

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

*Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні
технології*

№ 2 (976) 2013

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2013

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 2 (976). – 160 с.

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

Збірник виходить українською та російською мовами.

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

Координаційна рада:

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);
К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);
А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;
Є. Є. Александров, 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. Дмитриенко, 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. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

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.
Члени редакційної колегії: І. П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.;
В. Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.; О. В. Сфімов, д-р техн. наук, проф.;
І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.; Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.;
Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; В. П. Северин, д-р техн. наук, проф.;
Н. В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.; М. О. Ястребенецький, д-р техн. наук, проф.

З номеру 42'2012 Вісник НТУ «ХПІ» має власну подвійну нумерацію: № 42 (948).

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».
Протокол № 11 від 21 грудня 2012 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2013

А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, профессор НТУ;
И. И. МАРЧЕНКО, ассистент НТУ «ХПИ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Сформулирована математическая модель метода молекулярной динамики, учитывающая эффекты квантовой статистики. Предложена численная схема решения предложенной модели. Проведены тестовые расчеты и выполнено сравнение с экспериментальными данными. Получены результаты расчета средних смещений приповерхностных атомов меди для различных температур.

Ключевые слова: математическое моделирование, молекулярная динамика, квантовая статистика.

Сформульована математична модель методу молекулярної динаміки, що враховує ефекти квантової статистики. Запропоновано чисельна схема вирішення запропонованої моделі. Проведено тестові розрахунки та виконано порівняння з експериментальними даними. Отримані результати розрахунку середніх зсувів приповерхневих атомів міді для різних температур.

Ключові слова: математичне моделювання, молекулярна динаміка, квантова статистика.

The mathematical model of the molecular dynamics method, which takes into account the effects of quantum statistics was formulated. Numerical scheme for the solution of the model was proposed. Test calculations and comparison with experimental data were obtained. The average displacements of copper surface atoms at different temperatures were computed.

Keywords: mathematical modeling, molecular dynamics, quantum statistics.

Введение. В настоящее время мощным направлением в исследовании процессов структурообразования тонких пленок является метод математического моделирования, в котором реальный процесс заменяется математической моделью. Математическое моделирование позволяет обнаружить новые физические закономерности в сложных неравновесных системах.

В данное время для исследований процессов структурообразования тонких пленок на атомарном уровне наибольшее распространение получил метод молекулярной динамики (МД) [1–2]. МД хорошо описывает поведение системы при высоких температурах. Однако в области температур ниже 300К важную роль начинает играть квантовая статистика, что не дает возможности применение классического метода МД.

В последние годы ряд исследовательских групп пытается распространить метод МД на системы, подчиняющиеся квантовой статистике [3–5], однако ими не было получено методов, позволяющих учитывать квантовые эффекты в полной мере.

Математическая модель. Динамические свойства металлов можно описать следующей системой обобщенных уравнений Ланжевена со случайной силой, описываемой цветным коррелированным шумом Ξ

$$\begin{cases} M\ddot{\mathbf{x}}^{(i)} = \mathbf{F}^{(i)} - \Gamma\dot{\mathbf{x}}^{(i)} + \Xi^{(i)} \\ \dot{\Xi}^{(i)} = \frac{(\boldsymbol{\theta}^{(i)} - \Xi^{(i)})}{t_c} \end{cases}, \quad (1)$$

где M – масса атома, $\mathbf{x}^{(i)}$ – вектор координат i -го атома в системе, состоящей из N частиц, ($i=1..N$), $\boldsymbol{\theta}^{(i)}$ описывает белый шум, $\mathbf{F}^{(i)} = -\frac{\partial U(\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(N)})}{\partial \mathbf{x}^{(i)}}$ – сила, действующая на i -й атом со стороны атомов окружения, $U(\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(N)})$ – потенциальная энергия системы, точки сверху обозначают производную по времени.

В открытых системах на атом, находящийся в контакте с тепловым резервуаром, действует как сила со стороны других атомов F , так и случайная сила Ξ . Ограничения на движения частиц, накладываемые квантовой механикой, можно ввести при помощи коррелированного цветного шума $\Xi(t)$, который описывается случайным процессом Орнштейна-Уленбекка:

$$\langle \Xi(t)\Xi(t') \rangle = 2M\Gamma kT \frac{1}{t_c} \exp\left(-\frac{t-t'}{t_c}\right), \quad (2)$$

где Γ – коэффициент диссипации, k – постоянная Больцмана, T – температура. Параметр t_c модели может быть задан при помощи следующей зависимости от температуры:

$$t_c = \frac{\hbar\sqrt{e-2}}{kT}, \quad (3)$$

где \hbar – постоянная Планка.

Численная модель. Для численного решения системы стохастических дифференциальных уравнений (1) был предложен алгоритм первого порядка по времени, основанный на методе Верле решения уравнений движения [6]. В предложенном алгоритме в начальный момент задается начальное значение векторов случайной силы

$$\Xi_0^{(i)} = \sqrt{2M\Gamma kT\Lambda} \mathbf{R}_{norm}, \quad (4)$$

где \mathbf{R}_{norm} – вектор случайных Гауссовых чисел, $\lambda = 1/t_c$. В дальнейшем проводится следующий цикл по времени:

$$\left\{ \begin{aligned} \mathbf{F}_n^{(i)} &= -\frac{\partial U(\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(n)})}{\partial \mathbf{x}^{(n)}} \\ \Xi_n^{(i)} &= \Xi_{n-1}^{(i)}(1 - \lambda \Delta t) + \lambda \sqrt{2M\Gamma kT \Delta t} \mathbf{R}_{norm} \\ \mathbf{V}_{n+1/2}^{(i)} &= \left(\mathbf{V}_{n-1/2}^{(i)} + \frac{(\mathbf{F}_n^{(i)} + \Xi_n^{(i)})}{M} \right) (1 - \Gamma) \\ \mathbf{x}_{n+1}^{(i)} &= \mathbf{x}_n^{(i)} + \mathbf{V}_{n+1/2}^{(i)} \Delta t \end{aligned} \right. , \quad (5)$$

где индекс внизу обозначает значение величины в дискретный момент времени $n\Delta t$, а сверху – номер атома, $i = 1..N$, Δt – шаг по времени.

Результаты моделирования. Структура приповерхностной области материала существенно влияет на такую характеристику, как среднеквадратичные смещения атомов. Эта величина измеряется экспериментально. В данной работе эта характеристика была рассчитана для различных поверхностей меди. На рис. 1 приведена температурная зависимость среднего отклонения атомов для поверхности (100). Как видно из рисунка наблюдается хорошее согласие между экспериментальными данными и результатами моделирования, предложенным в данной работе методом.

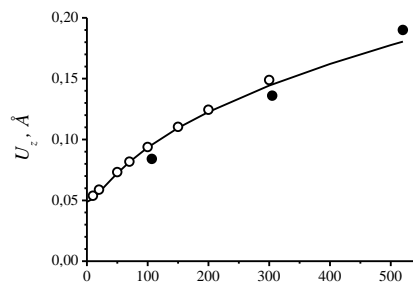


Рис. 1 – Изменение среднеквадратичных смещений на поверхности (100) меди. Полые маркеры – МДЦШ расчеты, заполненные – экспериментальные данные [7]. Сплошная линия – расчеты в гармоническом приближении по плотности фононных состояний

На рис. 2 приведены результаты расчетов изменения нормированных среднеквадратичных отклонений атомов по глубине для различных температур (рис. 2, а – поверхность (100) меди, рис 2, б – поверхность (110) меди). Как видно из рисунка, поверхностная структура пленки оказывает

значительное влияние на поведение приповерхностных атомов, находящихся на глубине до 40 \AA . Было установлено, что ориентация кристалла существенным образом влияет на изменение смещений атомов (как видно из рис. 2б, для поверхности меди (110) наибольшее отклонение имеют не поверхностные атомы, а атомы второго слоя).

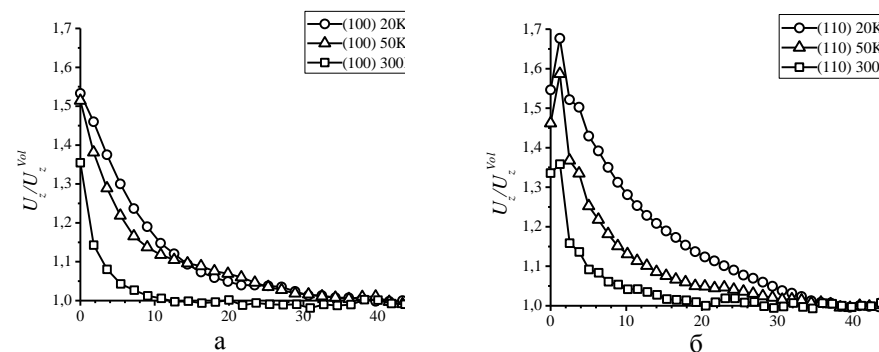


Рис. 2 –Изменение среднеквадратичных нормированных смещений атомов меди по глубине z при различных температурах, а – поверхность меди (100), б – поверхность меди (110). U_z^{Vol} - среднеквадратичное смещение в объеме материала

Выводы. Сравнение результатов компьютерного моделирования с аналитическими расчетами и экспериментальными данными показывает, что предложенный в данной работе метод моделирования процесса структурообразования тонких пленок может быть использован для моделирования процессов модификации наноструктуры поверхностных слоев материалов в широком диапазоне температур для установления влияния параметров технологических процессов образования пленок на нанохарактеристики получаемых материалов.

Список литературы: 1. Haile J. M. Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods / J. M. Haile. - Chichester : Wiley, 1992. – 489 p. 2. Allen M. P. The Art of Molecular Dynamics Simulation / M. P. Allen, D. J. D. C. Rapaport. – Cambridge: Cambridge University Press, 1996. – 564 p. 3. Dammak H. Quantum Thermal Bath for Molecular Dynamics Simulation / H. Dammak, Y. Chalopin, M. Laroche // Phys. Rev. Lett. – 2009. – Vol. 103. – P. 190601-190605. 4. Wang J. S. Quantum Thermal Transport from Classical Molecular Dynamics / J. S. Wang // Phys. Rev. Lett. – 2007. – Vol. 99. – P. 160601–160605. 5. Buyukdagli S. Computation of the temperature dependence of the heat capacity of complex molecular systems using random color noise / S. Buyukdagli, A. V. Savin, B Hu // Phys. Rev. – 2008. – Vol. E 78. – P. 066702–066715. 6. Verlet L. Computer «Experiments» on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard-Jones Molecules / L. Verlet // Phys. Rev. – 1967. - Vol. 159. - P. 98–103. 7. Fowler D. E. Structure and dynamics of the Cu (001) surface investigated by medium-energy ion scattering / D. E. Fowler, J. V. Barth // Phys. Rev. – 1995. – Vol. B52. – P. 2117–2124.

Надійшла до редколегії 03.12.2012

В. П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
Е. Н. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, ст. преп. НТУ «ХПИ»;
М. В. РЕУЦКАЯ, студентка НТУ «ХПИ»

**МОДЕЛЬ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
 ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА**

На основі моделей елементів електрогидравлічного слідуючого приводу парових турбін розроблена математична модель приводу в просторі станів. Визначені змінні параметри та одержана модель для параметричного синтезу електронної частини приводу.

Ключові слова: слідуючий привід, електронна частина, математична модель.

На основании моделей элементов электрогидравлического следящего привода паровых турбин разработана математическая модель привода в пространстве состояний. Определены переменные параметры и получена модель для параметрического синтеза электронной части привода.

Ключевые слова: следящий привод, электронная часть, математическая модель.

The mathematical model is developed in the state space for the electrohydraulic watching drive of steam turbines on base of drive components models. Variables are defined and model is obtained for parametric synthesis of the electronic part of drive.

Keywords: watching drive, electronic part, mathematical model.

Введение. Основным исполнительным звеном систем управления частотой вращения паровых турбин Харьковского ОАО «Турбоатом» является электрогидравлический следящий привод (СП) [1–3]. Показатели качества следящего привода и системы стабилизации частоты вращения во многом определяют качество электрической энергии, вырабатываемой энергоблоками АЭС и ТЭС. Для надёжности систем управления турбин следящий привод должен иметь значительный запас устойчивости, быть чувствительным по отношению к управляющим сигналам и быстродействующим [4–6]. При построении математических моделей элементов привода необходимо учитывать электрические, механические и гидравлические процессы [3–7]. Показатели качества привода существенно зависят от структуры и параметров электронной части СП.

Цель статьи заключается в построении математической модели для параметрического синтеза электронной части следящего привода. Для достижения поставленной цели по моделям элементов следящего привода составляется модель для параметрического синтеза его электронной части.

Модели элементов следящего привода. Принципиальная схема следящего привода на рис. 1 включает электронную часть (ЭЧ), электрогидравлический преобразователь (ЭГП), отсечной золотник (ОЗ),

сервомотор (СМ), датчики положения (ДП), отрицательные обратные связи (ООС), p_n и p_c – давление насоса и слива жидкости.

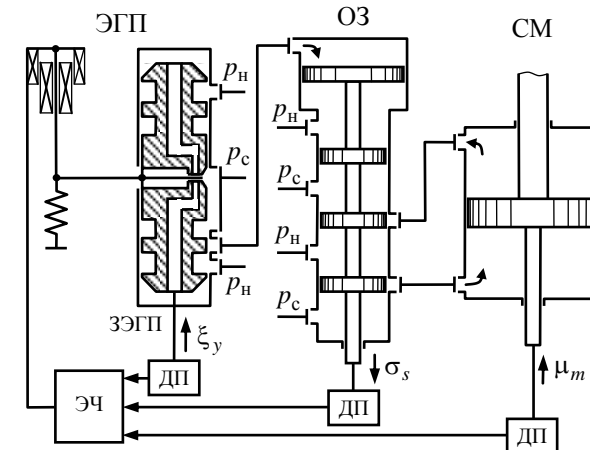


Рис. 1 – Принципиальная схема следящего привода

ЭГП включает катушку управления, катушку подмагничивания, пружину, рычаг-заслонку, мембрану, золотник, корпус [7]. На рис. 2 в схеме электрической части ЭГП указаны входное напряжение u , активное сопротивление r , индуктивность обмотки катушки управления L , возникающие в обмотке катушки ток i и противоЭДС $e = K_{ev}v$, где K_{ev} – коэффициент противоЭДС, v – скорость движения катушки.

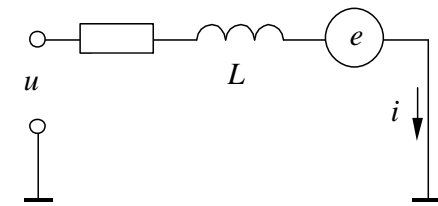


Рис. 2 – Схема электрической части ЭГП

Уравнения ЭГП имеют вид [4–7]:

$$\begin{cases} L di/dt = u - ri + K_{ev}v, \\ m_x dv/dt = K_{Fi}i - B_x v - C_x x - K_{vd}(x - y) + K_{vw}w, & dx/dt = v, \\ m_y dw/dt = K_{wd}(x - y) - K_{ww}w, & dy/dt = w, \end{cases} \quad (1)$$

где m_x и m_y – приведенные массы катушки и золотника; x и y – координаты катушки и золотника; v и w – скорости перемещения катушки и золотника; K_{Fi} – коэффициент тяговой характеристики катушки; B_x – сила вязкого трения катушки; C_x – жесткость пружины; K_{vd} и K_{vw} –

коэффициенты силы реакции жидкости на заслонку; K_{wd} и K_{ww} – коэффициенты равнодействующей сил давления жидкости на золотник.

