подструктуру рассматриваемой системы. Высшим уровнем является интеграция отдельных систем, которые рассматриваются в качестве макроскопических элементов. Описание системы в терминах классов является низшим уровнем ее представления. При моделировании системы на уровне классов проводится дополнительная типологизация: описывается структура системы в терминах микроскопических элементов и указывается, насколько система соответствует требуемому значению функционала. Модель системы, построенная в терминах паттернов проектирования, является структурированным выделением *значимых* при решении поставленной задачи элементов и связей. Правильно сформулированный паттерн проектирования дает возможность *пользоваться* однажды удачно найденным решением *многokrатно*.

**Модификация метода ПАТТЕРН для разработки композитов. Рассмотрим** возможность использования метода ПАТТЕРН при разработке композиционных материалов, исходя из их представления в виде *сложных систем* [1]. Проектирование композитов должно производиться с соблюдением основных принципов системного подхода:

- иерархичность; каждая система или элемент рассматривается как отдельная система;
- структурность; возможность описания системы через описание связей между ее элементами;
- взаимозависимость; проявление свойств системы только при взаимодействии с внешней средой;
- множественность описания; описание системы множеством взаимодействующих математических моделей;
- проектирование части с учетом целого.

**В случае** больших *сложных систем*, сформированных по *модульному принципу* (в том числе и композиционных материалов), легко осуществить декомпозицию системы на отдельные подсистемы, обладающие определенной степенью автономности (*интегративные свойства приблизительно можно определить на основе автономных исследований отдельных подсистем*). Здесь каждый элемент иерархической структуры качества системы определяет автономное (без учета всех межсистемных связей) качество отдельной

системы. Результаты автономных исследований модулей можно использовать для определения интегративных свойств (определяются связями между модулями, уровнями и на каждом из уровней; в основном, лишь на качественном уровне). Возможность использования результатов автономных исследований отдельных подсистем при конструировании системы в целом напрямую связана с необходимостью устранения межсистемных связей. Это можно сделать введением настраиваемых эталонных моделей с одновременной децентрализацией модулей по входам. Условия для переноса результатов автономных исследований на систему в целом определяются полнотой понимания процессов формирования структуры и свойств системы. В частности, при определении некоторых свойств материала в зависимости от гранулометрического состава можно использовать ингредиенты из других материалов, но с тем же гранулометрическим составом, что и в синтезируемом материале. Однако необходимо обеспечить аналогичные, по возможности точные, межсистемные связи (например, смачиваемость). При переносе результатов автономных исследований смачиваемости на формирование структуры и свойств материала необходимо знать параметры смачиваемости входящих компонентов в стесненных условиях. Принципиально это можно обеспечить использованием настраиваемой эталонной модели, предусматривающей регулирование давления между компонентами. Настройку можно обеспечить с использованием экспериментальных данных на образцах.

Используемые традиционно в строительном материаловедении данные о **киннетических** процессах формирования структуры и физико-механических характеристик материала [2] по существу являются автономными исследованиями отдельных отдельных модулей. Здесь требуемые параметры кинетических процессов определяются с учетом межсистемных связей. Неявно присутствуют эталонные модели, предусматривающие одновременную децентрализацию по входам.

При конструировании радиационно-защитных композитов использовалась *модификация* методики ПАТТЕРН, как одна из возможных методологий *конструирования систем*. В ее основе – *общая формулировка технического задания на проектирование*. Наблюдаемое в настоящее время *усложнение решаемых задач* приводит к увеличению сложности и стоимости проектирования; возрастают трудоемкость изготовления и время полного цикла создания. В частности, композиционные материалы нового поколения существенно отличаются от уже известных, традиционных, даже от их предшественников десяти-, двадцатилетней давности.

*Цель проектирования* остается прежней, но меняется подход и методология **проектирования**: *разработка (синтез) проекта осуществляется методом моделирования* (разработка частных моделей для описания отдельных свойств системы). Множество взаимосвязанных моделей с необходимой точностью описывало систему, отражая всю совокупность ее свойств.

Качественный анализ системы осуществлялся методом экспертных оценок. По его результатам строилась когнитивная карта (структурная схема причинно-следственных связей; в математике – знаковый взвешенный ориентированный граф (орграф; [3])).

Результаты когнитивного моделирования играли определяющую роль при составлении иерархических структур критериев качества сложной системы [4]. Они являлись основой всего комплекса разработок.

С использованием результатов когнитивного моделирования и принципа моделируемости сложная система представлялась как конечное множество моделей, отражающих определенную грань сущности системы. Каждое из свойств исследовалось с использованием одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей.

Наращивание множества упрощенных моделей позволяло выявить новые свойства и без построения обобщающей модели. Сложная система определялась как взаимодействие упрощенных моделей. Естественно, модель всегда проще самой системы, так как она ориентируется на определенную группу ее свойств. Создание полной модели практически невозможно, ибо она будет столь же сложной, как сама система (с этим связано большинство проблем имитационного моделирования, подготовки операторов эргатических систем с использованием технических средств обучения).

Качество сложной системы как целого в общем случае определяется векторным критерием, а приближенно, исходя из принципа целенаправленности – некоторым обобщенным функционалом.

Качество подсистем определяется частными критериями. Последние не должны противоречить критерию качества всей системы (соблюдение организмического принципа [5]).

Балльная оценка, как систем, так и подсистем может производиться, в частности, на основе областей равных оценок, построенных по разработанным функционалам качества, характеризующим каждое из свойств системы [6].

Во многих случаях возникает необходимость разработки специальных методов идентификации, функционалов качества и обработки экспериментальных данных. В силу некорректности обратных задач при определении неизвестных параметров должно производиться сравнение значений функциональных и структурных характеристик сложных систем, устанавливаемых экспериментально и в результате моделирования. Результаты сравнения нами использовались для определения поправок к первоначальным значениям параметров с целью обеспечения требуемой точности оценки неизвестных параметров методом последовательных приближений.

Проектирование сложной системы фактически сводится к построению ее обобщающей модели: реализация проекта системы осуществляется с учетом частных, взаимосвязанных, взаимообусловленных моделей. Проект представляет собой ряд зависимостей между целями проектирования, возможными целями их достижения, окружающей средой и ресурсами. Его можно рассматривать и как сложную модель, отражающую все интересующие свой-

ства будущей реальной системы. Выбор некоторого проектного решения из возможных альтернативных вариантов (средство достижения целей проектирования) осуществляется на основе некоторого показателя (критерия выбора), обобщенно характеризующего степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. На этом этапе система рассматривается как совокупность взаимосвязанных, управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования для решения заданной проблемы в некотором диапазоне условий. При выборе рационального варианта и оптимизации его параметров желательно учесть показатель «эффективность–стоимость» (соотношение между эффективностью решения поставленной задачи и суммарными затратами на решение: обеспечение максимальной эффективности при заданных затратах или обеспечение минимальной стоимости при заданном уровне эффективности). При проектировании системы с длительным периодом эксплуатации следует учитывать не только сегодняшнее состояние среды, но и прогнозируемые изменения (долговечность): на систему влияют любые изменения внешней среды, а свойства внешней среды изменяются в результате работы системы. Наконец, так как изменения параметров любого из компонентов сложной системы вызывают изменение работы всей системы и ее выходных параметров, то необходимо предусмотреть и возможные отказы (нарушение работоспособности) подсистем; обеспечить передачу функций одной подсистемы другой (в настоящее время широко используется при строительстве высотных зданий, стадионов и т. д.). Для этого можно предусмотреть резервирование подсистем (простейший случай – дублирование). Естественно, отсутствие абсолютной уверенности в прогнозировании функционирования проектируемой системы приводит к необходимости предусмотреть возможность ее различных модификаций.