Перейдем к относительным переменным состояния

$$\xi_u = u/u_b, \quad \xi_i = i/i_b, \quad \eta_v = v/v_b, \quad \xi_x = x/x_b, \quad \eta_w = w/w_b, \quad \xi_y = y/y_b,$$

где базовые значения переменных состояния

$$i_b = u_b/r, \quad v_b = u_b/K_{ev}, \quad x_b = (K_{Fi}i_b)/C_x, \quad w_b = (K_{wd}x_b)/K_{ww}, \quad y_b = x_b$$

выбраны так, что в установившемся состоянии

$$\xi_y(\infty) = \xi_x(\infty) = \xi_i(\infty) = \xi_u(\infty), \quad \eta_y(\infty) = \eta_x(\infty) = 0.$$

После алгебраических преобразований системы дифференциальных уравнений (СДУ) (1) модель ЭГП примет вид:

$$d\mathbf{X}_e/dt = \mathbf{A}_e\mathbf{X}_e + \mathbf{B}_e\xi_u, \quad \xi_y = \mathbf{C}_e\mathbf{X}_e, \quad (2)$$

$$\mathbf{X}_e = \begin{pmatrix} \xi_i \\ \eta_v \\ \xi_x \\ \eta_w \\ \xi_y \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_e = \begin{pmatrix} a_{ii} & a_{iv} & 0 & 0 & 0 \\ a_{vi} & a_{vv} & a_{vx} & a_{vw} & a_{vy} \\ 0 & a_{xv} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{wx} & a_{ww} & a_{wy} \\ 0 & 0 & 0 & a_{yw} & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_e = \begin{pmatrix} b_{iu} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C}_e = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}^T,$$

$$b_{iu} = r/L, \quad a_{ii} = a_{iv} = -b_{iu}, \quad a_{vi} = (K_{Fi}i_b)/(m_x v_b), \quad a_{vv} = -B_x/m_x,$$

$$a_{vw} = (K_{vw}w_b)/(m_x v_b), \quad a_{vy} = (K_{vd}y_b)/(m_x v_b), \quad a_{vx} = -a_{vi} - a_{vy},$$

$$a_{xv} = v_b/x_b, \quad a_{wx} = K_{ww}/m_y, \quad a_{ww} = a_{wy} = -a_{wx}, \quad a_{yw} = w_b/y_b.$$

Пренебрегая силами тяжести и трения вследствие больших сил давления жидкости, дифференциальные уравнения отсечного золотника представим в виде:

$$m_s dv_s/dt = K_{ry}y - K_{rr}v_s, \quad ds/dt = v_s, \quad (3)$$

где m_s – приведенная масса отсечного золотника; s и v_s – координата и скорость перемещения золотника; K_{ry} и K_{rr} – коэффициенты равнодействующей сил давления жидкости на золотник. Перейдем к относительным переменным состояния $\sigma_s = s/s_b$, $\eta_s = v_s/v_{sb}$, где базовое значение скорости золотника $v_{sb} = K_{ry}y_b/K_{rr}$.

После преобразований СДУ (3) модель отсечного золотника примет вид:

$$d\mathbf{X}_v/dt = \mathbf{A}_v\mathbf{X}_v + \mathbf{B}_v\xi_y, \quad \sigma_s = \mathbf{C}_v\mathbf{X}_v, \quad (4)$$

$$\mathbf{X}_v = \begin{pmatrix} \eta_s \\ \sigma_s \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_v = \begin{pmatrix} a_{rr} & 0 \\ a_{sr} & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_v = \begin{pmatrix} b_{ry} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C}_v = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}^T,$$

$$b_{ry} = K_{rr}/m_s, \quad a_{rr} = -b_{ry}, \quad a_{sr} = v_{sb}/s_b.$$

Пренебрегая силами тяжести и трения вследствие больших сил давления жидкости, а также приведенной массой сервомотора, дифференциальное уравнение сервомотора представим в виде

$$dm/dt = K_{ms}s, \quad (5)$$

где m – координата сервомотора; K_{ms} – коэффициент равнодействующей сил давления жидкости на сервомотор. Перейдем к относительной переменной состояния сервомотора $\mu_m = m/m_b$, где $m_b = m_{\max}/\Delta\mu_m$, $\Delta\mu_m = \mu_{\max} - \mu_{\min}$, m_{\max} – максимальное значение перемещения сервомотора, μ_{\max} и μ_{\min} – максимальное и минимальное значения относительной координаты сервомотора. После преобразований уравнения модель (5) примет вид

$$d\mu_m/dt = b_{ms}\sigma_s, \quad (6)$$

где $b_{ms} = K_{ms}s_b/m_b$.

Модель следящего привода. По дифференциальным уравнениям (2), (4), (6) представим систему дифференциальных уравнений последовательного соединения ЭГП, отсечного золотника и сервомотора:

$$d\mathbf{X}_s/dt = \mathbf{A}_s\mathbf{X}_s + \mathbf{B}_s\xi_u, \quad \mu_m = \mathbf{C}_{sm}\mathbf{X}_s, \quad \sigma_s = \mathbf{C}_{ss}\mathbf{X}_s, \quad \xi_y = \mathbf{C}_{sy}\mathbf{X}_s, \quad (7)$$

$$\mathbf{X}_s = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_e \\ \mathbf{X}_v \\ \mu_m \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_s = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_e & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{B}_v\mathbf{C}_e & \mathbf{A}_v & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & b_{ms}\mathbf{C}_v & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_s = \begin{pmatrix} \mathbf{B}_e \\ \mathbf{0} \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{C}_{sm} = (\mathbf{0} \ \mathbf{0} \ 1), \quad \mathbf{C}_{ss} = (\mathbf{0} \ \mathbf{C}_v \ 0), \quad \mathbf{C}_{sy} = (\mathbf{C}_e \ \mathbf{0} \ 0).$$

Уравнение датчика положения сервомотора примем в виде

$$\alpha_{d0}d^2\mu_p/dt^2 + \alpha_{d1}d\mu_p/dt + \mu_p = \mu_m, \quad (8)$$

где μ_p – координата датчика; α_{d0} и α_{d1} – коэффициенты, вычисленные идентификацией по экспериментальным характеристикам датчика. Обозначая скорость перемещения датчика через η_p , получим модель датчика (8):

$$d\mathbf{X}_p/dt = \mathbf{A}_p\mathbf{X}_p + \mathbf{B}_p\mu_m, \quad \mu_p = \mathbf{C}_p\mathbf{X}_p, \quad (9)$$

$$\mathbf{X}_p = \begin{pmatrix} \eta_p \\ \mu_p \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_p = \begin{pmatrix} a_{cc} & a_{cd} \\ a_{dc} & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_p = \begin{pmatrix} b_{cm} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C}_p = (0 \ 1),$$

$$b_{cm} = \alpha_{d1}/\alpha_{d0}, \quad a_{cc} = a_{cd} = -b_{cm}, \quad a_{dc} = 1/\alpha_{d1}.$$

Аналогично получим модель датчика отсечного золотника:

$$d\mathbf{X}_q/dt = \mathbf{A}_p\mathbf{X}_q + \mathbf{B}_p\sigma_s, \quad \sigma_p = \mathbf{C}_p\mathbf{X}_q, \quad \mathbf{X}_q = (\eta_q \ \sigma_p)^T, \quad (10)$$

На основании СДУ (7) и (9) представим модель последовательного соединения ЭГП, отсечного золотника, сервомотора и его датчика:

$$d\mathbf{X}_o/dt = \mathbf{A}_o\mathbf{X}_o + \mathbf{B}_o\xi_u, \quad \mu_m = \mathbf{C}_{om}\mathbf{X}_o, \quad \mu_p = \mathbf{C}_{op}\mathbf{X}_o, \quad \sigma_s = \mathbf{C}_{os}\mathbf{X}_o, \quad \xi_y = \mathbf{C}_{oy}\mathbf{X}_o, \quad (11)$$

$$\mathbf{X}_o = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_s \\ \mathbf{X}_p \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_o = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{B}_p\mathbf{C}_{sm} & \mathbf{A}_p \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_o = \begin{pmatrix} \mathbf{B}_s \\ \mathbf{0} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{C}_{om} = (\mathbf{C}_{sm} \ \mathbf{0}), \quad \mathbf{C}_{op} = (\mathbf{0} \ \mathbf{C}_p), \quad \mathbf{C}_{os} = (\mathbf{C}_{ss} \ \mathbf{0}), \quad \mathbf{C}_{oy} = (\mathbf{C}_{sy} \ \mathbf{0}).$$

По уравнениям (10) и (11) получим СДУ последовательного соединения ЭГП, отсечного золотника и сервомотора с двумя датчиками:

$$d\mathbf{X}/dt = \mathbf{A}_t\mathbf{X} + \mathbf{B}_t\xi_u, \quad \mu_m = \mathbf{C}_{tm}\mathbf{X}, \quad \mu_p = \mathbf{C}_{tp}\mathbf{X}, \quad \sigma_p = \mathbf{C}_{ts}\mathbf{X}, \quad \xi_y = \mathbf{C}_{ty}\mathbf{X}, \quad (12)$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_o \\ \mathbf{X}_q \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_t = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_o & \mathbf{0} \\ \mathbf{B}_p\mathbf{C}_{os} & \mathbf{A}_p \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_t = \begin{pmatrix} \mathbf{B}_o \\ \mathbf{0} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{C}_{tm} = (\mathbf{C}_{om} \ \mathbf{0}), \quad \mathbf{C}_{tp} = (\mathbf{C}_{op} \ \mathbf{0}), \quad \mathbf{C}_{ts} = (\mathbf{0} \ \mathbf{C}_p), \quad \mathbf{C}_{ty} = (\mathbf{C}_{oy} \ \mathbf{0}).$$

Электронная часть СП, соответствующая рис. 1, включает сумматоры, пропорциональное звено с коэффициентом K , модель последовательного соединения ЭГП, ОЗ, СМ, ДП ОЗ, ДП СМ, две ООС по положению ОЗ и СМ с коэффициентами k_s и k_m [1]. На вход ЭГП поступает сигнал

$$\xi_u = K(\mu_s - k_s\sigma_p - k_m\mu_p). \quad (13)$$

По модели (12) с учетом (13) определим модель СП при входном воздействии μ_s и выходной масштабированной координате сервомотора y :

$$d\mathbf{X}/dt = \mathbf{A}_s\mathbf{X} + \mathbf{B}_s\mu_s, \quad y = \mathbf{C}_s\mathbf{X}, \quad (14)$$

$$\mathbf{A}_s = \mathbf{A}_t - \mathbf{B}_tK(k_s\mathbf{C}_{ts} + k_m\mathbf{C}_{tp}), \quad \mathbf{B}_s = \mathbf{B}_tK, \quad \mathbf{C}_s = \mathbf{C}_{tm}k_m.$$

Порядок этой модели $n=12$. Номинальному режиму работы турбины соответствуют нулевые значения всех относительных переменных состояния привода. Приравнивая нулю вектор производных в (14), для установившегося состояния следящего привода получим $\mu_m(\infty) = \mu_s(\infty)/k_m$ и определим относительную статическую ошибку привода:

$$\varepsilon_o(\infty) = |[\mu_s(\infty) - \mu_m(\infty)]/\mu_s(\infty)| = |(k_m - 1)/k_m|.$$

Для равенства этой ошибки нулю $k_m = 1$. Таким образом, электронная часть следящего привода включает два переменных параметра $x_1 = K$ и $x_2 = k_s$, из которых составим вектор $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$. Модель следящего привода (14) для параметрического синтеза электронной части принимает вид:

$$d\mathbf{X}/dt = \mathbf{A}_s(\mathbf{x})\mathbf{X} + \mathbf{B}_s(\mathbf{x})\mu_s, \quad y = \mathbf{C}_s\mathbf{X},$$

$$\mathbf{A}_s(\mathbf{x}) = \mathbf{A}_t - \mathbf{B}_tx_1(x_2\mathbf{C}_{ts} + \mathbf{C}_{tp}), \quad \mathbf{B}_s(\mathbf{x}) = \mathbf{B}_tx_1, \quad \mathbf{C}_s = \mathbf{C}_{tm}.$$

Использование этой модели и критериев качества следящего привода позволит улучшить качество переходных процессов.

Выводы. На основании моделей электрогидравлического преобразователя, отсечного золотника, сервомотора и датчиков положения разработана математическая модель в пространстве состояний следящего привода паровой турбины. Определены переменные параметры электронной части следящего привода. Получена модель для параметрического синтеза электронной части привода для повышения качества переходных процессов.

Список литературы: 1. *Рохленко В. Ю.* Системы регулирования турбин ХТЗ / В. Ю. *Рохленко, А. И. Клуфельд.* – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 104 с. 2. *Рохленко В. Ю.* Развитие электрогидравлического следящего привода систем регулирования паровых турбин ОАО «ТУРБОАТОМ» / В. Ю. *Рохленко, И. Н. Бабаев* // Теплоэнергетика. – 1999. – № 10. – С. 43–47. 3. *Пикур Э. А.* Исследование электрогидравлических преобразователей для системы регулирования паровых турбин ХТЗ им. С. М. Кирова / Э. А. *Пикур, В. Е. Рожанский, В. Ю. Рохленко* [и др.] // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер.: Прикл. механика и процессы управления. – 1979. – № 148, вып. 1. – С. 32–34. 4. *Пикур Э. А.* Параметрические модели электрогидравлического преобразователя / Э. А. *Пикур, В. П. Северин, Р. Е. Ласенко* // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер.: Техн. кибернетика и ее приложения. – 1985. – № 220, вып. 5. – С. 50–52. 5. *Пикур Э. А.* Математическая модель механической части электрогидравлического преобразователя / Э. А. *Пикур, В. П. Северин, Р. Е. Ласенко* // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер.: Техн. кибернетика и ее приложения. – 1987. – № 240, вып. 7. – С. 38–40. 6. *Пикур Э. А.* Математические модели гидравлического мостика сопло-заслонка / Э. А. *Пикур, В. Ю. Рохленко, В. П. Северин* // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер.: Техн. кибернетика и ее приложения. – 1988. – № 252, вып. 8. – С. 19–21. 7. *Северин В. П.* Математическое моделирование однозолотникового электрогидравлического преобразователя / В. П. *Северин* // Вестник НТУ «ХПИ». – 2002. – № 9, Т. 6. – С. 101–106.

Надійшла до редколегії 03.12.2012

О. А. КРИВОДУБСКИЙ, канд. техн. наук, доцент ДонНТУ, Донецк;
С. А. КОСИЛОВ, аспирант, ДонНУ, Донецк

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ НА ЛИСТОПРОКАТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Предлагаются модели и методы принятия решений при разработке оптимальной производственной программы для технических систем конвейерного типа с многообразием неоднородных технологических операций и запаздыванием в обработке заготовок на агрегатах. Цель работы — обеспечить выполнение наибольшего количества заказов с учётом технологических возможностей производства. Разработка производственной программы формализована как задача оптимального планирования, осуществлён выбор численного метода решения этой задачи и разработан алгоритм её решения.

Ключевые слова: оптимальное планирование, задачи оптимизации, функционал цели, математические модели, принятие решений, конвейер, время запаздывания, алгоритм.

Пропонуються моделі і методи прийняття рішень при розробці оптимальної виробничої програми для технічних систем конвеєрного типу з різноманітним технологічним операціями і запізнюванням у обробці заготовок на агрегатах. Мета роботи — забезпечити виконання найбільшої кількості замовлень з урахуванням технологічних можливостей виробництва. Розробка виробничої програми формалізована як задача оптимального планування, здійснено вибір чисельного методу розв'язання цієї задачі та розроблено алгоритм її вирішення.

Ключові слова: оптимальне планування, задачі оптимізації, функціонал цілі, математичні моделі, прийняття рішень, конвеєр, час запізнювання, алгоритм.

There have been proposed models and methods of decision-making in the planning of the optimal production program for technical systems with a variety of conveyor type heterogeneous manufacturing operations and delay before processing the semi-finished product on the machine. The purpose of planning is to guarantee the fulfillment of the greatest number of orders that meet the technological capabilities of production. Design of the production program is formalized as a problem of optimal planning. There have been implemented the numerical method for solving this problem and designed the algorithm for solving it.

Keywords: optimal planning, optimization problems, objective function, mathematical models, decision making, conveyor, duration of the delay, the algorithm.

Введение. Современной тенденцией в решении задач планирования является использование информационных технологий как способа повышения эффективности производства. Важный класс проблем повышения эффективности производства составляют вопросы определения наибольшего количества заказов, которое предприятие сможет выполнить с учётом технологических возможностей производства. Основной сложностью при решении таких задач является многофакторность производственных процессов и наличие технологических ограничений и особенностей, уникальных для каждого предприятия, в силу чего не существует универсальной методики решения.

Целью данного исследования является разработка моделей и методов принятия решений при планировании производственной программы по выполнению заказов, которые могут быть применимы для класса предприятий, представляющих собой техническую систему конвейерного типа с многообразием неоднородных технологических операций.

Анализ основных достижений и литературы. Производство листового проката является многофакторной системой конвейерного типа с детерминированными характеристиками, принципы организации и функционирования которого рассматриваются в [1], [2]. Отдельные методики решения конкретных задач составления расписания для таких систем представлены в [3]–[5]; однако универсального решения таких задач для конвейерных систем с запаздыванием технологических операций не существует. Используемый при решении задач составления расписания математический аппарат и численные методы, излагается в [6], [7]. Математические модели прогноза преобразования заготовок в листовую прокат представлены в [8].

Цель исследования, постановка задачи. На основе методов системного анализа и информационных технологий необходимо выделить этапы решения задачи планирования производственной программы листового проката, обеспечивающей выполнение наибольшего количества заказов, формализовать её как задачу оптимального планирования, осуществить выбор численного метода решения этой задачи и разработать алгоритм её решения.

Материалы исследований. Для выделения этапов решения задачи планирования предлагается метод многоэтапной декомпозиции, позволяющий структурировать её решение и представить его как последовательность четырёх этапов.

На первом этапе, исходя из типоразмеров заказанных листов (типоразмер задаётся маркой стали, толщиной, шириной и длиной листа) и массы каждого заказа, определяемых заказчиками, определяется масса всех заказов каждого типоразмера. Для этого заказы с одинаковыми типоразмерами объединяются в группы. В результате каждая группа содержит заказы с одинаковой маркой стали, толщиной, шириной и длиной листа. Для получения листа каждого типоразмера требуются заготовки определённого типоразмера. Правила их расчёта определяются технологическими требованиями преобразования листа в заготовку, обеспечивающими минимизацию отходов при обрезке боковой кромки готового листа. Поэтому для каждой группы заказов выполняется расчёт типоразмеров и массы соответствующих групп заготовок (мерных слябов), необходимых для выполнения заказов группы.

Каждая техническая система конвейерного типа обладает своими технологическими особенностями, которые можно рассматривать как технологические ограничения. Технологические ограничения определяют правила задания на производство групп заготовок, необходимых для выполнения заказов, которые были получены на первом этапе. Поэтому на втором этапе, исходя из технологических ограничений производства, на основании определённых

типоразмеров и массы каждой из групп заготовок, определяются характеристики партий заготовок, которые будут задаваться в производство. Характеристики включают в себя марку стали, толщину, ширину, длину заготовки (мерного сляба) партии, массу партии, толщину, ширину, длину листа заказа, выполняемого в партии.

Для расчёта времени прокатки партий, определённых на втором этапе, учитывается, что каждый агрегат конвейерной системы обладает особенностями и характеризуется различным временем обработки на нём заготовок. Поэтому необходимо определить время обработки полученных наборов партий на каждом агрегате и на всех агрегатах. Для этого на третьем этапе разрабатываются модели прогноза преобразования сформированных партий заготовок в готовую продукцию на технологическом оборудовании цеха, см. [8].

На четвёртом этапе планирования определяется оптимальная последовательность задания в производство сформированных на втором этапе партий заготовок, которая обеспечивает выполнение наибольшего количества заказов с учётом технологических возможностей производства. На основе определённой оптимальной последовательности составляется производственная программа, вычисляется время поставки и характеристики заготовок для проката, заказываемых другому подразделению предприятия, определяется время выполнения каждого заказа.

Для формализации задачи четвёртого этапа учитывается, что на основании портфеля заказов на втором этапе планирования могут быть сформированы различные варианты партий заготовок, поэтому при оптимальном планировании производства стоит задача определить тот из вариантов, при котором время выполнения всего портфеля заказов будет минимально. Кроме того, учитывается, что после поступления из мартеновского в листопрокатный цех мерные слябы разрезаются на кратные и в производство непрерывно задаются партии кратных слябов. Поэтому определяется оптимальная последовательность задания в производство партий кратных слябов, после чего для каждой партии кратных слябов рассчитываются типоразмеры и масса мерных слябов партии и определяется время поставки партии мартеновским цехом.

Физическая постановка задачи планирования: Определить множество наборов партий заготовок (кратных слябов) и последовательность задания этих партий в производство таким образом, чтобы технологическое время изготовления всех позиций портфеля заказов было минимальным.

Формальная постановка задачи планирования. Технологическое время изготовления всех позиций портфеля заказов зависит от продолжительности их обработки на устройствах, перед которыми возможна технологическая пауза из-за очереди перед обработкой. Такими устройствами являются нагревательные печи и прокатные клетки стана. Поэтому критерий оптимальности, соответствующий физической постановке задачи формализуется в виде функционала J :

$$J = \sum_{l=1}^{Nl} (TPER + \sum_{c=1}^{Nc_l} (MKP_{l,c,n} / PPR_n + f1(MKP_{l,c,n}))) , \quad (1)$$

где $l = \overline{1, Nl}$ – порядковый номер кампании валков в течение месяца;

$c = \overline{1, Nc_l}$ – порядковый номер партии $SK_{l,c,n}$ кратных слябов в кампании валков;

$n \in \{1, \dots, Nn\}$ – номер типоразмера заказанного листа партии $SK_{l,c,n}$;

$TPER = 40$ – время перевалки в конце каждой кампании валков;

$MKP_{l,c,n}$ – масса кратных слябов партии $SK_{l,c,n}$;

PPR_n – производительность обработки на прокатных клетях стана n -й

позиции портфеля заказов (нормативная величина, зависящая от номера n типоразмера заказов партии);

$f1(MKP_{l,c,n})$ – продолжительность запаздывания перед прокаткой партии $SK_{l,c,n}$, определённая на основании технологических условий прокатки.

Таким образом, функционал J в общем виде зависит от масс $MKP_{l,c,n}$

партий и минимум функционала J определяется по переменным $MKP_{l,c,n}$:

$$J = F(DD) \rightarrow \min_{DD} DD = \left\| MKP_{l,c,n} \right\|, l = \overline{1, Nl}, c = \overline{1, Nc_l}, n \in \{1, \dots, Nn\}. \quad (2)$$

Для выбора метода численного решения полученной задачи оптимального планирования функционал J должен быть представлен в развёрнутом виде, содержащем форму зависимости функции $f1$ запаздывания от масс $MKP_{l,c,n}$ партий кратных слябов и должна быть сформирована система ограничений задачи. Для получения формы такой зависимости реализуются следующие действия:

– трёхмерная матрица переменных $\left\| MKP_{l,c,n} \right\|$ представляется в виде дву-

мерной матрицы $M = \left\| m_{l,n} \right\|$, $l = \overline{1, Nl}, n = \overline{1, Nn}$, которая задаёт массы партий кратных слябов, необходимых для выполнения n -й позиции портфеля заказов, запланированной для прокатки в l -й кампании валков.

Поскольку n -я позиция портфеля заказов прокатывается не в каждой кампании валков, то, если в l -й кампании валков n -я позиция портфеля заказов не планируется для прокатки, тогда $m_{l,n} = 0$. Для учёта технологической особенности, предусматривающей прокатку в течение кампании валков листов от большей шириной листа к меньшей, выполняется упорядочение номеров позиций портфеля заказов по убыванию ширин B_n заказанного листа:

$n, i: B_n \geq B_i \quad \forall n > i$. Переменные $m_{l,n}$ являются выходными переменными данного этапа задачи планирования.

– для преобразования функционала (2) к виду, зависящему от $m_{l,n}$ масс партий, определяется продолжительность запаздывания $f_l(m_{l,n})$ перед прокаткой партии n -й позиции портфеля заказов в l -й кампании валков. Поскольку продолжительность запаздывания перед прокаткой партии зависит только от того, какой типоразмер прокатывается в предыдущей партии, а не от массы предыдущей партии, то вводится матрица переходов K :

$$K = \left\| k_{i,n} \right\|, \quad i, n = \overline{1, Nn} \\ k_{i,n} = (TMIN_n - TPR_i) \times f(TMIN_n - TPR_i) \quad \forall n > i, \quad (3) \\ f(t) = 1 \quad \text{if } t > 0, \quad f(t) = 0 \quad \text{if } t \leq 0$$

где $k_{i,n}$ – продолжительность запаздывания при переходе от прокатки i -й к n -й позиции портфеля заказов;

$TMIN_n$ – минимальное время нагрева одной загрузки печи партии, в которой прокатывается n -я позиция портфеля заказов;

TPR_i – время прокатки одной загрузки печи партии, в которой прокатывается n -я позиция портфеля заказов, $n > i$.

При определении величин $k_{i,n}$ для тех пар (i, n) номеров партий кратных слябов, которые в силу технологических ограничений недопустимо прокатывать последовательно друг за другом, задаётся избыточность значений элементов матрицы K .

– вводится вспомогательная переменная состояния $x_{l,n}$, которая определяется как номер предыдущей партии, прокатываемой перед прокаткой n -й позиции в l -й кампании валков:

$$x_{l,1} = 0, \quad x_{l,n} = x_{l,n-1} + kf(m_{l,n-1}), \quad n = \overline{1, Nn} \\ kf(m_{l,n}) = m_{l,n} / (m_{l,n} + 1) \quad (4)$$

– продолжительность запаздывания перед прокаткой n -й позиции портфеля заказов выражается с помощью полиномов $TP_n(x)$, где x – номер предыдущей прокатанной позиции:

$$TP_1(x) = 0, \quad TP_2(x) = k_{1,2} \times x \\ TP_n(x) = a_{n,1} \times x^{n-1} + \dots + a_{n,n-1} \times x, \quad n = \overline{3, Nn}, \quad (5)$$

где параметры $a_{n,1}, \dots, a_{n,n-1}$ вычисляются как решение системы:

$$\sum_{i=1}^{n-1} a_{n,i} \times x^{n-i} = k_{x,n} \times x, \quad n = \overline{3, Nn}, \quad x = \overline{1, n-1}. \quad (6)$$

– выполненная формализация позволяет представить функционал J в развёрнутом виде, преобразовав его в функционал $J1$:

$$J1 = \sum_{l=1}^{Nl} (TPER + \sum_{c=1}^{Nc_l} (m_{l,n} / PPR_n + TP_n(x_{l,n}) \times f(m_{l,n}))) = \\ = \sum_{l=1}^{Nl} (40 \times Nl + \sum_{c=1}^{Nc_l} (m_{l,n} / PPR_n + TP_n(x_{l,n}) \times f(m_{l,n}))) \quad (7) \\ M = \left\| m_{l,n} \right\|, \quad l = \overline{1, Nl}, \quad n = \overline{1, Nn}, \quad J1 = F1(M) \rightarrow \min_M$$

Исходя из технологических условий прокатки партий кратных слябов формируется система ограничений задачи:

$$\begin{aligned} m_{l,n} \times (m_{l,n} - MIN_n) &\geq 0 \\ m_{l,n} \times (m_{l,n} - MAX_n) &\leq 0, \quad l = \overline{1, Nl}, \quad n = \overline{1, Nn} \\ m_{l,n} &\geq 0 \end{aligned}, \quad (8) \\ \sum_{n=1}^{Nn} m_{l,n} \leq 180000, \quad l = \overline{1, Nl}, \quad \sum_{l=1}^{Nl} m_{l,n} = MKG_n, \quad n = \overline{1, Nn}$$

где минимальная MIN_n и максимальная MAX_n допустимые массы партий определены в планово-производственных службах для каждого n , MKG_n – масса всех заказов n -й позиции портфеля заказов.

Решение задачи оптимального планирования сведено к нахождению минимального значения функционала $J1$ на множестве $M = m_{l,n}, l = \overline{1, Nl}, n = \overline{1, Nn}$ при наличии ограничений (8) на массы партий, где $m_{l,n}$ может принимать значения, кратные массе MSK_n одного сляба:

$$m_{l,n} = h \times MSK_n, \quad h = 1, 2, \dots - \text{ шаг кратности.} \quad (9)$$

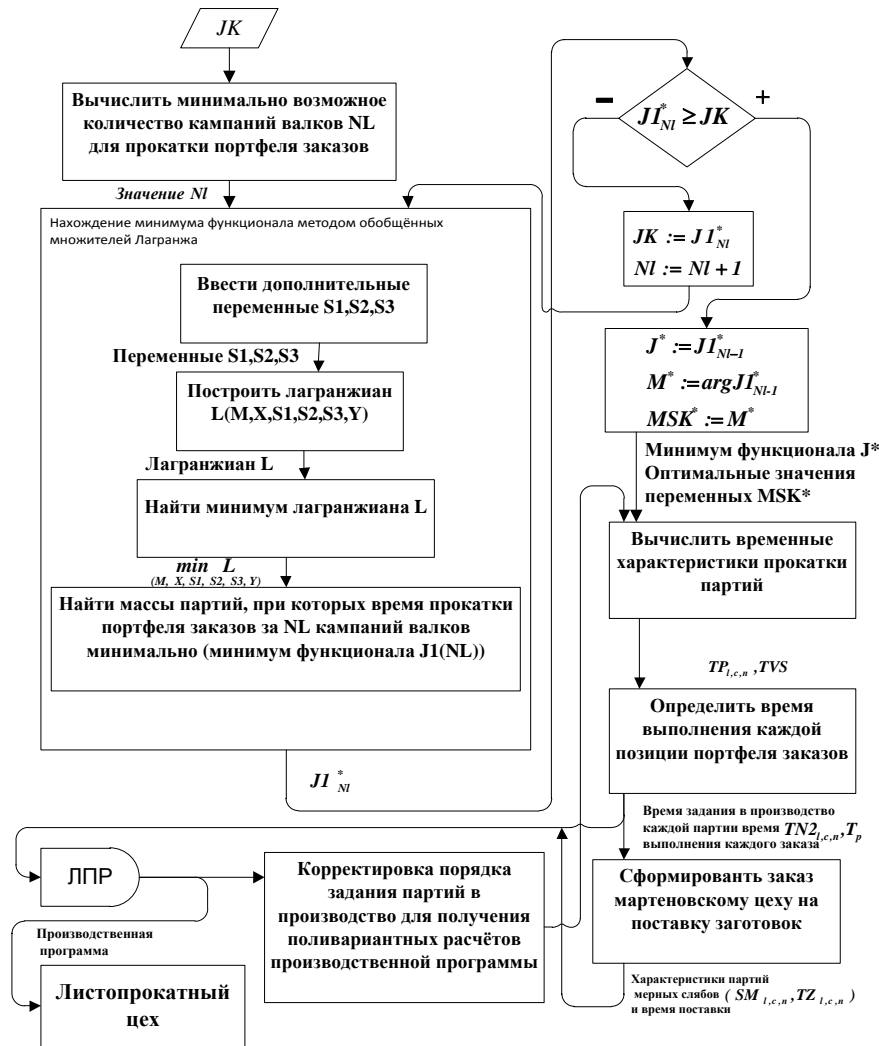
Получена задача целочисленного программирования – поиск глобального экстремума на множестве переменных, принимающих дискретные значения. Алгоритм решения задачи представлен ниже на рисунке.

Алгоритм включает в себя следующие этапы:

– исходя из ограничения на прокатку в одной кампании не более 180 тонн металла вычисляется минимально возможное количество Nl кампа-

ний валков, необходимых для прокатки массы MKG всех партий кратных слябов в течение планового периода:

$$NL = \min l, l \in \{1, 2, \dots\}, l: \sum_{n=1}^{Nn} MKG_n \leq 180000 \times l. \quad (10)$$



Алгоритм решения задачи оптимального планирования выполнения заказов на листопрокатном производстве

– фиксируется значение Nl и определяется минимум функционала $J1_{Nl}$ (функционал (7) при фиксированном количестве Nl кампаний валков). Для решения задачи минимизации функционала $J1_{Nl}$ методом множителей Лагранжа ограничения (8) типа «неравенства» преобразовываются в ограничения типа «равенства» с помощью введения дополнительных переменных

$$S1 = \|s1_{l,n}\|_{Nl \times Nn}, S2 = \|s2_{l,n}\|_{Nl \times Nn}, S3 = \|s3_l\|_{Nl}: \quad (11)$$

$$\begin{aligned} m_{l,n} \times (m_{l,n} - MIN_n) + s1_{l,n} &= 0 \\ m_{l,n} \times (m_{l,n} - MAX_n) + s2_{l,n} &= 0, \quad l = \overline{1, Nl}, n = \overline{1, Nn} \\ m_{l,n} &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\sum_{n=1}^{Nn} m_{l,n} + s3_l = 180000, \quad l = \overline{1, Nl}$$

Формируется лагранжиан $L_{Nl}(S1, S2, S3, M, Y)$ и его минимум находится градиентным методом поиска, после чего вычисляется и минимум функционала $J1_{Nl}$.

– согласно разработанной процедуре решения, представленной на рисунке в виде цикла, на каждом шаге итерации фиксируется значение Nl и для фиксированного значения Nl вычисляется минимум функционала $J1_{Nl}$. Найденный минимум сравнивается с минимумом функционала на предыдущем шаге итерации. Оптимальное значение функционала вычислено и цикл завершается, если минимум функционала больше минимума функционала на предыдущем шаге итерации. В этом случае также определено и множество оптимальных масс M партий кратных слябов, задаваемых в производство, которое соответствует минимуму функционала $J1$.