**Заключение.** Эффективность использования разработанной модификации метода ПАТТЕРН подтвердилась при разработке ряда сложных систем [1–3].

**Список литературы:** 1. Гарькина И. А. Строительные материалы как системы / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 55–58. 2. Гарькина И. А. Математические методы в строительном материаловедении. Монография / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, А. Л. Прошин [и др.] / под ред. акад. РААСН В. И. Соломатова. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2001. – 188 с. 3. Гарькина И. А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 3/4. – С. 30–37. 4. Данилов А. М., Гарькина И. А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / А. М. Данилов, И. А. Гарькина // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74. 5. Таран В. А. Эргатические системы управления: Оценка качества эргатических процессов / В. А. Таран. – М. : Машиностроение, 1976. – 186 с. 6. Прошин А. Л. Разработка и управление качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами для защиты от радиации / А. Л. Прошин, А. М. Данилов, Е. В. Королев [и др.] // Идентификация систем и задачи управления SICPRO' 03: Труды II Международной конференции, ИПУ РАН. – М., 2003. – С. 2437–2460.

Надійшла до редакції 28.03.2011

**І. О. ГОРДА**, аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури

### **КОМУНІКАТИВНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО МОДУЛЬНОГО НАВЧАННЯ ТОЧНИМ НАУКАМ**

У роботі формалізована комунікативна схема автоматизованого оцінювання знань в умовах дистанційного модульного навчання точним наукам. Виділені основні елементи даної схеми, поставлені головні завдання, виявлено механізм взаємозв'язку кожного елемента один з одним.

В работе формализована коммуникативная схема автоматизированного оценивания знаний в условиях дистанционной модульной учебы точным наукам. Выделенные основные элементы данной схемы, поставлены главные задания, обнаружен механизм взаимосвязи каждого элемента друг с другом.

The paper formalized communicative scheme of automated assessment in a distance learning module exact sciences. The basic elements of the scheme, set the main task, revealed the mechanism of the relationship of each element with each other.

**Введення.** В умовах розширення практики дистанційного модульного навчання точним наукам, актуальним є вивчення комунікативної складової дистанційного оцінювання знань [1]. Зараз, коли навчальний процес змінився на кредитно-модульну систему, питання автоматизації процесу навчання, а саме автоматизованої оцінки знань стало одним з найважливіших завдань, яке потребує вирішення. В межах цієї задачі нагальним є створення системи, яка б могла контролювати навчальний процес, а саме реалізовувати так званий комп'ютерний контроль знань.

Зазначимо, що проблема комп'ютерного контролю знань завжди розглядається в двох аспектах: методичному, технічному.

Для управління контролем знань необхідно виділяти наступні методи:

- методи і моделі організації контролю;
- методи визначення і оцінки знань, умінь і навичок студентів, які виконують завдання.

Основні методи організації контролю знань можна розділити на три класи:

- не адаптивні методи;
- частково адаптивні;
- адаптивні методи.

Визначення оцінки знань представляє собою задачу розпізнавання, яка основана на результатах навчання. Рішення проблеми оцінювання здійснюється в три етапи:

- визначення параметрів контролю;

- збір, аналіз даних, які отриманні в процесі контролю знань;
- виставлення оцінки за контрольну роботу.

Методи оцінки знань можна розділити на два класи: математичні і класифікаційні методи. Зазначено, що методи проведення контролю знань і методи оцінки знань тісно взаємопов'язані і в основі їх реалізації лежить аналіз тексту.

Робота з текстом досі залишається доволі складною. Текст, з однієї сторони, являється зовнішньою єдністю, сукупністю мовних засобів, та з іншої – внутрішньою: між формою і змістом тексту немає однозначної відповідності. Нехудожні тексти принципово відрізняються від художніх. Матеріал з технічних дисциплін, відноситься до нехудожнього тексту, який характеризуються основними ознаками представленими на рис. 1.



Рис. 1 – Схема ознак нехудожнього тексту

Текст є впорядкованою ієрархією об'єктів змісту, як одиниць аналізу. Сенс тексту – це поняття, що мається на увазі і воно прямо залежить від знань про предмет. Уявне або реальне призначення тексту, закладається конкретно спільнотою.

Моделі, які використовуються для аналізу текстів будемо представляти як концептуальні граfi, що складається з двох типів елементів: концептів та концептуальних зв'язків.

Потреба опису якості підготовки студентів методами компетентностного підходу давно назріла, а Болонський процес вимагає загального розуміння змісту кваліфікацій і мір. В якості пріоритетного напрямку розвитку цих методів є визначення загальних і спеціальних компетенцій випускників [2].

Під професійною компетенцією розуміється здатність учня бути обізнаним в конкретно-предметних знаннях, успішно застосовувати уміння і необхідні професійні знання при вирішенні певного класу професійних завдань. Професійна компетенція визначає діяльну суть професіоналізму і виступає першоосновою формування усєї професійної компетентності в області дисципліни, що викладається.

Безпосередньо через виділення професійної компетенції будується прямий зв'язок між технологією дистанційного модульного навчання точним

наукам і автоматизованим оцінюванням знань, за рахунок визначення структури оцінки знань у рамках модуля. Для цього використовується чотири рівні глибини компетентності (освоєння знань):

- негативний рівень;
- здатність відтворення отриманих знань;
- здатність продемонструвати розуміння і уміння застосовувати отримані знання, тобто розуміння – це осмислена реалізація знання та аналіз змісту знання;
- здатність продемонструвати осмислення отриманих знань і уміння їх трансформувати, розуміння – це засоби пояснення і систематизації знання, встановлення зв'язків між окремими компонентами знання, розкриття внутрішньої природи об'єкту, причин його трансформації.

Модель комунікативних процесів автоматизованого оцінювання знань в умовах дистанційного модульного навчання точним наукам представлена на рис. 2

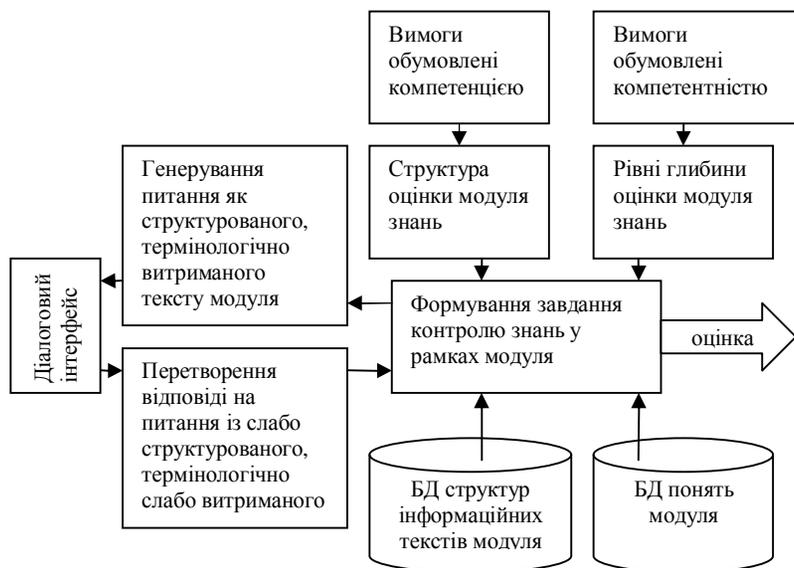


Рис. 2 – Схема комунікативних процесів

Специфіка комунікативних процесів обумовлена наступними принципами:

- використовується в навчанні рідна мова, зрозуміла і доступна, що значно підвищує віддачу при використанні дистанційного навчання;

- разом з використанням рідної мови, для контролю знань і умінь використовується термінологічний, каркасно-структурований набір питань-текстів по матеріалах кожного модуля;
- використовується БД понять модуля [3];
- сукупність комунікативних процесів реалізує наступне: доступ, передачу, визначення, інтеграцію, автоматичну оцінку інформації.