– на основании вычисленных оптимальных значений масс партий кратных слябов и с использованием разработанных математических моделей прогноза временных характеристик прокатки наборов партий кратных слябов, которые представлены в работе [8], вычисляются значения временных характеристик, необходимых для составления производственной программы, то есть продолжительность $TP_{l,c,n}$ прохождения партии $SK_{l,c,n}$ по всем устройствам стана, продолжительность TVS прохождения всех партий кратных слябов по всем устройствам листопрокатного цеха, время $TN2_{l,c}$ задания партии $SK_{l,c,n}$ кратных слябов в производство, время Tp , к которому планируется выполнить каждый из заказов на плановый период. Заказы на поставку мерных слябов определяются в виде наборов:

$$ZM = \sum_{l=1}^{Nl} \sum_{c=1}^{Nc_l} (SM_{l,c,n}, TZ_{l,c,n}), \quad (12)$$

где $TZ_{l,c,n}$ - время, к которому мартеновский цех должен обеспечить поставку мерных слябов партии $SM_{l,c,n}$.

Предлагаемый алгоритм решения задачи оптимального планирования позволяет перейти к разработке программного обеспечения для АРМ планово-производственных служб листопрокатного производства.

Выводы. Научная новизна заключается в усовершенствовании методов решения задачи оптимального планирования, которые отличаются от существующих применением метода множителей Лагранжа, что позволяет определить последовательность выполнения технологических операций, отвечающих оптимальному планированию. Методы информационных технологий, определяющие структуру базы знаний, и выполненное на их основе решение задачи оптимального планирования позволяет формировать программу прокатного производства с минимальной продолжительностью технологических процессов. Практическое значение исследования проявляется в том, что разработан инструментарий принятия решений персоналом планово-производственных служб (ЛПП) при поливариантном задании исполнения заказов, представленный в виде АРМ планово-производственных служб. Инструментарий даст руководству предприятия возможность выбрать оптимальную стратегию выполнения заказов, что позволит повысить эффективность производства. Разработанный алгоритм решения задачи планирования является основой программного обеспечения для АРМ плановых служб.

Список литературы: 1. Клименко В. М. Технология прокатного производства / В. М. Клименко. – К. : Высшая школа, 1989. – 311 с. 2. Шаталов Р. Л., Койнов Т. А., Литвинова Н. Н. Автоматизация технологических процессов прокатки и термообработки металлов и сплавов / Р. Л. Шаталов, Т. А. Койнов, Н. Н. Литвинова. – М. : ЗАО «Металлургиздат», 2010. – 368 с. 3. Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций / Таха, А. Хэмди. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с. 4. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. – М. : Наука, 1975. – 360 с. 5. Гудвин Г. К., Гребне С. Ф., Сальгадо М. Э. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребне, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с. 6. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М. : Издательство иностранной литературы, 1960. – 398 с. 7. А. Брайсон, Хо Ю-Ши Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-Ши. – М. : Мир, 1972. – 544 с. 8. Кривоудубский О. А., Косилов С. А., Ильчишин А. В. Определение временных характеристик листопрокатного процесса / О. А. Кривоудубский, С. А. Косилов, А. В. Ильчишин // Наукові праці донецького національного технічного університету. – 2010. – № 11(164). – С. 172-180.

Надійшла до редколегії 14.12.2012

УДК 621.396.69.001.66:53.2

В. И. АЗАРЕНКОВ, ст. препод. НТУ «ХПИ»;
А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

На основе решения уравнения теплопроводности для прямоугольного параллелепипеда с аналогичными источниками тепла предлагаются математическая и тепловая модели и инженерная методика расчета температурного режима радиоэлектронной аппаратуры различного конструктивного исполнения.

Ключевые слова: тепловая модель, инженерная методика, уравнение теплопроводности, температурный режим.

На основі рішення рівняння теплопровідності для прямокутного паралелепіпеда з аналогічними джерелами тепла пропонуються математична і теплова моделі та інженерна методика розрахунку температурного режиму радіоелектронної апаратури різного конструктивного виконання.

Ключові слова: теплова модель, інженерна методика, рівняння теплопровідності, температурний режим.

Based on the solution of the heat equation for a rectangular parallelepiped pas similar heat source is proposed engineering method of calculation of the thermal regime of the design of electronic equipment.

Keywords: thermal model, engineering method, heat equation, the temperature regime.

Введение. С появлением интегральных схем с высокой плотностью размещения активных элементов на кристалле и с появлением плат, содержащих сотни интегральных схем, вопросы теплового расчета и проектирования надежной РЭА встали перед конструкторами так остро, как никогда прежде. Практика показала, что в этих условиях обеспечение теплового режима работы элементов и изделий электронной аппаратуры (ЭА) является одним из основных факторов обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры [1–3]. Дополнительные аспекты этой проблемы возникают при каждом новом достижении в области электрических характеристик приборов, например, при повышении быстродействия логических интегральных схем или увеличении выходной мощности аналоговых схем. Следовательно, в перспективе следует ожидать еще большее обострение вопросов проблемы теплофизического конструирования изделий РЭА.

Влияние изменения температуры на надежность аппаратуры проявляется, во-первых, в изменении (обратимом и необратимом) электрических параметров и характеристик изделий, во-вторых, в зависимости показателей надежности изделий от температуры.

Зависимость электрических характеристик и параметров элементов электронной аппаратуры от температуры в настоящее время изучено доста-

© В. И. Азаренков, А. С. Куценко, 2013

точно хорошо. Задача конструктора в этом случае сводится к обеспечению работы этих элементов в некотором заданном диапазоне температур, в котором, при предложенном схематехническом решении, заданных условиях эксплуатации, существующей температурной зависимости параметров выбранной элементной базы, изменение выходного параметра изделия будет находиться в пределах оговоренной нормы.

Таким образом, проблема обеспечения заданного теплового режима РЭА является актуальной.

Анализ существующих методов и постановка задачи. Прежде чем перейти к обзору и анализу методов, позволяющих рассчитывать тепловые поля РЭА, целесообразно провести их предварительную классификацию [4].

Существующие методы решения краевых задач, описывающих температурное поле исследуемой РЭА, можно классифицировать по различным признакам [5]. Один из наиболее удобных, на наш взгляд, – в форме, в которой получаются результаты решений. Следуя выбранному критерию, можно выделить четыре класса или вида методов анализа тепловых полей РЭА: эмпирические, аналитические, численные и смешанные.

Следуя [5], отметим, что методы могут быть точными и приближенными. Среди аналитических методов встречаются и те и другие. Численные, смешанные и эмпирические методы всегда относятся к приближенным по своему определению, так как базируются на приближенной замене исходных дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений и систем уравнений их конечно-разностными (или иными) аппроксимациями для дискретных точек рассматриваемой области. В этом их недостаток.

Численным методам решения задач теплопроводности посвящено много специальных работ [5, 6] и др. Детальный анализ численных методов дан в [7], где отмечены основные недостатки последних: отсутствие, несмотря на отдельные теоретические успехи, способов получения априорных оценок погрешности получаемого решения; необходимость больших затрат вычислительного времени.

Основным достоинством численных методов следует считать возможность проводить математическую реализацию выбранных тепловых моделей с любой степенью детализации и возможность решать сложные краевые задачи.

Разработка конструкции РЭА охватывает ряд этапов, важнейшим из которых является этап проектирования [8]. Последний включает в себя и обеспечение теплового режима изделия. На основе анализа температурного поля конструкции проектировщик стремится выбрать наилучший вариант путем перебора различных предлагаемых решений. Такой подход на современном уровне развития науки и техники дает основание предположить, что в ближайшие годы математические модели инженерных задач тепло- и массопереноса начнут все чаще формулироваться как модели задач

оптимального управления [5, 9]. В связи с этим возрастает роль точных аналитических методов решения краевых задач для уравнения теплопроводности, в ряде случаев позволяющая представить общее решение в универсальном виде, удобном для оценки теплового режима твердого тела и выделения преобладающих факторов теплообмена с целью использования последних для оптимизации компоновки РЭА по тепловому режиму.

Известны различные математические методы решения краевых задач теплопроводности [10]. Интересна, на наш взгляд, классификация аналитических методов названных выше задач, приведенная в [11], согласно которой в настоящее время в теории теплопроводности применяются классические методы, методы интегральных преобразований, вариационные методы, методы линеаризации, проекционные методы, интегральные методы, методы сведения краевой задачи к уравнениям и задачам других типов.

В работах [12, 13, 14, 15] получено решение уравнения теплопроводности методом Фурье для твердого тела формы параллелепипеда с источником тепла аналогичной формы и неравномерном теплообмене с граней нагретой зоны при нулевых начальных и граничных условиях третьего рода. Это решение и положено в основу разработки инженерной методики и универсального алгоритма расчета температурного режима аппаратуры различного конструктивного исполнения: стойка, шкаф, блок, субблок, плата, модуль, микросхема и т.п., пригодные для инженерных и компьютерных расчетов, обеспечивающие возможность эффективного перебора и сравнения различных вариантов конструкции, выбора способа охлаждения, габаритов и теплофизических характеристик конструкции и анализа их теплового режима без больших материальных и временных затрат.

Разработка тепловой модели. Радиоэлектронный аппарат представляет собой с теплофизической точки зрения сложную систему тел в виде набора большого количества источников тепла – радиокомпонентов, размещенных на монтажных платах или шасси, которые помещаются в оболочку-кожух изделия.

На основании обзора и анализа различных тепловых моделей РЭА в работе [16] показано, что игнорирование некоторых конструктивных особенностей изделия и источников тепла может привести к значительному снижению точности результатов расчетов. Особо отмечена возможность изменения формы тепловой модели при сохранении неизменной картины анализируемого температурного поля изделия. В [12, 17] экспериментально доказана возможность перехода к тепловой модели РЭА в виде квазиоднородного твердого тела с источниками тепла.

Подводя итог предыдущих исследований [12], можно утверждать, что тепловая модель радиоэлектронных аппаратов в виде квазиоднородного анизотропного тела с простой геометрической формой и размерами нагретой зоны и источниками тепла аналогичной формы позволяет создать единые

(универсальность) алгоритм и метод расчета тепловых режимов практически всех типов конструкций аппаратов и элементов РЭА [13].

Решение задачи анализа теплового состояния РЭА. Подход к решению рассматриваемой задачи строится на общем решении уравнения теплопроводности, полученном методом разделения переменных для тел и источников тепла формы параллелепипеда (рис. 1). Для инженерных расчетов

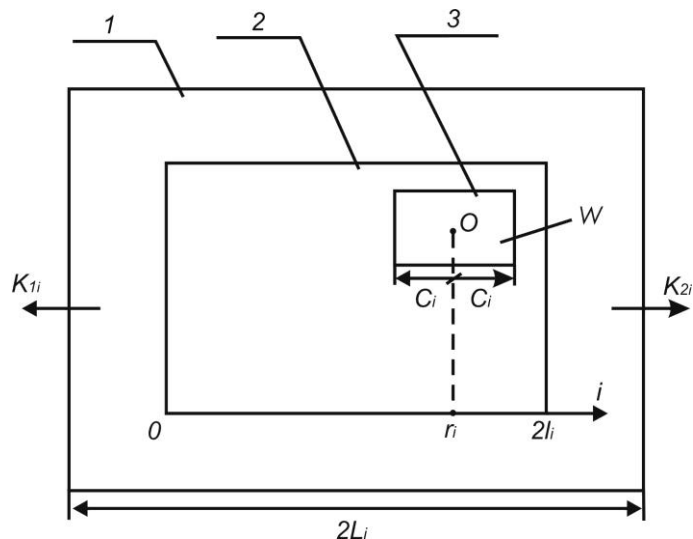


Рис. 1 – Тепловая модель изделия: 1 – кожух; 2 – нагретая зона; 3 – источник тепла; K_{1i}, K_{2i} – коэффициенты теплоотдачи с противоположных граней нагретой зоны в окружающее пространство; r_i – координата источника тепла; $2C_i$ – размер источника тепла; W – удельная мощность рассеивания источника тепла; $2l_i$ – размер нагретой зоны; $2L_i$ – размер кожуха аппарата; $i = x, y, z$ – координаты.

можно использовать только первый член суммы бесконечного ряда Фурье. В этом случае из-за несимметричного размещения источника тепла в нагретой зоне данное допущение повлечет необходимость искать выражение для функции влияния, чтобы сохранить приемлемой точность вычислений по первому члену ряда. Перегрев в любой точке конструкции для любого конечного числа N источников тепла можно определить по формуле [12, 13, 18]:

$$\vartheta(x, y, z) = \sum_{j=1}^N \vartheta_j(x, y, z) f_{вл j}, \quad (1)$$

где $\vartheta_j(x, y, z)$ – собственный перегрев j -го источника, °C, определяется выражением:

$$\vartheta_j = \frac{64W_j}{\sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\mu_i}{l_i}\right)^2 \lambda_i} \prod_{i=x,y,z} \frac{\sin \mu_i \frac{C_{ij}}{l_i} \cos \mu_i \left(\frac{r_{ij}}{l_i} - 1\right)}{2\mu_i + \sin 2\mu_i}, \quad (2)$$

$f_{вл j}$ – функция влияния j -го источника на интересующую координату конструкции анализируемого изделия:

$$f_{вл j} = \prod_{i=x,y,z} f_{вл ji}, \quad (3)$$

$$f_{вл ji} = \begin{cases} \frac{K_i i + \lambda_i}{K_i r_{ji} + \lambda_i}, & \text{если } r_{ji} \geq i; \\ \frac{K_i (2l_i - i) + \lambda_i}{K_i (2l_i - r_{ji}) + \lambda_i} & \text{если } r_{ji} \leq i. \end{cases}; \quad (4)$$

μ – собственные числа характеристического уравнения:

$$\operatorname{ctg} \mu_i = \frac{\mu_i}{Bi_i}, \quad (5)$$

Bi – Число Био – критерий подобия стационарного теплообмена между нагретым или охлажденным твёрдым телом и окружающей средой:

$$Bi_i = \frac{K_i \cdot l_i}{\lambda_i}, \quad (6)$$

λ – эффективная теплопроводность нагретой зоны при условии, что теплопроводность внутри источников тепла равна бесконечности, $\frac{Вт}{м \cdot град}$.

В результате расчетов получаем искомую температуру в нужной точке конструкции (искомые перегревы в анализируемых координатах). При необходимости, используя тот же алгоритм и те же математические зависимости, можно рассчитать распределение температуры внутри интересующих источников тепла. При этом, считая интересующий нас источник тепла нагретой зоной и выделив в нем источники тепла, проводятся аналогичные расчеты распределения температуры внутри данного источника.

Алгоритм и методика инженерного расчета теплового режима РЭА.

1. Подготавливаются исходные данные [18]. В конструкции выделяется нагретая зона, источники тепла. Определяются размеры нагретой зоны, размеры и координаты источников тепла. Вычисляются площади поверхности изделия, нагретой зоны, источников, объемы изделия, нагретой

зоны, источников, удельная поверхностная мощность, удельная объемная мощность. Определяются эффективные теплопроводности нагретой зоны и коэффициенты теплопередачи.

2. Вычисляются критерии Био (6), находятся собственные числа характеристического уравнения (5).

3. По формуле (2) вычисляются собственные перегревы источников в условиях изделия.

4. По формуле (1) с использованием зависимостей (3) и (4) вычисляются перегревы в искомых точках. Принятое допущение, что внутри источника теплота $\lambda = \infty$, означает, что в последнем принимается равномерное распределение температуры. Расчет ведется по координатам геометрических центров источников. Полученный результат соотносится ко всему объему, рассеивающему тепло.

Пример расчета теплового режима. На примере расчета теплового режима стойки управления газовой станции «КВАРЦ–2М» (представлена на рис. 2 в обычном и приоткрытом состоянии; конструктив включает 18 блоков и 2 панели) была продемонстрирована универсальность и работоспособность

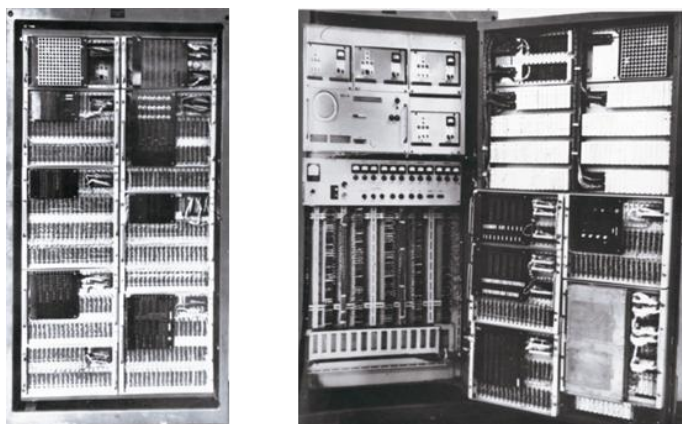


Рис. 2 – Внешний вид стойки управления «КВАРЦ–2М»

предлагаемой инженерной методики, показан алгоритм её использования и экспериментально проверены полученные в результате расчета значения перегревов в различных точках изделия. Примеры использования методики и алгоритма на примере стойки «КВАРЦ–2М» опубликованы в работах [12, 19]. Все теоретические расчеты были проверены в результате специально проводившихся экспериментальных замеров температуры внутри выбранных блоков и элементов. Подробные расчеты и результаты измерений приведены в [12, 19] (см. таблицу ниже) и оказались весьма удовлетворительными. Полученные результаты подтверждают адекватность модели, что и позволило утвердить данную методику в виде стандарта предприятия [18].

Выводы. В результате применения разработанной методики мы получаем возможность определить приближённое значение средней температуры любого выделенного объема анализируемой конструкции РЭА, а в результате следующего цикла подобных расчетов, можем получить и распределение температуры внутри этого же объема.

Полученные результаты подтверждают адекватность модели и работоспособность разработанной методики и могут быть использованы в реальных конструкторских разработках.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений перегревов блоков стойки «КВАРЦ–2М»

Название блока	Расчетное значение		Эксперимент
	удельная мощность рассеивания, Вт/м ³	средний перегрев блока, °С	среднее значение перегрева блока °С
БП1	7195,67	16,2	17,0
БП2	6893,38	20,4	17,5
БП3	6791,26	17,0	17,2
БП4	3815,36	18,3	12,0
У	735,85	6,1	4,9
ШПО	69,42	9,7	8,2
ЗРД	1067,21	8,2	5,6
ДД	789,28	3,4	2,3
БЗ	876,84	5,9	5,3

Список литературы: 1. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА [Текст] / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный. – М. : Советское радио, 1976. – 230 с. 2. Дульнев, Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах [Текст] / Г. Н. Дульнев, Э. М. Семьяшкин. – Л. : Энергия, 1968. – 360 с. 3. Дульнев, Г. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры [Текст] / Г. Н. Дульнев, Н. Н. Тарковский. – Л. : Энергия, 1971. – 286 с. 4. Азаренков, В. И. Анализ методов расчета температурных полей РЭА [Текст] / В. И. Азаренков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – Вып. 4/3 (22). – С. 20–36. 5. Коздоба, Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности [Текст] / Л. А. Коздоба. – М. : Наука, 1975. – 282 с. 6. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М. : Наука, 1971. – 338 с. 7. Потягайло, А. Ю. Методы анализа теплового режима системы тел и их приложение в приборостроении. Автореферат кандидатской диссертации [Текст] / А. Ю. Потягайло. – Л. : ЖТМО, 1976. – 18 с. 8. Преснухин, Л. Н. Основы конструирования микроэлектронных вычислительных машин [Текст] / Л. Н. Преснухин, В. А. Шахнов, В. А. Кустов. – М. : Высшая школа, 1976. – 276 с. 9. Егоров, А. И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами [Текст] / А. И. Егоров. – М. : Наука, 1978. – 464 с. 10. Беляев, Н. М. Методы нестационарной теплопроводности [Текст] / Н. М. Беляев, А. А. Рядно. – М. : Высшая школа, 1978. – 328 с. 11. Бицадзе, А. В. Уравнения математической физики [Текст] / А. В. Бицадзе. – М. : Наука, 1976. – 296 с. 12. Азаренков, В. И. Исследование

температурных полей и разработка теплофизических методов конструирования многооблочной электронно-релейной аппаратуры автоматических систем управления газовой промышленности. Конструкционная надежность [Текст] : отчет по НИР Гр № 75041325 // *В. И. Азаренков, И. М. Майко, О. В. Хомицкий [и др.]*. – Х. : ХИРЭ. – 137 с. **13. Азаренков, В. И.** К вопросу разработки общего подхода к расчету нестационарных температурных полей электронных аппаратов различной геометрической формы [Текст] / *В. И. Азаренков* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – Вып. 5/2 (17). – С. 64–68. **14. Азаренков, В. И.** Алгоритм инженерного расчета теплового режима радиоэлектронной аппаратуры систем управления [Текст] / *В. И. Азаренков, И. М. Майко, А. А. Чернышенко* // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики : Республ. межвед. науч.-техн. сб. – 1980. – Вып. 54. – С. 130–133. **15. Азаренков, В. И.** Исследование и разработка тепловой модели и методов анализа температурных полей конструкций радиоэлектронной аппаратуры [Текст] : тез. докл. междунар. науч. конф. «Научная периодика славянских стран в условиях глобализации». – Ч.1. Том «Фундаментальные исследования» (окт. 2012) / *В. И. Азаренков* // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – Вып. 3/1 (5). – С. 39–40. **16. Азаренков, В. И.** Анализ тепловых моделей РЭА [Текст] / *В. И. Азаренков* // Вестник национального технического университета «ХПИ» : сб. науч. тр. – Х., 2006. – Вып. 10. – С. 39–46. **17. Азаренков, В. И.** Экспериментальное исследование эффективной теплопроводности в электронных аппаратах с малой плотностью монтажа [Текст] / *В. И. Азаренков, А. М. Синопин* // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2005. – Вып. 140. – С. 111–117. **18. Азаренков, В. И.** СТП 8830–2–79. Комплексная система управления качеством продукции. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета тепловых режимов [Текст] / *В. И. Азаренков, О. М. Дерфель, И. М. Майко, О. В. Хомицкий, А. А. Чернышенко* // Стандарт предприятия ВНИПИАСУГазПром. – Х., 1979. – 30 с. **19. Азаренков, В. И.** Анализ теплового режима стойки «КВАРЦ» [Текст] / *В. И. Азаренков, И. М. Майко, А. Л. Оксман [и др.]* // Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности : Реферативный сборник ВНИПИАСУГазПром. – 1979. – Вып. 5. – С. 5–7.

Надійшла до редколегії 12.12.2012

УДК 658.506

Д. Л. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»;
М. С. ПИЛИПЕЦЬ, студент НТУ «ХПИ»

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ ТА КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ ТОРГІВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

У даній статті розглядаються питання інформаційно-технологічної підтримки вибору, обліку та контролю множини показників діяльності торгівельного підприємства в рамках загальної стратегії управління взаємовідносинами з клієнтами, зокрема питання формування комплексу траєкторій, за допомогою яких контролюються та прогнозуються значення показників.

Ключові слова: управління взаємовідносинами з клієнтами, збалансована система показників, ключові показники ефективності, програмне забезпечення, прогнозування.

В данной статье рассматриваются вопросы информационно-технологической поддержки выбора, учета и контроля множества показателей деятельности торгового предприятия в рамках общей стратегии управления взаимоотношениями с клиентами, в том числе вопросы формирования

© Д. Л. Орловський, М. С. Пилипець, 2013

комплекса траекторий, с помощью которых контролируются и прогнозируются значения показателей.

Ключевые слова: управление взаимоотношениями с клиентами, сбалансированная система показателей, ключевые показатели эффективности, программное обеспечение, прогнозирование.

This article addresses the information technology support for choice, accounting and control of multiple indicators of commercial enterprises within the overall strategy of customer relationship management, in particular the question of forming complex pathways by which the indicator values are controlled and predicted.

Keywords: customer relationship management, balanced scorecard, key performance indicators, software, forecasting.

Вступ. Динамічний розвиток ринку товарів та послуг в світі, а також загострення конкуренції на ньому змушує компанії опанувати нові підходи до підвищення ефективності своєї діяльності. В умовах фінансової кризи підприємства втрачають значну кількість клієнтів, що значною мірою обумовлено невваженою політикою щодо їх залучення, обслуговування та збереження, а також відмовою від застосування спеціального інструментарію управління ними. Саме тому компанії відчують гостру потребу у впровадженні нових концепцій маркетингу, зокрема – системи управління взаємовідносинами з клієнтами, відповідно до якої одним з основних стратегічних завдань стає орієнтація на встановлення та збереження тривалих взаємовигідних партнерських відносин з клієнтами. Виходячи з цього клієнтська база перетворюється на надзвичайно важливий ресурс забезпечення стабільного та ефективного функціонування підприємства, стає його додатковою конкурентною перевагою, що визначає необхідність розробки науково-методичних засад і практичного інструментарію управління клієнтською базою та аналізу діяльності клієнтів компанії в системі управління взаємовідносинами з клієнтами.

Огляд існуючих засобів вирішення задачі. Інформаційними системами, що забезпечують ефективну орієнтацію на ринок, зараз є системи класу CRM (Customer Relationship Management) [1]. Ці системи направлені на створення обширної бази постійних клієнтів, яка саме і є для підприємства довготерміновою конкурентною перевагою. Терміном CRM позначають, як правило, не тільки інформаційні системи, що містять функції управління взаємовідносинами з клієнтами, а й саму стратегію орієнтації на клієнта. Суть цієї стратегії полягає в тому, щоб об'єднати різні джерела інформації про клієнтів, продаж, відгуки на маркетингові заходи, ринкові тенденції для побудови найтісніших відносин з клієнтами.

Основні принципи, що лежать в основі інформаційних технологій, які підтримують CRM-стратегію, полягають ось у чому [1]:

- наявність єдиного сховища інформації, до якого миттєво поміщаються і з якого миттєво доступні всі відомості про всі випадки взаємодій із клієнтами;

- синхронізація управління множиною каналів взаємодії незалежно від способів зв'язку з клієнтом;
- постійний аналіз зібраної інформації про клієнтів і прийняття відповідних організаційних рішень, наприклад, визначення пріоритетів клієнтів на основі їхньої значущості для компанії, вироблення індивідуального підходу до клієнта відповідно до його специфічних потреб і запитів.

CRM-стратегія підтримується такими інструментами як операційний CRM, аналітичний CRM та CRM взаємодії (Collaborative CRM).

Постановка задачі. На сучасному ринку представлено багато однорідної продукції, що призводить до загострення конкуренції і як наслідок до боротьби за клієнта, який являє собою головне джерело прибутку та засіб існування сучасних торгових підприємств. Саме тому одним з основних засобів підвищення конкурентоспроможності є вирішення задачі обліку та аналізу даних про діяльність клієнтів.

Стан торговельного підприємства може бути представлений у вигляді сукупності значень показників, які відображають особливості протікання бізнес-процесів підприємств. Для успішного функціонування та розвитку підприємства потрібно постійно фіксувати та аналізувати значення показників. Але через те, що таких показників дуже багато, цей процес вимагає дуже багато коштів та часу, що може привести к виникненню певних проблем.

Як наслідок, виникає потреба у виборі підмножини показників з їх загальної множини, яка повинна складатися з відносно невеликої їх кількості, але у той самий час повинна адекватно відображати стан підприємства. Для цього потрібно визначити показники та підходи до формування їх множини, а також розглянути підходи щодо обґрунтування вибору з неї певної кількості показників. Після вибору набору показників, виникає потреба постійно контролювати як поточні, так і майбутні їх значення. Це обумовлює потребу у побудові та прогнозуванні фактичної траєкторії змін значень показників, з метою своєчасного прийняття рішень по запобіганню конфліктних ситуацій.

Для ведення обліку планових та фактичних значень показників необхідно розробити базу даних, у якій буде зберігатися докладна інформація про клієнтів та їх діяльність, самі показники та інформація, необхідна для їх обчислення. Для зручної роботи користувача з базою даних та забезпечення можливості аналізу показників потрібно розробити програмне забезпечення, складовою частиною якого є графічний інтерфейс користувача.

Концептуальний підхід до формування системи показників. Облік та аналіз показників ефективності торговельного підприємства у сучасних CRM системах, як правило, відбувається на основі концепції збалансованої системи показників.

Збалансована система показників (Balanced Scorecard — BSC) — це система стратегічного управління організацією на підставі вимірювання та оці-

нки ефективності її діяльності за набором показників, дібраних таким чином, щоб врахувати всі суттєві (з точки зору стратегії) аспекти діяльності організації (фінансові, маркетингові, виробничі і т. ін.). Вона трансформує місію і загальну стратегію організації у систему взаємопов'язаних показників [2]. Концепція BSC вигідно відрізняється від інших концепцій тим, що фінансові й нефінансові індикатори інтегруються з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків між результируючими показниками і ключовими факторами, під впливом яких вони формуються.

Кожен із ключових показників ефективності має певну вагу у відповідному ключовому факторі успіху, від яких залежать функціональні цілі. Функціональні цілі, в свою чергу, також мають вагу значимості в досягненні поставленої стратегії. Для успішного виконання стратегії недостатньо досягнення лише однієї з можливих цілей, необхідно виконання балансу, відповідно до ваги значущості. У свою чергу, це можливо тільки в тому випадку, якщо кожен з ключових показників ефективності не вийде за межі допустимих значень. Збалансованість передбачає, що граничне значення, яке свідчить про досягнення ефективності, має бути подолано усіма показниками, тобто не допускається ситуація, при якій один з показників демонструє перевиконання, а інший недостатність. Баланс пріоритетності також виконується за рахунок різної вагової частки. Таким чином, відстеження ведеться за кожним з показників на регулярній основі, і у випадку, якщо який-небудь з них не досягає порогового значення, здійснюється негайний коригувальний вплив. Результат видно на початковому рівні формування ланцюжка вартості, що є значною перевагою в порівнянні з методами, де аналіз здійснюється вже на рівні досягнення цілей. Це дозволяє вести контроль в режимі реального часу.

Легко може бути виділена наступна проблема для існуючих компаній, яка вимагає нестандартного рішення: враховуючи, що значення KPI (Key Performance Indicators) визначаються менеджерами компанії за допомогою експертних оцінок на основі їх досвіду, оцінки поточної ринкової ситуації та передбачуваних прогнозів розвитку ринку. Для успішної реалізації BSC стратегії виділяються наступні вимоги: по-перше наявність достатньої кваліфікації у менеджерів, а по-друге, наявність ефективної методики експертних оцінок, яка повинна дозволяти здійснювати оцінку будь-яких економічних рішень у компанії. Таким чином, виникає складність з визначенням KPI, що залежить від кількох економічних рішень і показників, що не мають явного числового вираження, і визначаються в умовах нечіткості та суб'єктивності.

Обґрунтування вибору множини показників. В даній роботі пропонується використання методу аналізу ієрархій для визначення ключових показників ефективності діяльності торгового підприємства на основі системи BSC.

Метод аналізу ієрархій (MAI) є систематичною процедурою для ієрархічного представлення елементів, що визначають суть проблеми. Метод

полягає в декомпозиції проблеми на все більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності суджень особи, яка приймає рішення, по парним порівнянь. В результаті може бути виражена відносна ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. Ці судження потім виражаються чисельно. МАІ включає в себе процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень. Такий підхід до вирішення проблеми вибору виходить з природної здатності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати відносини між ними. Традиційний метод аналізу ієрархій був запропонований Сааті [3]. У методі використовується дерево критеріїв, у якому спільні критерії поділяються на критерії приватного характеру. Для кожної групи критеріїв визначають коефіцієнти важливості. Альтернативи також порівнюються між собою за окремими критеріями. Засобом визначення коефіцієнтів важливості критеріїв та альтернатив є попарне порівняння. Результат порівняння оцінюється за бальною шкалою та заноситься до матриці попарних порівнянь. На основі таких порівнянь обчислюють коефіцієнти важливості критеріїв, оцінки альтернатив і знаходять спільну оцінку як зважену суму оцінок критеріїв. Після цього за ефективну альтернативу обирають альтернативу з найбільшою оцінкою.

У роботі було застосовано удосконалений метод аналізу ієрархій, який базується на використанні інтервальних оцінок переважності критеріїв та альтернатив [4]. У цьому випадку визначають відносні коефіцієнти значущості критеріїв за такою формулою:

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{q}_{ij}},$$

де \bar{w}_i – інтервальна оцінка відносного коефіцієнта важливості критерію Q_i ;

\bar{q}_{ij} – інтервальна бальна оцінка переваги критерію Q_i над критерієм Q_j .

Коефіцієнти значущості альтернатив обчислюються за такою формулою:

$$\bar{V}_{jk} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{a}_{ij}^k},$$

де \bar{V}_{jk} – інтервальне значення відносного коефіцієнта значущості альтернативи a_j за критерієм Q_k ;

\bar{a}_{ij}^k – інтервальна бальна оцінка переважності альтернативи a_i над альтернативою a_j за критерієм Q_k .

Обчислюють кількісний індикатор якості кожної альтернативи за формулою:

$$\bar{Q}^{int}(a_j) = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \bar{V}_{ji},$$

де $\bar{Q}^{int}(a_j)$ – інтервальна глобальна оцінка альтернативи a_j .