В умовах дистанційного модульного навчання основним засобом, за допомогою якого можна реалізувати контроль компетентності учня являється питання, що виражене у формі питального речення і представляється у вигляді обмеженої кількості відповідей з конкретної базисної, істинної і несуперечливої галузі знань у рамках викладання. Цей перехід (запитання) є послідовністю наступних етапів :

- визначення базисної галузі знань;
- формулювання питання в термінах базисної галузі знань;
- формування відповіді на поставлене питання;
- постановка питання перед учнем;
- отримання відповіді на поставлене питання від учня.

В умовах дистанційного модульного навчання точним наукам змістовної зв'язності релевантна відповідь за змістом і структурою будуватиметься в межах певної термінології і відповідно до поставленого питання. Якість відповіді визначається якістю питання. Для отримання точної відповіді необхідно сформулювати точно і визначене понятійно-структурне питання.

При цьому відповіді можуть бути:

- істинні і неправдиві;
- прямі і непрямі, такі, що розрізняються способом вираження інформації;
- короткі і розгорнуті;
- повні і неповні, за об'ємом представленою у відповіді інформації.

**Висновок.** Результат аналізу моделі комунікативних процесів автоматизованого оцінювання знань в умовах дистанційного модульного навчання точним наукам демонструє, що в основі цієї системи лежить інформаційний процес, орієнтований на максимальну інтенсифікацію професійної і інформаційної діяльності учня.

**Список літератури:** 1. *Архангельский С. И.* Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы / С. И. Архангельский. – М. : Высшая школа, 2007. – 368 с. 2. *Байденко В. И.* Болонский процесс: структурная реформа высшего образования Европы / В. И. Байденко. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, Российский Новый университет, 2003. – 128 с. 3. *Зимняя И.А.* Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании / И. А. Зимняя. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. – 2004. – 42 с.

Надійшла до редколегії 19.08.2011

**О. В. ТОНИЦА**, канд. физ.-мат. наук, доцент НТУ «ХПИ»;  
**С. Л. МЕЛЬНИЧЕНКО**, студент НТУ «ХПИ»

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статті розглядаються конструктивні методи і алгоритми комп'ютерного і математичного моделювання системи прогнозування надзвичайної ситуації на основі побудованої нейронної мережі. Запропонований підхід дозволяє виконувати моделювання ризику аварій на виробництві та моделювання природної надзвичайної ситуації на основі вхідних параметрів, що були отримані раніше.

В статье рассматриваются конструктивные методы и алгоритмы компьютерного и математического моделирования системы прогнозирования чрезвычайных ситуаций на основе построенной нейронной сети. Предложенный подход позволяет выполнять моделирование риска аварий на производстве и моделирования природной чрезвычайной ситуации на основе входных параметров, полученных ранее.

The article deals with design methods and algorithms for computer and mathematical modeling system for forecasting of emergency situations on the basis of the constructed neural network. The proposed approach allows simulation of the risk of accidents at work and modeling of natural emergency, based on inputs received before.

**Введение.** В современных условиях хозяйственной независимости промышленных предприятий для многих из них весьма актуальным стал вопрос о прогнозировании. Прогнозирование - это предвидение будущих событий. Целью прогнозирования является уменьшение риска при принятии решений. В большинстве случаев прогноз получается ошибочным, причем ошибка заключается в прогнозирующей системы и методов прогнозирования. Для уменьшения ошибки необходимо увеличивать количество ресурсов, предоставляемых для прогноза. При некотором уровне ошибки возможно добиться минимального уровня ресурсов для прогноза. Основной проблемой прогнозирования является выявление неточности прогноза. Обычно, решение, принятое на основании прогноза должен учитывать ошибку, о которой сообщает система прогнозирования. Таким образом, система прогнозирования должна обеспечить определение прогноза и ошибки прогнозирования [2].

Типичными приложениями техники прогноза является предвидение цен на фондовой бирже, прогноз погоды, прогноз потребления электроэнергии, прогноз отказов технических систем и т.д.

Одним из наиболее популярных сегодня подходов решения задачи прогнозирования является использование искусственных нейронных сетей. Нейронные сети - это раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ. Важнейшая особенность сети, что свидетельствует о ее широкие возможности и огромный потенциал, заключается в параллельной

обработке информации всеми звеньями, что позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях. Другая не менее важное свойство - способность к обучению и обобщения накопленных знаний. Нейронная сеть имеет черты искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве данных сеть способна обобщать полученную информацию и показывать хорошие результаты на данных, не использовались при ее обучении. В рамках этого подхода поведение некоторого процесса зачастую превращается во временной ряд, и далее сетью прогнозируется уже поведение этого временного ряда.

**Постановка задачи.** Цель исследования состоит в разработке информационной системы для прогнозирования чрезвычайной ситуации на производстве (отказ технической системы) и в природе на основании ранее замеренных данных, а также установление особенностей и закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций на территориальном уровне. Для этого предполагается построить нейронную сеть, на вход которой будет поступать вектор входных сигналов, который представляет собой набор числовых данных, ранее полученных при измерениях соответствующих величин.

Идея работы заключается в построении и использовании динамических моделей для оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на территориальном уровне.

Система оценки чрезвычайных ситуаций должна позволять на основе применения информационного, организационного и программного обеспечения осуществить интеграцию, анализ и информационную поддержку принятия управленческих решений.

**Описание выбранной нейронной сети.** При выборе архитектуры сети обычно испытывается несколько конфигураций с разным количеством элементов. Исходя из того, что задача прогнозирования является частным случаем задачи регрессии, следует, что она может быть решена следующими типами нейронных сетей: многослойным перцептроном (MLP), радиально-базисной сетью (RBF), обобщенно-регрессионной сетью (GRNN) и сетью Вольтерри.

При решении задачи прогнозирования временных рядов в качестве нейронной сети была выбрана обобщенно-регрессионная сеть, реализующая методы ядерной аппроксимации. GRNN-сеть имеет два скрытых слоя: слой радиальных элементов и слой элементов, формирующих взвешенную сумму для соответствующего элемента выходного слоя (рис. 1).

В выходном слое определяется взвешенное среднее путем деления взвешенной суммы на сумму весов. В качестве радиальной функции применяется функция Гаусса. Входной слой передает сигналы на первый промежуточный слой нейронов, являющихся радиально симметричными. Они несут в себе информацию о данных обучающих случаев или же их кластерах и передают ее во второй промежуточный слой. В нем формируются взвешенные суммы для всех элементов выходного слоя и сумма весов, вычисляемая специальным элементом.