Прогнозування зміни траєкторії показників. У представленій роботі для прогнозування значень показників діяльності клієнтів було застосовано метод параболічної екстраполяції, який відноситься до класу кількісних методів та полягає у приблизному визначенні значень функції $f(x)$ у точках x , які знаходяться за межами відрізка $[x_0; x_n]$, по її значеннях в точках $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ [5]. В якості значення функції береться значення певного полінома $P_n(x)$, для формування якого користуються інтерполяційними формулами. В якості інтерполяції було застосовано інтерполяцію кубічними сплайнами.

Деяка функція $f(x)$ задана на відрізку $[a; b]$, розбитому на частини $[x_{i-1}; x_i]$, $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$. Кубічним сплайном дефекту 1 називається функція $S(x)$, яка на кожному відрізку $[x_{i-1}; x_i]$, є поліномом ступеня не вище третього; має неперервну першу та другу похідну на всьому відрізку $[a; b]$; в точках x_i виконується рівність $S(x_i) = f(x_i)$, тобто сплайн $S(x)$ інтерполює функцію $f(x)$ в точках x_i [6]. Для однозначного завдання сплайна перерахованих умов недостатньо, для побудови сплайна необхідно накласти додаткові умови. Природним кубічним сплайном називається кубічний сплайн, задовольняючий також граничним умовам виду $S'(a) = S'(b) = 0$. Побудова кубічного сплайну полягає у побудові кубічного поліному та знаходженні його невідомих коефіцієнтів [6].

Позначимо $h_i = x_i - x_{i-1}$, на кожному відрізку $[x_{i-1}; x_i]$ функція $S(x)$ є поліномом третього ступеня, коефіцієнти якого потрібно визначити.

Запишемо $S(x)$ у вигляді $S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + \frac{c_i}{2}(x - x_i)^2 + \frac{d_i}{6}(x - x_i)^3$, тоді

$S_i(x_i) = a_i$, $S_i'(x_i) = b_i$, $S_i''(x_i) = c_i$. Умови неперервності усіх похідних до другого порядку включно записуються у наступному вигляді:

$S_i(x_{i-1}) = S_{i-1}(x_{i-1})$; $S_i'(x_{i-1}) = S_{i-1}'(x_{i-1})$; $S_i''(x_{i-1}) = S_{i-1}''(x_{i-1})$, а умови інтерполяції у вигляді $S_i(x_{i-1}) = f(x_{i-1})$. Звідси можна вивести формули для

обчислення коефіцієнтів сплайна: $a_i = f(x_i)$; $h_i c_{i-1} + 2(h_i + h_{i+1})c_i + h_{i+1}c_{i+1} = 6 \left(\frac{f_{i+1} - f_i}{h_{i+1}} - \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} \right)$; $d_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{h_i}$; $b_i = \frac{1}{2}h_i c_i - \frac{1}{6}h_i^2 d_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i}$.

Якщо врахувати, що $c_0 = c_n = 0$, то обчислення c можна провести за допомогою метода прогонки для трьохдіагональної матриці.

Інформаційно-технологічна підтримка вирішення задачі. Формування показників діяльності торговельного підприємства можливе на основі докладної інформації о клієнтах, постачальниках, продажах, рекламних заходах тощо, що у свою чергу потребує створення та ведення відповідної бази даних. Для вирішення поставленої задачі було розроблено програмне забезпечення, яке забезпечує підтримку роботи з показниками діяльності підприємства, формування набору показників з суцільної множини для ведення їх обліку та аналізу, а також формування їх планової та фактичної траєкторій з можливістю прогнозування фактичних значень показників. З метою підвищення наочності здійснюється формування графічного представлення процесу обліку, аналізу та прогнозування фактичних значень показників.

Розроблене програмне забезпечення орієнтоване на користувача, який не має спеціальної підготовки. Програмний продукт реалізовано на основі сучасних інформаційних технологій з використанням середовища розробки програмного забезпечення Microsoft Visual Studio 2008 та системи управління базами даних Microsoft SQL Server 2008. Одним з ключових компонентів програмного забезпечення є база даних. Її структура представлена у вигляді моделі в нотатції IDEF1X, яку наведено на рис. 1.

Отримані результати та їх аналіз. За допомогою розробленого програмного забезпечення було проведено контрольні розрахунки на основі тестових даних, максимально наближених до реальності.

Наявні сім альтернатив, сформовані на основі експертних оцінок:

a_1 – індекс задоволеності клієнтів, виручка, коефіцієнт утримання клієнтів, цінова еластичність попиту, кількість PR-акцій, витрати обігу, кореляція цін товарів у часі;

a_2 – доля поверненої продукції, виручка, коефіцієнт утримання клієнтів, загальні витрати, рентабельність продажів, кореляція цін товарів у часі, широта асортименту, глибина асортименту;

a_3 – індекс задоволеності клієнтів, виручка, доля ринку, широта асортименту, глибина асортименту, коефіцієнт стратегічного навчання, доля витрат через повернення, кількість нових клієнтів за період;

a_4 – коефіцієнт утримання клієнтів, виручка, коефіцієнт охопту, рентабельність продажів, кількість PR-акцій, цінова еластичність попиту, широта асортименту, глибина асортименту;

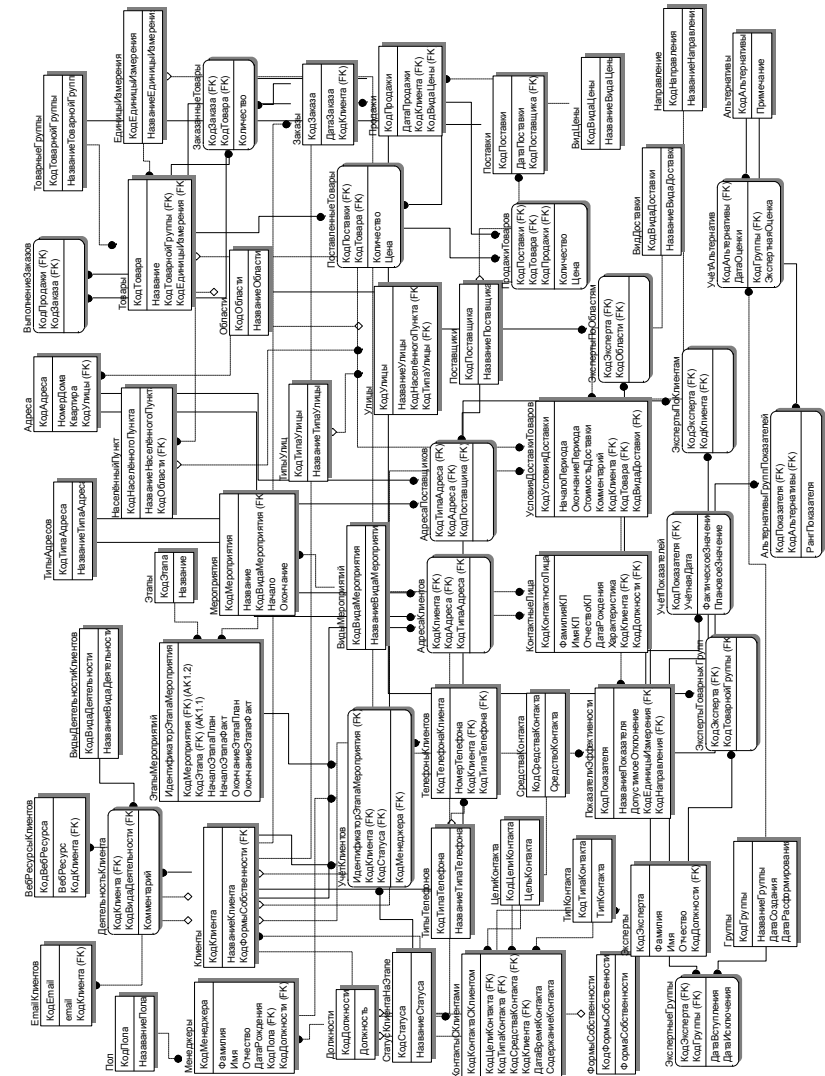


Рис. 1 – Модель даних

a_5 – індекс задоволеності клієнтів, коефіцієнт утримання клієнтів, коефіцієнт спеціалізації, кореляція цін товарів у часі, виручка, кількість PR-акцій, рентабельність продажів;

a_6 – валовий прибуток, загальні витрати, широта асортименту, глибина асортименту, коефіцієнт стратегічного навчання, рентабельність продажів, доля поверненої продукції, доля ринку;

a_7 – індекс вдовolenеності клієнтів, коефіцієнт утримання клієнтів, кількість PR-акцій, широта асортименту, глибина асортименту, виручка, цінова еластичність попиту, доля ринку.

Задача вибору оптимальної множини показників ефективності з загальної кількості характеризується такими критеріями:

Q_1 – можливість вимірювання за однією схемою;

Q_2 – зрозумілість та простота використання;

Q_3 – інформативність;

Q_4 – доступність даних для обчислень.

В результаті застосування програмного забезпечення були отримані узагальнені оцінки для альтернатив та порівняні з результатами ручного розрахунку (див. таблицю нижче).

За ефективну альтернативу обирається альтернатива з найбільшою узагальненою оцінкою. У наведеному прикладі такою є альтернатива під номером 7.

Результати отримання узагальнених оцінок альтернатив

Альтернатива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
Оцінка	13,04	10,086	12,26	12,843	10,745	9,149	17,079

За допомогою програмного забезпечення також можна побудувати планову, фактичну та прогнозну траєкторію зміни значень показників. Графічна інтерпретація цього процесу (у прикладі розглядається виручка від реалізації товарної продукції) наведена на рис. 2.

Прогнозування ведеться за всіма показниками і на основі цього створюється інтегральний прогноз.

Слід зазначити, що рівняння апроксимаційної кривої є досить складним. Чисельні розрахунки, які були проведені, показали, практичну можливість застосування методу, але з певними обмеженнями, зокрема горизонт прогнозування є досить невеликим і складає кілька місяців. Також для адекватного прогнозування потрібні статистичні дані не менш ніж за два роки. Таким чином використаний метод прогнозування має обмежену сферу використання.

Висновки. У представленій роботі було розроблено підхід на основі методу аналізу ієрархій щодо обґрунтування вибору та ведення контролю певної множини показників діяльності торговельного підприємства з їх загальної кількості, для представлення якої пропонується застосування концепції збалансованої системи показників. Для реалізації підходу та перевірки його працездатності було розроблено програмне забезпечення з графічним інтерфейсом користувача, що дозволяє зберігати докладну

інформацію про діяльність підприємства (у першу чергу про його взаємовідносини з клієнтами), необхідну для формування показників діяльності.

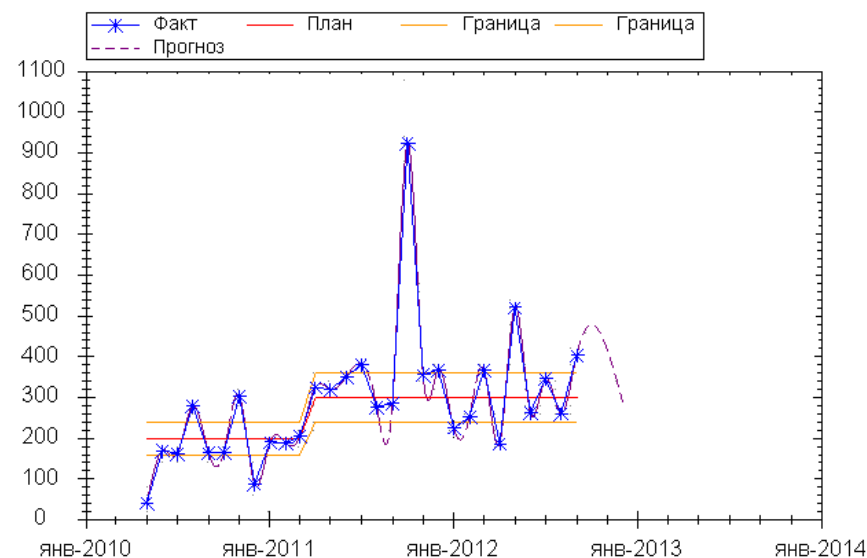


Рис. 2 – Приклад прогнозування зміни значень показників

Також у програмному забезпеченні було реалізовано можливість формування комплексу траєкторій, за допомогою яких контролюються та прогноуються значення показників. Застосування розробленого програмного забезпечення дозволить аналізувати поведінку клієнтів та приймати вчасно заходи для їх вдовolenення та збереження, а також дозволить підвищити ефективність роботи персоналу.

Список літератури: 1. *Белявцев М. І.* Маркетинговий менеджмент // http://pidruchniki.ws/18421120/marketing/vikoristannya_crm-tehnologiy_marketingovomu_strategich-nomu_planuvanni, 10.06.2007. 2. *Kaplan R. S., Norton D. P.* The Balanced Scorecard — Measures then drive Performance // Harvard Business Review. — 1992. — V. 70. — N 1. — P. 71–79. 3. *Taha X. A.* Введение в исследование операций / X. A. Taha. — [7-е изд.]: пер. с англ. — М. : Вильямс, 2005. — 902 с. 4. *Куземко С. М.* Удосконалений метод аналізу ієрархій для вибору оптимальної системи захисту інформації в комп'ютерних мережах [Електронний ресурс] / С. М. Куземко, В. М. Мельничук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету.— № 2. — 2010. — Режим доступу до журн.:http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2010-2/2010-2_ru.files/ru/10smkicn_ru.pdf. 5. *Общая теория статистики / Елисеєва И. И., Юзбашев Н. М.* Учебник. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 381 с. 6. *Поршнев С. В.* Вычислительная математика. Курс лекций: учеб. пособие / С. В. Поршнев. — 2-е изд., доп. — СПб. : БХВ-Петербург, 2004. — 320 с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012

С. С. ТАНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СОСТОЯНИЙ НЕОДНОРОДНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Пропонується метод побудови множини можливих станів бази даних при модифікації структури даних. Визначено умови припустимих операцій і введено оператор переходу станів бази даних. Запропоновано відповідні алгоритми та доведена їхня коректність, адекватність й ефективність.

Ключові слова: база даних, семантика даних, стан, модифікація структури, цілісність даних, обмеження, логічне правило.

Предлагается метод построения множества возможных состояний базы данных при модификации структуры данных. Определены условия допустимых операций и введен оператор перехода состояний базы данных. Предложены соответствующие алгоритмы и доказана их корректность, адекватность и эффективность.

Ключевые слова: база данных, семантика данных, состояние, модификация структуры, целостность данных, ограничение, логическое правило.

Propose a method of constructing a set of possible states of a database by modifying the structure of the data. The conditions of the permitted operations and introduce the operators of state transition of the database. Suggest appropriate algorithms and prove their correctness, adequacy and effectiveness.

Keywords: database, data semantics, state, modifying the structure, data integrity, constraint logic rule.

Введение. Разработка и внедрение независимых систем автоматизации деятельности организации приводят к несогласованности и семантической неоднородности данных в различных подсистемах. Для эффективного управления современной организацией требуется интегрированная информационная система (ИС), позволяющая работать со всем объемом накопленной в организации информации.

Выбор того или иного сценария интеграции, помимо функциональных требований прикладной системы, зависит от таких факторов, как качество и актуальность данных, доступность исходного кода, интенсивность работы с подсистемой, особенности сетевого доступа и другие технические характеристики. Кроме этого оценка семантических свойств ИС играет важную роль при построении интегрированных баз данных (БД).

Моделирование семантики БД – одна из наиболее трудных задач в проектировании и обработке данных. Для этой цели в различных моделях используются ограничения целостности, которые выражают свойства, накладываемые предметной областью, определяют связи между компонентами и описывают поведение БД.

Обобщенную модель БД можно выразить набором положений, определяющих структурные свойства хранящихся в БД объектов и их

поведение. При аксиоматическом подходе модель задается описанием своей структуры, где семантика описывается аксиомами или ограничениями целостности, определяющие допустимые состояния БД.

Анализ основных достижений и литературы. За время своего существования системы баз данных прошли путь от громоздких БД, организованных как системы коллективного пользования, к гибким распределенным информационным системам, которые функционируют без непосредственного участия конечных пользователей.

Практические задачи определяют необходимость проведения научных исследований по широкому кругу вопросов проектирования и организации функционирования распределенных систем баз данных. В частности, задачи, которые рассматриваются в статье, основываются на результатах исследований теории реляционных БД. Среди них – построение формального аппарата описания ограничений целостности в форме правил. В работах Э. Тененбаума [1], Дж. Фридля [2], рассматриваются вопросы построения эффективных логических схем БД, в работах Д. Мейера [3] и О. Горчинской [4] – организация функционирования БД с неполной информацией, решения проблем, связанных с выполнением запросов в среде интегрированных БД представлены в работах Л. Калиниченко [5] и С. Кузнецов [6].