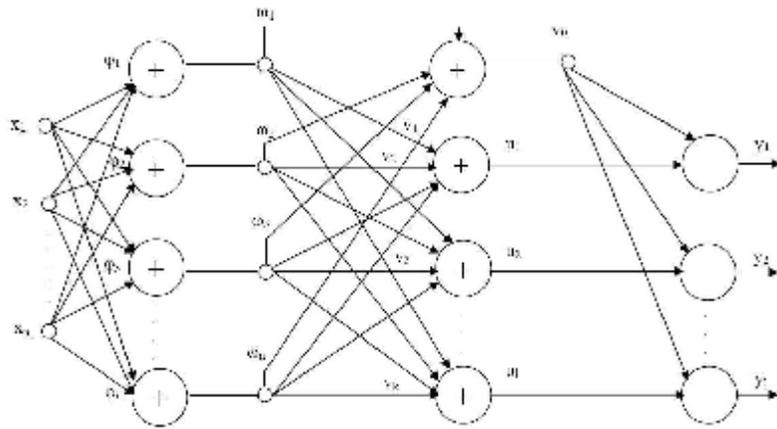


Рис. 1 – Обобщенная структура сети GRNN

Первый промежуточный слой сети GRNN состоит из радиальных элементов. Второй промежуточный слой (линейный) содержит элементы, которые помогают оценить взвешенное среднее. Каждый выход имеет в этом слое свой элемент, формирующий для него взвешенную сумму. Чтобы получить из взвешенной суммы взвешенное среднее, эту сумму нужно поделить на сумму весовых коэффициентов. Последнюю сумму вычисляет специальный элемент второго слоя. После этого в выходном слое производится собственно деление (с помощью специальных элементов «деления»). Таким образом, число элементов во втором промежуточном слое на единицу больше, чем в выходном слое. Как правило, в задачах регрессии (аппроксимации) требуется оценить одно выходное значение и, следовательно, второй промежуточный слой содержит два элемента.

Процесс обучения GRNN-сети аналогичен обучению RBF-сети. Первоначально настраиваются центры базисных функций, затем с фиксированными параметрами RBF-нейронов обучается выходной слой.

Достоинством сети GRNN можно считать определенность структуры: сеть фактически вмещает в себя все обучающие данные. С другой стороны, такая структура нейронной сети и является ее самым большим недостатком: при большом объеме обучающих данных скорость работы сети падает, иногда очень существенно, по причине заметного увеличения сложности архитектуры.

Обучение сети необходимо выполнять отдельно для каждого временного ряда, так как попытка прогнозирования ряда, на котором сеть не была обучена, приведет к ошибочному результату.

**Программная реализация.** Для решения поставленной задачи была смоделирована GRNN-сеть в среде MATLAB (рис. 2). Для создания сети

GRNN используется функция `newgrnn()`. Чтобы решить задачу, необходимо определить два массива одинакового размера:

- массив *P*, который содержит значения временного интервала;
- массив *T*, который содержит значения измеряемой величины в определённый момент времени.

$$net = newgrnn(P, T), \quad (1)$$

где `newgrnn` – функция, которая создаёт объект класса `network`.

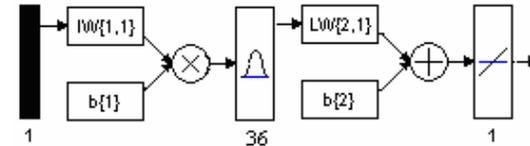


Рис. 2 – Структура GRNN-сети в MATLAB

Число нейронов в скрытом слое выбирается равным размеру массива входных данных. Далее происходит обучение нейронной сети с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. После этого выбранная нейронная сеть моделируется с помощью функции `sim()`.

$$A = sim(net, P), \quad (2)$$

где `sim()` – функция моделирования нейронной сети;

`net` – объект класса `network`.

Применим значение параметра `spread` немного меньшим, чем шаг задания аргумента функции (в нашем случае это единица), чтобы построить аппроксимирующую кривую, близкую к заданным точкам. Чем меньше значение параметра `spread`, тем ближе точки аппроксимирующей кривой к заданным, но тем менее гладкой является сама кривая.

Так как мы используем многослойную нейронную сеть, то для минимизации ошибки на выходе используется алгоритм обратного распространения. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к её входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы. Таким образом, обобщенно-регрессионная сеть копирует внутрь себя весь числовой ряд, который подавался на вход сети и строит на основании этих данных аппроксимирующую кривую. В результате по аппроксимирующей кривой можно судить о вероятности появления чрезвычайной ситуации.

Окончательно выход радиально-базисного слоя GRNN-сети вычисляется по следующей формуле:

$$v_i = \sum_{t=1}^k \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{S_t}{S_t^2}\right) w_t, \quad (3)$$

где  $S$  – входной сигнал;  $w$  – весовой коэффициент  $i$ -го нейрона RBF-слоя;  
 $v$  – выход  $i$ -го нейрона RBF-слоя.

Затем вектор выходных сигналов  $v$  передается на вход второго промежуточного слоя сети.

Отообразим полученные выходы сети и значения ошибки в таблице.

Вход сети, P	Значения выборки, T	Выход сети, Y	Ошибка, E
1	1.1	1.1811	0.0011
2	1.5	1.5527	0.0003
3	2.2	2.2314	0.0001
4	3.1	2.8981	-0.0119
5	2.8	2.7000	-0.0051
6	1.9	2.1291	0.0011
7	2.4	2.1233	-0.0157
8	1.2	1.5368	0.0188
9	2.0	2.4128	0.0158
10	5.3	4.5605	-0.0350
11	4.1	4.6716	0.0216
12	6.4	6.1156	-0.0144
13	7.0	6.4375	-0.0225
14	4.2	4.9679	0.0379
15	6.0	6.4070	0.0187
16	10.2	9.7991	-0.0159
17	12.0	11.6520	-0.0281
18	11.8	11.2695	-0.0185
19	8.4	9.1100	0.0200
20	9.3	9.1315	-0.0035

В нашем случае мы взяли значение параметра *spread* равным 0.7. Варьируя этим параметром, мы можем добиться разных значений выхода нейронной сети. Соответственно и значения ошибки сети будут меняться.

Таким образом, мы получили кривую, которая проходит вблизи значений экспериментальной выборки (обозначены «звёздочками»). С помощью нейронной сети было построено множество точек, которые более упрощенно описывают исходные данные. Построенное множество «сглаживает» экспериментальную выборку и на основании построенной аппроксимирующей кривой можно судить о вероятности возникновения чрезвычайной ситуации.

Для того чтобы показать качество работы построенной обобщенной регрессионной нейронной сети, необходимо вычислить её ошибку на каждом шаге и построить график ошибок. Малое значение ошибки на выходе сети говорит о том, что нейронная сеть обучилась правильно и может быть использована для решения поставленной перед ней задачи. Как правило, пользователь сам может выбирать условие, при котором нейронная сеть перестает обучаться. Это может быть задание количества эпох (циклов обучения) либо задания значения ошибки, которая является критерием останова процесса обучения.

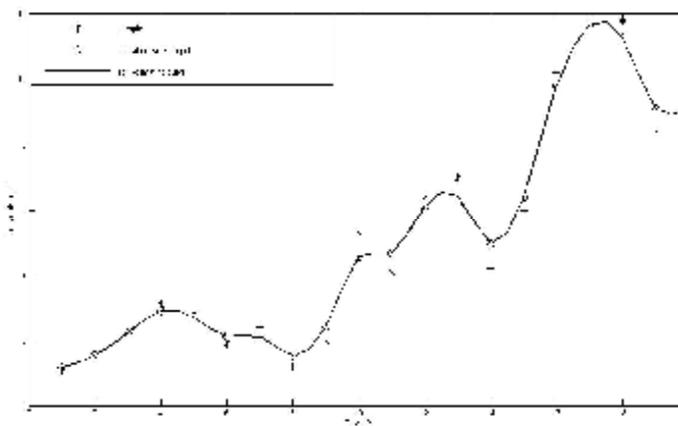


Рис. 3 – Аппроксимирующая кривая

Таким образом, ошибка построенной нами нейронной сети не превышает значения 0.04. Следовательно, можно говорить о том, что нейронная сеть обучена правильно и готова к прогнозированию временных рядов.