В процессе работы с ИС, а также при работе с уже построенной БД возникает необходимость уточнения или расширения модели предметной области, расширения информации об объектах, которые определяются предметной областью и отражаются в соответствующей модели. То есть, возникает необходимость манипулирования структурой данных и выполнения различных операций над элементами БД.

Цель исследования, постановка задачи. Проводимые в статье исследования направлены на разработку метода и алгоритмов таких модификации БД, которые допустимы только в том случае, если они не нарушают заданных ограничений целостности. При построении интегрированной ИС ограничения целостности данных локальных БД могут не совпадать, при этом выполнение запросов не должно нарушать эти ограничения. Для решения этого вопроса необходимо иметь возможность восстановить ограничения при их нарушении или так изменять ограничения, чтобы они не влияли на обобщенные требования ИС.

Будем рассматривать данные как некоторый информационный объект I_i , который нужно добавить или удалить из базы данных DB , при этом необходимо сохранить состояние БД $\tau_i \in T = \{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n\}$ адекватное заданному ограничением $I = \{I_j \downarrow I_i\}$.

Поддерживаемая в современных системах управления базами данных (СУБД) работа транзакций, для которых любое нарушение целостности приводит к восстановлению начального состояния БД τ_0 , недостаточно гибкая и значительно ограничивает возможности модификации данных.

С целью построения системы управления интегрированной ИС постановка решаемой в статье задачи может быть сформулирована как разработка метода и алгоритмов обеспечения целостности структуры БД при изменении семантики данных, и исследования их свойств для поддержки актуальности информации в интегрированной среде, а также разработка метода корректных обновлений семантики, удовлетворяющих заданным ограничениям.

Оператор перехода состояний базы данных. В работах [7, 8, 9] рассматривалась проблема обновлений структуры БД, при которых требовалось обеспечить целостность данных и сохранить согласованность структур. Были определены меры измерения изменений семантики БД и сформулированы условия эквивалентности семантик модифицированной БД.

Исследуя вопросы изменения непосредственно данных, определим условия корректности состояний БД при выполнении запросов на модификацию данных. Будем основываться на принципах сохранения информации, то есть при выполнении изменений в БД необходимо максимально сохранить существующие данные, а затем добавить новые.

Определение 1. Пусть τ_0, τ_1, τ_2 , – некоторые состояния БД. Состояние τ_1 “ближе” (в смысле минимальности изменений элементов множества τ_1) к состоянию τ_0 , чем τ_2 , если выполняются условия:

- 1) $\tau_0 \cap \tau_2 \subset \tau_0 \cap \tau_1$ или
- 2) $(\tau_0 \cap \tau_2 = \tau_0 \cap \tau_1)$ и $(\tau_1 - \tau_0) \subset (\tau_2 - \tau_0)$.

Два состояния τ_0 и τ_1 будем называть смежными, если нет состояния τ_2 , которое находится к τ_0 ближе, чем τ_1 .

Определим действия, которые по исходному состоянию БД τ_0 и запросу на обновление ставят в соответствие новое состояние τ_1 , удовлетворяющее ограничениям целостности $I = \{l_j \dashv l_i\}$, где l_i – информационный объект (атрибут) БД, и являющееся ближайшим к исходному состоянию τ_0 .

Определение 2. Пусть обновления Λ и ограничения I совместны (то есть не содержат никакого объекта одновременно с его отрицанием). Оператор $\mathcal{G}^{(I, \Lambda)}$ на множестве состояний T называется оператором модификации, если для каждого состояния $\tau_i \in T$ ($i = \overline{1, n}$) выполняются условия:

- 1) $\mathcal{G}(I, \Lambda) \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$, где $\dot{\tau}$ – некоторое новое состояние, определяемое как множество $\dot{\tau}(I, \Lambda) = \{\tau_i \mid (\tau_0 \rightarrow \tau_i) \in \delta^{\tau}(I, \Lambda)\}$ и $\delta^{\tau}(I, \Lambda)$ – множество всех отображений $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$, на которых выполнена модификация Λ ;
- 2) после применения $\mathcal{G}(I, \Lambda)$ состояние τ_1 и начальное состояние τ_0 являются смежными по отношению $\dot{\tau}(I, \Lambda)$.

Содержательно первое условие определяет тот факт, что запрос должен быть выполнен и полученное состояние должно удовлетворять ограничениям целостности. Второе условие фиксирует непосредственно модификацию, то есть выполняются только необходимые (минимальные) изменения в

начальном состоянии, чтобы смежное состояние удовлетворяло первому условию.

Основываясь на определении 2, определим свойства полноты оператора модификаций для неоднородных БД.

Теорема 1. Пусть $\mathcal{G}^{(I, \Lambda)}$ – оператор модификации и пусть τ_0 и τ_1 – состояния БД, такие, что $(\tau_0, \tau_1) \mid \Rightarrow I$. Тогда существует обновление Λ' , совместное с I , такое, что $\tau_1 = \mathcal{G}^{(I, \Lambda')}(\tau_0)$.

Доказательство. Предположим, что Λ' выполняет обновление элементов: добавить элементы $(\tau_1 - \tau_0)$ и удалить элементы $(\tau_0 - \tau_1)$. Очевидно, что такие обновления удовлетворяют отображению $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$, таким образом, $(\tau_0 \rightarrow \tau_1) \in \delta^{\tau}(I, \Lambda')$. Также легко проверить, что для любого состояния $\tau_2 \in \dot{\tau}(I, \Lambda')$ выполняются следующие условия: $(\tau_0 - \tau_1) = \Lambda'^{del}$ (обновление удаление), $(\tau_1 - \tau_0) = \Lambda'^{ins}$ (обновление добавление) и $\Lambda'^{del} \subseteq \tau_0 - \tau_2$, $\Lambda'^{ins} \subseteq \tau_2 - \tau_0$. Следовательно, состояния τ_0 и τ_1 являются смежными, и не существует никакого другого состояния $\tau_2 \in \dot{\tau}(I, \Lambda')$, одновременно смежного с τ_0 и τ_1 . При этом τ_1 является единственно возможным результатом применения оператора $\mathcal{G}^{(I, \Lambda')}(\tau_0)$.

Доказательство закончено.

Из данного утверждения вытекает, что для заданного множества ограничений I в некотором состоянии τ_0 область значений оператора модификации $\mathcal{G}^{(I, \Lambda)}$ при отображении $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$ совпадает с множеством информационных объектов состояния τ_1 .

Рассмотрим множество всех возможных состояний $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda')$, смежных с τ_0 относительно $\dot{\tau}(I, \Lambda')$, в обозначении $T^{I, \Lambda'}(\tau_0)$. Согласно теореме 1, мощность $|T^{I, \Lambda'}(\tau_0)| = 1$, хотя в общем случае мощность может быть больше 1. Рассмотрим пример, в котором размер множества возможных состояний $T^{I, \Lambda'}(\tau_0)$ может экспоненциально зависеть от размера его параметров.

Пусть $I = \{l_c \dashv l_{a_i}, l_{b_i}\}$, где $i = \overline{1, n}$ и, соответственно, $\tau_0 = \{l_{a_1}, \dots, l_{a_n}, l_{b_1}, \dots, l_{b_n}, l_c\}$. Допустим, что необходимо удалить элемент l_c , то есть необходимо выполнить действие Λ' , тогда очевидно, что $T^{I, \Lambda'}(\tau_0)$ включает все состояния БД вида $\{l_{x_1}, \dots, l_{x_m} \mid l_{x_i} \in \{l_{a_i}, l_{b_i}\}, i = \overline{1, n}\}$, следовательно, $|T^{I, \Lambda'}(\tau_0)| = 2^n$.

Таким образом, для обобщения полученных результатов, необходимо решить задачу нахождения элемента из $T^{I, \Lambda'}(\tau_0)$ по заданным ограничениям целостности I , обновляемым информационным объектам Λ и текущему состоянию БД τ_0 , а также сформулировать условия нахождения всех возможных состояний БД из $T^{I, \Lambda'}(\tau_0)$.

Построение множества допустимых состояний базы данных. Для построения алгоритмов поиска элементов из $T^{I,\Lambda}(\tau_0)$ и построения всех возможных состояний БД при модификации данных определим некоторые свойства выполнимости ограничений целостности.

Лемма 1. Для неоднородных БД и для любых ограничений целостности выполняются следующие условия:

- 1) если для некоторого отображения $\hat{\delta}: \hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1$ существует замыкание (то есть множество правил, которые можно вывести из заданного множества) η^{+I} для состояний $(\hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1)$, то $\eta^{+I}(\hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1) \models I$;
- 2) если существует отображение $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$ и $(\tau_0 \rightarrow \tau_1) \models I$, то для информационных объектов перехода состояний $(\hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1) \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau_1)$ справедливо $\eta^I(\hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1) \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau_1)$ и $\eta^I(\hat{\tau}_0 \rightarrow \hat{\tau}_1) \models I$;
- 3) если модифицированные информационные объекты Λ совместны с ограничениями I для некоторого состояния БД τ_0 и $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \emptyset) = (\tau_0 \rightarrow \tau_1)$, то τ_1 является состоянием с наименьшим количеством изменений среди $\dot{\tau}(I, \Lambda)$;
- 4) если состояние $\tau' \in T^{I,\Lambda}(\tau_0)$, то $(\tau_0 \rightarrow \tau') = \eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_0 \cap \tau')$.

Доказательство. Доказательство условий 1-го и 2-го вытекает непосредственно из определения замыкания [10] и того факта, что замыкание вычисляется за конечное число шагов. Доказательство 3-го условия основывается на том, что из совместности ограничений I и модификаций Λ следует $\dot{\tau}(I, \Lambda) \neq \emptyset$. Тогда, если τ_2 – некоторое произвольное состояние БД из $\dot{\tau}(I, \Lambda)$, то $(\tau_0 \rightarrow \emptyset) \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau_2)$ и согласно условию 2 данной леммы $\eta^I(\tau_0 \rightarrow \emptyset) = (\tau_0 \rightarrow \tau_1) \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau_2)$ и $\eta^I(\tau_0 \rightarrow \emptyset) \models I$. Таким образом, $\tau_1 \subseteq \tau_2$, то есть τ_1 - состояние с наименьшим количеством изменений среди $\dot{\tau}(I, \Lambda)$. Для доказательства 4 условия также используем условие 2 этой леммы. Так как $(\tau_0 \rightarrow \tau_0 \cap \tau') \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau')$, то $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_0 \cap \tau') = (\tau_0 \rightarrow \tau_1) \subseteq (\tau_0 \rightarrow \tau')$ и $(\tau_0 \rightarrow \tau_1) \models I$. Из того, что оператор замыкания монотонный, следует, что $\tau_0 \cap \tau' \subseteq \tau_0 \cap \tau_1$, а так как τ_0 и τ' смежные, то $\tau_0 \cap \tau' = \tau_0 \cap \tau_1$ и $\tau' - \tau_0 = \tau_1 - \tau_0$, то есть $\tau_0 = \tau_1$.

Доказательство закончено.

Используя рассмотренные условия, построим алгоритм для нахождения состояния БД из $T^{I,\Lambda}(\tau_0)$.

Алгоритм 1. Построение корректного перехода состояний БД.

Вход. Состояние БД τ_0 , модификации $\Lambda = \{\Lambda^{ins}, \Lambda^{del}, \Lambda^{upd}\}$, совместные с I для τ_0 .

Выход. Состояние БД τ_1 .

Метод.

Шаг 1. Фиксируем множество добавляемых информационных объектов как $\lambda^{ins} = \Lambda^{ins} \cup \{l_i \mid \exists l_{i_2} ((l_i, l_{i_2}) \in \Lambda^{upd})\}$.

Шаг 2. Фиксируем множество удаляемых информационных объектов как $\lambda^{del} = \Lambda^{del} \cup \{l_{i_2} \mid \exists l_{i_1} (l_{i_1} \in \lambda^{ins} \text{ и } (l_{i_1}, l_{i_2}) \in \Lambda^{upd})\}$.

Шаг 3. Определяем некоторое состояние вида $\tau^\lambda = \tau_0 - (\lambda^{ins} \cup \lambda^{del})$.

Шаг 4. Фиксируем некоторое упорядоченное множество информационных объектов $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_m}\} \subseteq \tau^\lambda$.

Шаг 5. Определяем состояние БД τ_2 , соответствующее объединению $\tau_0 \cap \lambda^{ins}$.

Шаг 6. Последовательно, от 1 до m , формируем элементы отображения $\delta': \tau'_0 \rightarrow \tau'_1$, таких, что $(\tau'_0 \rightarrow \tau'_1)$ соответствует $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_2 \cup \{l_{o_i}\})$. Если все элементы проанализированы, то шаг 8.

Шаг 7. Если $\tau'_0 = \tau_0$ и существует отображение $\delta': \tau'_0 \rightarrow \tau'_1$, а также $\tau'_1 \cap \lambda^{ins} = \emptyset$, то $\tau_2 = \tau_2 \cup \{l_{o_i}\}$ и шаг 6, в противном случае состояние τ_2 остается без изменения и шаг 6.

Шаг 8. Формируем элементы отображения $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$ такие, что $(\tau_0 \rightarrow \tau_1)$ соответствует $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_2)$.

Шаг 9. Фиксируем сформированное состояние τ_1 и шаг 10.

Шаг 10. Алгоритм закончен.

Покажем, что данный алгоритм может выполняться за полиномиальное время.

Теорема 2. Пусть задано начальное состояние БД τ_0 , множество ограничений I и множество модифицированных информационных объектов Λ , совместных с I для τ_0 , тогда алгоритм 1 вычисляет состояние $\tau_1 \in T^{I,\Lambda}(\tau_0)$ за полиномиальное время.

Доказательство. Из того, что по определению обновление Λ совместно с I для τ_0 , то множество $\dot{\tau}(I, \Lambda)$ не пусто. Тогда по определению модификации получаем, что для каждого состояния $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$ и для множеств λ^{ins} и λ^{del} имеем $\lambda^{ins} \subseteq \tau_1$ и $\lambda^{del} \cap \tau_1 = \emptyset$. Исходя из данных выкладок, получаем, что для любого информационного объекта $l_i \in \{\tau_0 \cap \tau_1\}$ справедливо условие принадлежности: $l_i \in \lambda^{ins}$ или $l_i \in \tau^\lambda$. Далее подтвердим однозначность условий, выполняемых в теле цикла на шагах 6-7.

Рассмотрим два условия:

- 1) существует $\tau'_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$ такое, что $\tau_2 \subseteq \tau'_1 \cap \tau_0$;
- 2) пусть $l_j \notin \tau_2$ ($j \leq i$), тогда не существует такого состояния $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$, для которого $(\tau_2 \cup \{l_j\}) \subseteq \tau_1$.

Вначале (при $i = 0$) условия а) и б) выполняются согласно условию 2 леммы 1, так как $\tau_0 \cap \lambda^{ins} \subseteq \tau_1$ для любого $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$. Дальнейшее рассуждение проведем по индукции. Предположим, что на i -ой итерации условия также выполняются и покажем, что они выполняются на $i+1$ итерации. Если $\tau_2 = \tau_2 \cup \{l_{o_1}\}$ (шаг 7), то на следующей итерации τ_2 соответствует такому значению, что и определенное на шаге 6 $\tau'_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$ (согласно условию 2 леммы 1). Если на шаге 7 состояние τ_2 остается без изменения, то, следовательно, по индукции условие а) выполняется. Условие б) также выполняется, так как если некоторое состояние $\tau_j \notin \tau_0 \cap \tau_2$, то $j \leq i - 1$ при $l_i \in \tau_2$. Предположим, что при $j \leq i$ информационный объект $l_i \notin \tau_2$. Рассмотрим два случая: если $j < i$, то условие б) выполняется в силу предположения индукции; если $j = i$ и состояние $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$ содержит $\tau_2 \cup \{l_i\}$, то согласно условию 2 леммы 1 состояние $\tau'_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$ и условия шага 7 для отображения $\delta': \tau'_0 \rightarrow \tau'_1$ выполняются положительно, следовательно, условие б) также выполняется.

Отметим, что конечное состояние τ_1 формируется после m -ой итерации, при этом $(\tau_0 \rightarrow \tau_1)$ соответствует $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_2)$. Тогда из выполнения условия а) следует, что $\tau_1 \in \dot{\tau}(I, \Lambda)$, а из выполнения условия б) следует, что $\tau_0 \cap \tau_1 = \tau_2$. Используя условия 4 леммы 1, можно сделать вывод, что $\tau_1 \in T^{I, \Lambda}(\tau_0)$.