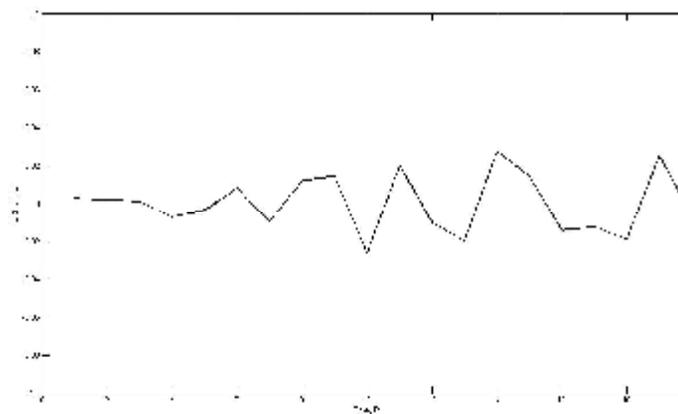


Рис. 4 – График ошибки нейронной сети

**Выводы.** Разработана нейронная сеть, позволяющая делать прогноз вероятности возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера

при функціонуванні складного промислового об'єкта, і незвичайної ситуації природного характеру, которая может возникнуть на рассматриваемой территории. Выбранная нейронная сеть была программно реализована посредством Neural Network Toolbox - пакета расширения MATLAB. Построенная сеть позволяет выполнять прогнозирования природных показателей (температура, влажность) и показателей технологического процесса для определения вероятности чрезвычайной ситуации. Малое значение среднеквадратического отклонения говорит о том, что построенная обобщенная регрессионная нейронная сеть правильно обучена и с довольно большой вероятностью может спрогнозировать возникновение чрезвычайной ситуации.

**Список литературы:** 1. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского *И.Д. Рудинского.* – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с. 2. *Тарасенко Р.А., Сидоркин К.В., Костюхин М.Н.* Прогнозирование на основе аппарата нейронных сетей. 3. *Медведев В. С., Потемкин В. Г.* Нейронные сети. MATLAB 6. М.: Диалог – МИФИ, 2002. 4. Нейронные сети Statistica neural Networks. М.: Телеком, 2000. 5. Организация и обучение искусственных нейронных сетей / Авт.-сост. *Л.В. Калацкая, В.А. Новиков, В.С. Садков.* Мн.: БГУ, 2003.

Надійшла до редколегії 30.05.2011

УДК 004.81

**Б. О. КУЗІКОВ**, завідувач лабораторією систем електронного навчання,  
Сумський державний університет

## АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ НА ОСНОВІ ПРЕЦЕДЕНТІВ

Розробники систем адаптивного управління дистанційним навчанням часто стикаються з проблемою побудови формалізованих, кількісних моделей керування. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є застосування методів виводу на основі прецедентів. Стаття розглядає досвід впровадження модуля системи підтримки прийняття рішень адаптивного керування дистанційним навчанням на основі прецедентів в рамках системи дистанційного навчання Сумського державного університету.

Разработчики систем адаптивного управления дистанционным обучением часто сталкиваются с проблемой построения формализованных, количественных моделей управления. Одним из путей решения этой проблемы является применение методов вывода на основе прецедентов. Статья рассматривает опыт внедрения системы поддержки принятия решений адаптивного управления дистанционным обучением на основе прецедентов в рамках системы дистанционного обучения Сумского государственного университета.

Developers of adaptive e-learning systems, is often faced with the challenge of constructing formal, quantitative models of management. One solution to this problem is the application of the method of

conclusion on precedents. The article considers the experience of implementing the system of decision-support based on precedents for adaptive e-learning system of Sumy State University.

**Вступ.** У сучасному суспільстві спостерігається велика потреба в постійному вдосконаленні професійного рівня, освоєнні нових досягнень і здобутті нових навичок. Широко застосовується лозунг «Навчання через все життя».[1] Зрозуміло, що ефективне навчання за умов вибухоподібного накопичення знань повинне ґрунтуватися на максимально повному врахуванні особливостей особи, що навчається, її попередньому досвіді. Серед вимог до сучасної освітньої web-базованої системи [2] на одному з перших місць передбачена така риса, як адаптивність. Вона передбачає здатність системи адаптуватися до поточних потреб студента, корегуючи подання навчального матеріалу, темп і стиль навчання, включає урахування рівня знань особи, що навчається, цілей навчання, здібностей тощо.

Більшість сучасних навчальних систем побудовані за клієнт-серверною архітектурою з використанням гіпертекстових та гіпермедієвих підходів. У наукових працях як вітчизняних, так і закордонних авторів, широко розглядаються різні технології для реалізації гнучкого, пристосованого до користувача, підходу у навчанні. Корені цих технологій виходять як із інтелектуальних навчальних систем, так із гіпермедієвих систем.[3] Не зважаючи на ґрунтовну проробленість проблеми питання їх широкого впровадження в освітню діяльність є відкритим.

**Постановка задачі.** Навчання є складним, слабоформалізованим процесом. В умовах великих обсягів навчального матеріалу при дистанційному навчанні користувач часто потребує оперативної допомоги для орієнтації в просторі навчального матеріалу. Відсутність формальних моделей, які б давали прямий зв'язок вхідних параметрів та результатів навчання, ускладнює завдання автоматизованої оперативної допомоги. У широкому розумінні ми стикаємося із проблемою слабкої спостережуваності системи.

Задачею статті є опис моделей та методів, що були застосовані при впровадженні СППР керування дистанційним навчанням у СДН СумДУ.

**Керування за прецедентами.** Узагальнена структурна схема адаптивного керування представлена на рисунку 1.

Схематично будь-який крок курування об'єктом можна представити як сукупність трьох елементів (див. рис 2): стан об'єкта до впливу ( $c_i$ ), керуючий вплив ( $e_i$ ) і стан об'єкту після взаємодії ( $c_{i+1}$ ). Таку трійку, що складається із опису проблеми (стан до впливу), опису дій, що здійснюється у цій ситуації (керуючий вплив) та оцінки ефективності дій (стан об'єкту після взаємодії) назвемо прецедентом [4].

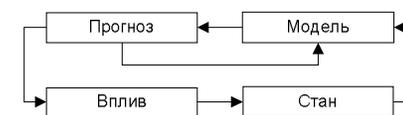


Рис 1 – Структура адаптивного керування

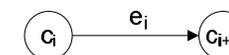


Рис 2 – Схема прецедент

Процес керування навчальним процесом у СДН ускладнюється тим, що у значний проміжок часу неможливо встановити достовірний стан об'єкта керування. Це пояснюється тим, що ряд параметрів, наприклад таких як психоемоційний стан студента, важко оцінити дистанційно. Крім того, у рамках клієнт-серверної технології важко оцінити і більш формальні параметри, наприклад такі як час, який користувач витратив на вивчення сторінки. Низька достовірність вхідних параметрів зумовлює низьку достовірності моделі користувача. Одним з шляхів розв'язання цієї проблеми є фільтрація моментів оцінки стану об'єкта. Наприклад, знання студента найбільш достовірно можна оцінити у момент закінчення сеансу контролю знань. Таким чином, представлену схему у випадку керування навчанням в рамках СДН представимо наступним чином (див. рис. 3).

Під  $c_i$ ,  $c_j$ ,  $c_k$  розуміється стан користувача після сеансів контролю знань,  $c_{i+1}$ ,  $c_{i+1}$ ,  $c_{i+2}$ ,  $c_{j+1}$  – стан користувача у інші моменти взаємодії із СДН,  $e_i$ ,  $e_j$ ,  $e_k$  – керуючі впливи СДН, що на фізичному рівні відповідають переходам у медіа-просторі СДН.

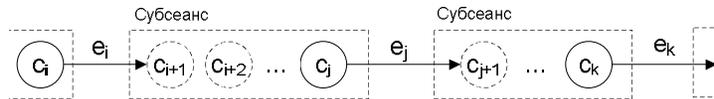


Рис 3 – Ланцюг прецедентів

Зважаючи на вищесказане, підкреслимо проблематичність побудови формалізованої, кількісної моделі керування. Між тим, за час роботи СДН накопичено велику кількість слабоструктурованих даних щодо поведінки користувачів у різних ситуаціях. Це дає змогу оцінити і відібрати найбільш вдалі зразки поведінки. Дії, що виконує користувач для розв'язання проблеми, назвемо патерном поведінки.

Підсумовуючи, вкажемо, що згідно з [5] прецедент включає: опис проблеми, розв'язок цієї проблеми, результат застосування розв'язку. У нашому випадку описом проблеми є оцінка стану користувача в момент закінчення сенсу контролю знань, розв'язком – патерн його поведінки, оцінкою результату – результати наступного тестування.

У ряді випадків вивід за прецедентами має значні переваги в порівнянні із виводом заснованому на правилах. Цей підхід є особливо ефективним, коли:

- джерелом знань про проблему є досвід, а не теорія;
- множина розв'язків менша за множину проблем;
- припустимим є вибір локально-оптимального варіанту керування.

Ключовими моментами (див. рис. 4) при побудові керування за прецедентами є вибір найбільш вдалого прецеденту із бази існуючих та адаптація його до поточної ситуації.

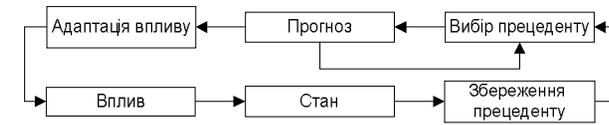


Рис 4 – Структура адаптивного керування за прецедентами

**Пошук вдалих прецедентів.** Незважаючи на те, що системи вивода за прецедентами показують добрі результати на великому колі різних задач, вони мають ряд суттєвих недоліків. Одним із них є те, що система не створює жодної моделі чи правила знаходження розв'язку, що узагальнюють попередній досвід – при виборі розв'язку вони засновуються на всьому масиві попередніх результатів, тому неможливо встановити, на основі яких фактів був отриманий розв'язок.

В основі всіх підходів до відбору прецедентів лежить той чи інший спосіб обрахування міри близькості прецеденту з бази існуючих до поточної ситуації. Для цього використовують відстань за Евклідом, міра подібності Хеммінга, відстань Махаланобіса, відстань Журавльова та інші метрики. Іншим підходом є кластеризація множини прецедентів. Основна ідея полягає у тому, що якщо поточна ситуація попадає в один з кластерів, то найбільш вдалим для нього аналогом вважається центр цього кластеру. Запропонований підхід дозволяє провести редукацію бази прецедентів до величини порядку потужності множини розв'язків.

При аналізі доступних альтернатив нами було обрано підхід до пошуку найбільш вдалого прецедента із застосуванням математичного апарату інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІТ).[6] При цьому було побудовано класифікатор, який відносить набір вхідних параметрів (проблему) до того чи іншого класу. У якості критерію розбиття навчальної вибірки обрано патерн поведінки, бо саме цей параметр є основним при побудові керування процесом навчання. Зауважимо, що наявний математичний апарат дозволив оцінити інформаційну ефективність системи загалом та кожного з вхідних параметрів окремо. Указаний класифікатор частково розв'язує проблему побудови опису закономірностей, притаманних тому чи іншому патерну поведінки, створюючи підґрунтя для їх аналізу.

**Вхідні дані.** Вхідними даними для побудови навчальної вибірки стали записи журналу роботи із СДН. Це більш як 5.2 мільйони запитів за період з 9 січня до 26 травня 2011 року. Вхідний масив даних був розбитий на дії – послідовність однотипних запитів, що виконуються одним користувачем і слідує один за одним, наприклад "читання лекцій" або "робота із поштою". Послідовності дій, між якими не більш як 30-хвилинний проміжок часу, поєднані у сеанси роботи із СДН. У кожному з сеансів виділені субсеанси – послідовності дій, що закінчуються сеансом тестового контролю знань. Таким чином, інформація, яка отримана від користувача протягом одного субсеанса, складає опис проблеми прецеденту, розв'язком – патерн поведінки по

закінченню сенсу тестування, результат наступного контролю знань – оцінка ефективності розв'язку.

Вхідними параметрами, для класифікатора були наступні:

1. Параметри тесту:
  - Відсоток вдалих проходжень тесту (для всіх користувачів).
  - Середня складність питань тестового контролю знань.
2. Параметри користувача:
  - Ймовірність того, що користувач вдало здасть тест, якщо запустить його зараз (з урахуванням поточного результату та ні.).
  - Відсоток знань по курсу.
3. Параметри сеансу тестування:
  - Тривалість сеансу тестування.
  - Середня тривалість відповіді на питання.
  - Відсоток правильних відповідей на питання тестового контролю.
  - Номер сеансу тестування у поточному сеансі роботи із СДН.
  - Чи вивчався у поточному сеансі (субсеансі) роботи з СДН лекційний матеріал?
  - Тривалість сеансу (субсеансу) роботи з СДН.
4. Глобальні параметри:
  - Ймовірність того, що будь-який користувач вдало здасть тест при повторному проходженні (з урахуванням поточного результату).
5. Параметри бази знань:
  - Скільки вузлів для подальшого вивчення можуть бути запропоновані користувачу (2 алгоритми відбору вузлів)
6. Інші параметри.

Загалом словник складає 19 ознак розпізнавання.

**Розбиття на класи.** При аналізі послідовностей дій були виокремлені наступні типові патерни (стратегії) поведінки: перейти до наступної лекції, повернутися до попередньої лекції, повторити контроль знань, закінчити роботу із СДН, перейти до іншої дисципліни. Дані щодо розподілу обраних патернів подальшої поведінки у навчальній вибірці наведені у таблиці 1. Вибір користувача щодо патерну поведінки вважався вдалим, якщо наступний сеанс тестування був вдалим. Дані щодо відсотка вдалих виборів для кожного з патернів поведінки наведено у стовбці «Відсоток вдалих» таблиці 1.

На основі даних навчальної вибірки побудовано класифікатор, проведено оптимізацію системи контрольних допусків. Графіки залежності коефіцієнта функціональної ефективності (КФЕ) від радіусів контейнерів відповідних класів приведено на рисунку 5 (а–д). Штриховкою позначено робочі області класифікатора, тобто значення параметрів, при яких перша і друга достовірність більша за 0.5. КФЕ обраховувався із застосуванням інформаційної міри Кульбака.

Таблиця 1 – Розподіл типових патернів поведінки у навчальній вибірці

Патерн поведінки	Абсолютна кількість у навчальній вибірці	Відсоток вдалих
Повернутися до попередньої лекції	755	59,7%
Перейти до наступної лекції	1389	63,8%
Повторити контроль знань	1295	66,8%
Перейти до іншої дисципліни	6212	78,5%
Закінчити роботу із СДН (відпочити)	3082	63,8%
Загалом	12733	

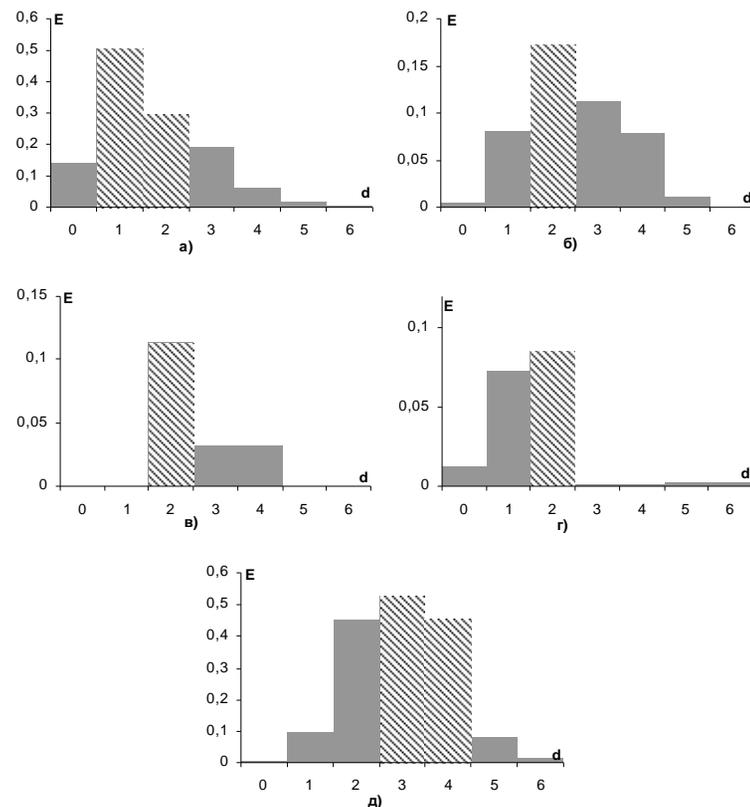


Рис 5. Графіки залежності значення КФЕ для класів розпізнавання від радіусів контейнерів класів: а – перейти до іншого курсу, б – перейти до наступної лекції, в – перейти до попередньої лекції, г – відпочити, д – спробувати здати тест ще раз.

**Адаптація керуючого впливу.** Як було вказано вище, керування на основі прецедентів складається із двох ключових кроків: відбір найбільш вдалого прецеденту та його адаптація до поточної проблеми. Розв'язання другої задачі часто неможливе без застосування додаткової, пов'язаної інформації, зокрема, знань про предметну область (domain knowledge). Розглянемо розв'язання задачі адаптації прецедента на прикладі партерну поведінки "перейти до наступної лекції".

Нехай із кожним навчальним об'єктом (НО) пов'язана інформація щодо понять, які в ньому використовуються. Вхідним поняттям (input concept) НО називається поняття, визначення якого дано в деякому іншому НО цього чи іншого навчального курсу. Вхідне поняття (output concept) НО – поняття, визначення якого наводиться у цьому об'єкті. [7] Нехай модель користувача утримує інформацію, щодо стану вивченості того чи іншого поняття. [8] Зауважимо, що дані моделі користувача є лише оцінками стану вивченості, тому ці параметри краще інтерпретувати як ймовірність того, що користувач засвоїв знання, пов'язані із поняттям повністю. При цьому значення 0.5 відповідатиме стану невизначеності. Тоді кожному НО можна співставити точку на площині "інтерес"–"готовність", де вісь "інтерес" є оцінкою стану вивченості результуючих понять НО (формула (1)), а шкала "готовність" – оцінці стану вивченості вхідних понять НО (формула (2)).

$$F_{o,j} = 1 - \frac{\sum_{t \in T_{o,j}} UM(t)}{|T_{o,j}|} \quad (1)$$

$$F_{i,j} = \frac{\sum_{t \in T_{i,j}} UM(t)}{|T_{i,j}|} \quad (2)$$

У формулах (1) та (2)  $T_{o,j}$  – вихідні поняття  $j$ -го НО,  $T_{i,j}$  – вихідні поняття  $j$ -го НО,  $UM_p(i)$  – оцінка вивченості поняття  $i$  користувачем  $p$ .

У випадку, коли формування навчальної траєкторії виконується автоматично наступний НО обирається за критерієм  $\max(F_{o,j} - F_{i,j})$ . У випадку ліберальної стратегії навчання користувачу надається анотований список найбільш вдалих за вказаним критерієм вузлів. Приклад анотованого списку посилань та принципи його формування наведені нижче.

**Впровадження.** У попередньому розділі ми співставили всім НО точки на площині "інтерес"–"готовність". Виділимо у просторі 9 квадрантів (див. рис. 6).

Квадранти 6,8,9 – відповідають НО, що мають інтерес для користувача та до вивчення яких він готовий. Квадранти 1,2,4 – відповідають НО, що малоцікаві для вивчення та до вивчення яких користувач не готовий. На початку вивчення дисципліни більшість НО

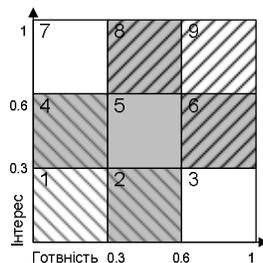


Рис 6. Квадранти на площині "інтерес"–"готовність"

належать до 5-го квадранту, тобто оцінки стану вивченості їх користувачем та інтересу до них є невизначеними. Мета навчання – перевести всі НО у 3-й квадрант, тобто у стан, коли всі пов'язані із документом поняття є вивченими.

При впровадженні підсистеми адаптивного керування навчальною діяльністю у СДН СумДУ була обрана реалізація ліберальної стратегії навчання. Після кожного сеансу тестового контролю знань користувачеві надається можливість перейти до наступної або попередньої лекції, повторити сеанс тестування, залишити повідомлення розробникам або скористатися одним з обраних системою посилань на навчальні матеріали (див. рис. 7).

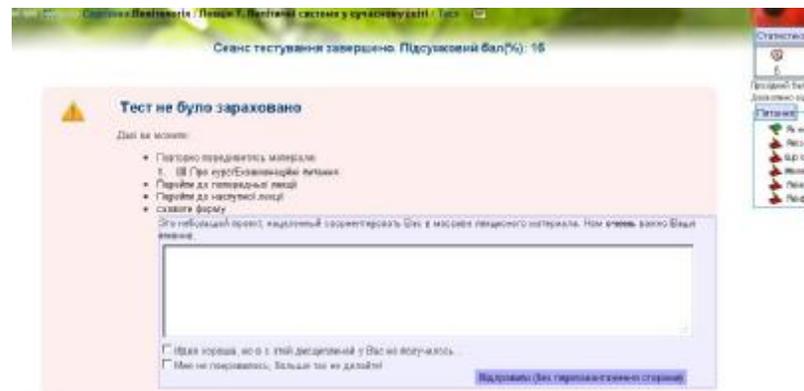


Рис 7. Приклад повідомлення, що формується СППР користувачеві при невдалій здачі тесту

При цьому пункті, що дає можливість повторити сеанс тестування ануотується підказкою, де вказано ймовірність того, що користувач вдало перездат тест. Оцінка ймовірності отримана шляхом статистичного аналізу попередніх результатів (див. рис. 8.)

Найбільш вдалі, за думкою СППР, ОН ануотуються за допомогою умовних позначень (див. рис. 9). Кількість «кубиків» – один, два чи три – відповідає квадрантам за шкалою інтересу, колір – червоний, сірий чи зелений – значенню за шкалою готовності до вивчення. Для зрозумілості зображення ановані текстовою підказкою.

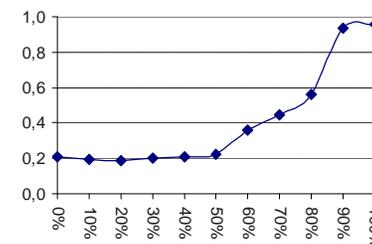


Рис 8. Графік залежності ймовірності вдалої перездачі тесту від попереднього результату



Рис 9. Приклад анотованих посилань

Система підтримки прийняття рішень була ввімкнена для 275 користувачів (17% активної аудиторії). Кожному користувачу була надана можливість залишити відгук, відмовитися від використання СППР для конкретного курсу чи загалом. У цілому були отримані схвальні відгуки. Відсоток відмов від використання засобу для окремих курсів склав 0.3% (1 відмова), для засобу загалом 1.8% (5 відмов). Слід також відмітити, що лева частина відгуків стосувалась самих тестів, що дозволило поліпшити їх якість. Розподіл патернів поведінки для користувачів, яким надавалися анотовані результати у таблиці 2.

**Подальші напрямки роботи.** Впровадження системи підтримки прийняття рішень у СДН СумДУ виявило ряд проблем. Не зважаючи на те, що СППР має робочу область для всіх класів розпізнавання, КФЕ та геометричні параметри контейнерів класів вказують на їх щільний перетин. Виходом з цієї ситуації введення нових ознак розпізнавання та дослідження їх впливу на КФЕ системи. Іншим підходом до вирішення цієї проблеми є застосування ієрархічного класифікатора [9].

Таблиця 2 – Розподіл патернів поведінки при застосуванні СППР

Патерн	Абсолютна кількість	Відсоток
Перездати тест	764	49,2%
Перейти до наступної лекції	484	31,2%
Повторити рекомендовану лекцію	172	11,1%
Повторити попередню лекцію	86	5,5%
Залишити побажання	47	3,0%
Загалом	1553	

Також серед напрямків подальшої роботи слід виділити вдосконалення автоматичного створення семантичної структури навчальних курсів. Цей напрямок пов'язаний з великими обсягами наявного лекційного матеріалу у СДН СумДУ, а також його постійним оновленням.

**Висновки.** Розробники адаптивних систем керування дистанційним навчанням часто стикаються з проблемою побудови кількісних моделей керування. Одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є побудова моделей із використанням математичного апарату нечіткої логіки, генетичних алгоритмів та виводу на основі прецедентів. У Сумському державному

університеті був впроваджений модуль СППР керування СДН. Він дозволив формувати рекомендації користувачеві щодо побудови навчальної траєкторії, реалізуючи ліберальний підхід до керування навчанням. Для побудови модуля використовувався вивід на основі прецедентів та математичний апарат інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології. Засоби зворотного зв'язку показали цілому позитивне ставлення користувачів до нововведення. Незважаючи на те, що СППР має робочу область для всіх класів розпізнавання, КФЕ та геометричні параметри контейнерів класів вказують на їх щільний перетин. Виходом з цієї ситуації є введення нових ознак розпізнавання та дослідження їх впливу на КФЕ системи й застосування ієрархічного класифікатора, що і є напрямками подальшої роботи автора.

**Список літератури 1.** Гриценко В. И. Информационный синтез адаптивной мультиагентной системы управления дистанционным обучением / В. И. Гриценко, А. С. Довбиш, В. А. Любчак // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 6. – С. 4–9. 2. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems / P. Brusilovsky, C. Peylo // International Journal of Artificial Intelligence in Education. – 2003. – № 13. – С.156–169. 3. Касьянов В.Н. Дистанционное обучение: методы и средства адаптивной гипермедиа / В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова // Программные средства и математические основы информатики. – Новосибирск : Ин-т систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН, 2004. – С. 80–141. 4. Карпов Л. Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов / Л. Е. Карпов, В. Н. Юдин. // Труды Института Системного Программирования РАН. – Т. 13, ч. 2. – М., 2007. – С.37–57. 5. Klaus-Dieter Althof. A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools / Klaus-Dieter Althof, Eric Aurioi, Ralph Barlette, Michel Manago. – AI Intelligence, 1995. – 148 P. 6. Красноясовський А. С. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування. Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань / А. С. Красноясовський. – Суми : Видавництво СумДУ, 2004. – 261 с. 7. Кузіков Б. О. Використання семантичних мереж і покриття змісту з тестами для формальної перевірки електронних навчальних матеріалів / Б. О. Кузіков // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Х. : НТУ "ХПІ". – 2010. – № 67. – С. 126–131. 8. Kuzikov B. O. Creation connectivity matrix of E-content elements for distance learning / B. O. Kuzikov // Nauka i studia. – № 6(18) 2009., Przemysł: "Nauka i studia". – С. 62–66. 9. Dovbysh A. S. Information-extreme algorithm for recognizing current distribution maps in magnetocardiography / Dovbysh A. S., Martynenko S. S., Kovalenko A. S., Budnyk N. N. // Journal of Automation and Information Sciences. – 2011. – № 43(2). – С. 63–70. 10. Щеголькова В. А. Схема адаптивного обучения по прецедентам / В. А. Щеголькова, В. А. Соколова // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2009. – № 3. – С. 26–31.

Поступила в редколлегию 27.06.2011

## ЗМІСТ

<i>Северин В. П., Северина Н. Ю., Косовская О. В.</i> Математическое моделирование систем управления паровой турбиной АЭС и синтез регуляторов методами векторной оптимизации.....	3
<i>Бобок И. И., Кобозева А. А.</i> Общий стеганоаналитический подход, основанный на матричном анализе.....	12
<i>Колбасин В. А., Шебенюк К. В.</i> Влияние выбора функции энергии на качество непропорционального масштабирования фотографических изображений.....	20
<i>Лебедева Е. Ю., Лебедев Ю. Ф.</i> Исследование метрик используемых при обнаружении клонированных участков изображений в задачах выявления фальсификации.....	25
<i>Зорило В. В.</i> Выявление клонирования как фальсификации цифрового изображения.....	31
<i>Шевченко С. В.</i> О выборе стратегий раннего предупреждения проблемных ситуаций в электроэнергетике.....	38
<i>Колбасин В. А.</i> Использование разделяемой памяти платформы CUDA в параллельной реализации искусственной нейронной сети прямого распространения.....	43
<i>Александрова Т. Е., Чирва А. С.</i> Розробка системи автоматизації моніторингу корпоративних клієнтів комерційного банку.....	47
<i>Полосухин И. Д.</i> Динамическая кластеризация временных рядов с использованием агрегированных показателей.....	52
<i>Кизим А. В., Шевченко С. В.</i> О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта.....	56
<i>Щербакова Н. Л., Щербаков М. В., Камаев В. А., Шевченко С. В.</i> Анализ изменения энергопотребления при отмене перехода на летнее/зимнее время.....	62
<i>Ботвинкин П. В., Лукьянов В. С., Шевченко С. В.</i> Web-ориентированное управление параметрами потребления энергетических ресурсов в локальных системах.....	67
<i>Голоскоков А. Е., Бродский М. А.</i> Моделирование совместного движения динамических объектов с учетом влияния случайных возмущений.....	73
<i>Безменов М. И., Конохова Н. В., Борисов В. Г.</i> Оцінка якості дистанційного курсу.....	80
<i>Гарькина И. А., Данилов А. М.</i> Разработка материалов как сложных систем: модификация метода ПАТТЕРН.....	85
<i>Горда І. О.</i> Комунікативні аспекти автоматизованого оцінювання знань в умовах дистанційного модульного навчання точним наукам.....	91
<i>Тоница О. В., Мельниченко С. Л.</i> Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с помощью нейронных сетей.....	95
<i>Күзіков Б.О.</i> Адаптивне керування навчальною діяльністю на основі прецедентів.....	101

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

**Збірник наукових праць**

**Тематичний випуск**  
«Системний аналіз, управління  
та інформаційні технології»

№ 35'2011

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О. С. Куценко  
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид № 30-11.

Підп. до друку 29.11/2011 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний.  
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 7,45. Облік.-вид. арк. 8,2.  
Наклад 300 прим. Перший завод 1–100. Зам. № 2/0929. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

ФОП Стеценко І. І., 61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21,  
тел. 758-17-35