Теперь рассчитаем сложность алгоритма. Пусть n – длина входных данных алгоритма. Отметим, что количество итераций для формирования состояния τ_2 выполняется не более чем n раз, а поиск непосредственно перехода $\tau'_0 \rightarrow \tau'_1$ вычисляется за линейное от n время. Другие операции существенно не влияют на вычислительную сложность. Таким образом, общее время работы алгоритма не превышает $O(n^2)$.

Доказательство закончено.

Далее покажем, что с помощью алгоритма 1 для любого состояния τ_0 , представленного упорядоченным множеством информационных объектов $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_m}\} \subseteq \tau^\lambda$ (множество τ^λ получено на шаге 3 алгоритма 1), можно построить состояние $\tau_1 \in T^{I, \Lambda}(\tau_0)$.

Теорема 3. Для любого состояния из $T^{I, \Lambda}(\tau_0)$ существует такой порядок информационных объектов $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_m}\} \subseteq \tau^\lambda$, для которого алгоритм 1 вычисляет состояние τ_1 .

Доказательство. Пусть τ_0 – начальное состояние БД и пусть пересечение множеств $\tau_0 \cap \tau^\lambda$ содержит k информационных объектов ($k \leq m$). Упорядочим множество $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_m}\}$ таким образом, чтобы элементы пересечения $\tau_0 \cap \tau^\lambda$ были вначале, то есть $\tau_0 \cap \tau^\lambda = \{l_{o_1}, \dots, l_{o_k}\}$. Очевидно, что информационные

объекты $(l_{o_1}, \dots, l_{o_k})$ после k итераций цикла (шаг 6) сформируют состояние τ_2 . При этом на следующих итерациях никакой другой информационный объект l_{o_i} ($i > k$) не будет добавлен в τ_2 , так как пересечение $\tau_0 \cap \tau_1$ будет максимальным (подпоследовательность наибольшей длины). Следовательно, в конце работы алгоритма 1 выполняется равенство $\tau_2 = \tau_0 \cap \tau_1$ и согласно условию 4 леммы 1 результирующим состоянием будет τ_1 .

Доказательство закончено.

Для решения задачи построения полного множества состояний из $T^{I, \Lambda}(\tau_0)$ преобразуем алгоритм 1. Введем дополнительную функцию Φ_m^O , которая вычисляет все перестановки информационных объектов множества $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_m}\} \subseteq O$.

Алгоритм 2. Построение множества состояний БД.

Вход. Состояние БД τ_0 , модификации $\Lambda = \{\Lambda^{ins}, \Lambda^{del}, \Lambda^{upd}\}$, совместные с I .

Выход. Множество состояний БД T .

Метод.

Шаг 1. Фиксируем множество добавляемых информационных объектов как $\lambda^{ins} = \Lambda^{ins} \cup \{l_{i_1} \mid \exists l_{i_2} ((l_{i_1}, l_{i_2}) \in \Lambda^{upd})\}$.

Шаг 2. Фиксируем множество удаляемых информационных объектов как $\lambda^{del} = \Lambda^{del} \cup \{l_{i_2} \mid \exists l_{i_1} (l_{i_1} \in \lambda^{ins} \text{ и } (l_{i_1}, l_{i_2}) \in \Lambda^{upd})\}$.

Шаг 3. Определяем некоторое состояние вида $\tau^\lambda = \tau_0 - (\lambda^{ins} \cup \lambda^{del})$.

Шаг 4. Фиксируем некоторое упорядоченное множество информационных объектов $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_k}\} \subseteq \tau^\lambda$.

Шаг 5. Фиксируем T как пустое множество состояний.

Шаг 6. Количество элементов информационных объектов фиксируем как $m = |\tau^\lambda|$.

Шаг 7. Последовательно, от 1 до $m!$, выполняем перебор элементов множества $\{l_{o_1}, \dots, l_{o_k}\} = \Phi_m^{\tau^\lambda}$.

Шаг 8. Определяем состояние БД τ_2 , соответствующее объединению $\tau_0 \cap \lambda^{ins}$.

Шаг 9. Последовательно, от 1 до m , выполняем формирование элементов отображения $\delta': \tau'_0 \rightarrow \tau'_1$, таких, что $(\tau'_0 \rightarrow \tau'_1)$ соответствует $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_2 \cup \{l_{o_i}\})$. Если все элементы проанализированы, то шаг 11.

Шаг 10. Если $\tau'_0 = \tau_0$ и существует отображение $\delta': \tau'_0 \rightarrow \tau'_1$, а также $\tau'_1 \cap \lambda^{ins} = \emptyset$, то $\tau_2 = \tau_2 \cup \{l_{o_i}\}$ (то есть в τ_2 заносим информационный объект l_{o_i}) и шаг 6, в противном случае состояние τ_2 остается без изменения и шаг 9.

Шаг 11. Формируем элементы отображения $\delta: \tau_0 \rightarrow \tau_1$ такие, что $(\tau_0 \rightarrow \tau_1)$ соответствует $\eta^{I(\Lambda)}(\tau_0 \rightarrow \tau_2)$.

Шаг 12. Фиксируем сформированного состояния τ_1 .

Шаг 13. Если $\tau_1 \notin T$, то $T = T \cup \{\tau_1\}$ (то есть в T заносим состояние τ_1).

Шаг 14. Если число итераций меньше $m!$, то шаг 7, в противном случае шаг 15.

Шаг 15. Фиксируем сформированное множество состояний T и шаг 16.

Шаг 16. Алгоритм закончен.

Содержательно алгоритм 2 можно разделить на следующие этапы. На шаге 5 инициализируется список состояний T . Шаг 7 определяет внешний цикл, в котором перебираются все перестановки информационных объектов множества τ^λ и для каждой из них во внутреннем цикле (шаг 9) ищется состояние τ'_1 , после чего на шаге 13 инициализируется результирующий список T . Согласно теореме 3 получаем, что в множество T попадут все состояния из $T^{I,\Lambda}(\tau_0)$.

Исходя из оценки времени алгоритма 1, можно оценить время работы алгоритма 2. Цикл на шаге 7 выполняется $m!$ раз, а его тело, согласно теореме 2, требует $O(n^2)$ шагов. Таким образом, общее время работы алгоритма 2 соответствует $O(m!n^2)$.

Обобщая полученные результаты, отметим, что для некоторого начального состояния БД τ_0 , множества ограничений целостности I и множества обновляемых информационных объектов Λ , совместного с I для τ_0 , алгоритм 2 корректно вычисляет все состояния БД из $T^{I,\Lambda}(\tau_0)$ за время $O(m!n^2)$, где $n = |I| + |\Lambda| + |\tau_0|$, а $m = |\tau_0 - (\lambda^{ins} \cup \lambda^{del})|$.

Выводы. Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что исследования не рассматривают формальную сторону проблемы, позволяющую выстроить единую концепцию совместного использования БД при локальной независимости информационных систем. При этом существующие решения не позволяют осуществить эффективную интеграцию гетерогенных ИС.

Средства, определяющие корректность модификации данных при интеграции БД выражаются в виде ограничений, накладываемых на значения, допустимые в некотором состоянии БД. При модификации структуры данных предлагается сохранить начальные ограничения или так их изменить, чтобы не противоречить семантике данных.

Таким образом, в статье исследованы и решены следующие задачи. Введено понятие близости состояний БД. Определен оператор, который по исходному состоянию БД и запросу на обновление вычисляет новое состояние, удовлетворяющее ограничениям целостности и являющееся ближайшим к исходному состоянию. Сформулирована и доказана теорема, подтверждающая совместность выполняемых модификаций с заданными

ограничениями целостности. То есть, определено, что для заданного множества ограничений в некотором состоянии БД область значений оператора перехода совпадает с множеством информационных объектов нового состояния.

Для построения алгоритма поиска множества допустимых состояний сформулированы условия существования неподвижной точки для модифицированных информационных объектов, совместных с ограничениями целостности. Доказана корректность построения перехода состояний и показано, что алгоритм выполняется за полиномиальное время. Построен алгоритм нахождения полного множества возможных состояний БД при выполнении операций модификации данных.

Полученные результаты подтверждают адекватность предлагаемых методов и алгоритмов и могут быть использованы при усовершенствовании технологий дедуктивных БД для организации доступа к реляционным БД, а также реализации методов представления интенционала БД для процедур вывода результатов запроса средствами реляционных системы управления данными.

Дальнейшие исследования в рассматриваемой области необходимо сконцентрировать на вопросах организации запросов в системах БД с неоднородной структурой, выбора формализованных средств описания и манипулирования данными, а также разработке методов построения и поддержки эквивалентных запросов для гетерогенных информационных систем и распределенных неоднородных баз данных.

Список литературы: 1. Таненбаум Э. С. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. С. Таненбаум, М. Ван Стеен – СПб. : Питер, 2003. – 877 с. 2. Фридл Дж. Регулярные выражения / Дж. Фридл – СПб. : Питер, 2003. – 464 с. 3. Мейер Д. Теория реляционных баз данных / Д. Мейер. – М. : Мир, 1987. – 608 с. 4. Горчинская О. Ю. Разложение отношений и логическое проектирование реляционных баз данных / О. Ю. Горчинская, С. В. Петров // Автоматика и телемеханика. – 1983. – № 2. – С. 159–166. 5. Калинин Л. А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных / Л. А. Калинин. – М. : Наука, 1983. – 424 с. 6. Кузнецов С. Д. Методы оптимизации выполнения запросов в реляционных СУБД / С. Д. Кузнецов // Итоги науки и техники. Вычислительные науки. – 1989. – Т. 1. – С. 76–153. 7. Тянянский С. С. Модель поддержки целостности в интегрированных базах данных неоднородной структуры / С. С. Тянянский // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2004. – № 1(19). – С. 230–235. 8. Тянянский С. С. Модификация ограничений на ведение данных для обеспечения целостности крупномасштабных информационных систем / С. С. Тянянский, В. В. Тулунов, Д. А. Руденко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2006. – № 23. – С. 137–144. 9. Тянянский С. С. Поддержка логической целостности в задачах преобразовании структур баз данных / С. С. Тянянский // Вестник Херсонского Национального технического университета. – 2010. – № 2(38). – С. 227–231. 10. Тянянский С. С. Характеристические свойства объектов информационных систем / С. С. Тянянский // Искусственный интеллект. – Научный журнал. – Институт проблем искусственного интеллекта. – Донецк – 2007. – № 1. – С. 78–89.

Надійшла до редколегії 05.12.2012

Р. О. ГАМЗАЄВ, мол.н.с. каф. «АСУ», НТУ «ХПІ»;
М. В. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф., каф. «АСУ», НТУ «ХПІ»

МОДЕЛЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АДАПТИВНОЇ МАТРИЦІ ТРАСУВАННЯ ВИМОГ У ГНУЧКИХ ПРОЦЕСАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуто деякі особливості управління вимогами в гнучких процесах розробки програмного забезпечення (ПЗ) та обґрунтована актуальність проблеми розробки відповідних засобів трасування вимог для забезпечення ефективності їх реалізації. Запропоновано підхід на основі застосування алгоритмічної моделі процесу побудови адаптивної матриці трасування вимог і інформаційної технології накопичення та опрацювання даних щодо вимог, проектних артефактів та виконавців проекту, що взаємодіють в ітераційному процесі розробки ПЗ.

Ключові слова: програмне забезпечення, адаптивна розробка, трасування вимог, функція ступеню інтересу

Рассмотрены некоторые особенности управления требованиями в гибких процессах разработки программного обеспечения (ПО) и обоснована актуальность проблемы разработки соответствующих средств трассировки требований для обеспечения эффективности их реализации. Предложен подход на основе использования алгоритмической модели процесса построения адаптивной матрицы трассировки требований и информационной технологии сбора и обработки данных о требованиях, проектных артефактах и об исполнителях проекта, которые взаимодействуют в итерационном процессе разработки ПО.

Ключевые слова: программное обеспечение, адаптивная разработка, трассировка требований, функция степени интереса

Some features of requirements management in agile software development are considered, and problem actuality to elaborate respective requirements traceability tools for their effective implementation is defined. An approach is proposed, which is based on an algorithm-centered model to build adaptive traceability matrix and on usage of information technology to collect and to process data related to requirements, project artifacts and project's stakeholders participated in iterative software development.

Keywords: software, adaptive software development, requirements traceability, degree of interest function

1. Актуальність проблеми створення модельно-технологічного інструментарію для гнучких процесів розробки програмного забезпечення. Мета дослідження. На сучасному етапі розвитку індустрії програмної інженерії вже фактично є доведеними на практиці переваги гнучких (agile) підходів до розробки програмного забезпечення (ПЗ), до яких належать Scrum, Extreme Programming (XP), Adaptive Software Development (ASD), Feature Driven Development (FDD), Dynamic Systems Development Method (DSDM), Kanban Software Development, Lean Software Development, та деякі інші [1].

Головною причиною такого поширення agile-підходів є невідповідність традиційних методологій розробки ПЗ, таких, як, наприклад, каскадна та

спіральна, або, за висловом Дж. Хайсмита (J. Neighsmith), так званих “монументальних” методологій [2], такими новими чинникам сучасних процесів розробки ПЗ як

- постійне зростання складності, змінюваності та непередбачуваності вимог замовників щодо ПЗ, особливо в таких сферах як розробка Web-застосувань, вбудованих програмні системи (embedded software system), мобільні програмні комплекси (mobile software) та деякі ін.,
- поява «швидких» інструментальних засобів розробки (Rapid Application Development – RAD), які поєднують в собі як можливості безпосередньої розробки програмного коду, так і певні функції управління вимогами та завданнями, що виконуються окремими розробниками проекту (див., напр., в [3–4]).

Спроби вирішити ці проблеми шляхом безпосереднього застосування в програмній інженерії методів проектування та реалізації складних технічних систем виявилися неефективними [2], тому що процес розробки ПЗ є менш формалізованими, із присутністю великого впливу людського чиннику. Все це й викликало потребу в появі саме гнучких методологій проектування ПЗ, основі загальні принципи яких містить документ “The Manifesto for Agile Software Development” [2], який було опубліковано міжнародним співтовариством розробників ПЗ. В ньому міститься 12 базових ознак agile-підходів, серед яких, зокрема, є наступні:

- коректно спроектована та працююча програмна система (ПС) є більш важливою, ніж наявність повного комплексу її документації;
- адекватна та швидка реакція на зміни вимог користувачів важливіше, ніж жорстке виконання попередньо визначеного плану розробки ПС,
- постійне співробітництво проектної групи із замовниками ПС є важливішим, ніж формальне виконання календарного плану проекту;
- особисті професійні якості розробників (тобто їх знання та досвід) та ступінь ефективності організації їх взаємодії є більш важливим чинником успіху виконання проекту, ніж самі технологічні процеси та засоби розробки ПЗ, та ряд інших положень.

Незважаючи на загальну більшу, у порівнянні із іншими, ефективність гнучких методологій, однією із найбільш складних та витратних задач в них залишається управління вимогами (requirements management). Для підвищення ефективності цього процесу застосовуються різні моделі та технології (див., в [3–6]), серед яких досить значне місце займає трасування вимог (requirements traceability), яка, згідно визначення проф. К. Л. Лаврищевої [6], є “... невід’ємною складовою процесу управління вимогами... для відстежування правильності визначення та реалізації вимог

до системи ... і зворотний процес відстежування від отриманого програмного продукту до вимог”.

Вочевидь, що трасування вимог у гнучких процесах розробки ПЗ має бути також таким, що враховує їх особливості та, в кінцевому рахунку, має сприяти підвищенню ефективності їх застосування, зокрема, шляхом зменшення трудомісткості та скорочення часу, що є необхідним для виконання процедури трасування вимог. Тому метою цього дослідження є розробка моделей та технологічних засобів, які можуть забезпечити вирішення цих задач.

2. Деякі існуючі підходи до трасування вимог та їх особливості в сучасних процесах розробки програмного забезпечення. В семантичному плані трасування є тим чи іншим видом відображення множини вимог у відповідну множину проектних артефактів (фрагментів коду, моделей даних, елементів графічного інтерфейсу та ін.). Традиційно для формалізації цього процесу використовується поняття матриці трасування (*Traceability Matrix – TM*) [7], яка розглядається як відношення

$$TM : (R \times F \rightarrow \{0,1\}) \quad (1)$$

де R – це множина вимог;

F – множина програмних артефактів.

Такий підхід дозволяє лише визначити підмножину тих артефактів, що пов’язані з певними вимогами, із застосуванням бінарних значень: “0” – “зв’язок є”, “1” – “зв’язку немає”, але при цьому не враховує питому вагу або важливість того чи іншого артефакту у проекті, і він був типовим для традиційних методологій розробки ПЗ (див. розділ 1). В роботі [8] проаналізовані деякі інші варіанти побудови TM , а також альтернативні технології трасування вимог, такі, як, наприклад, використання асоціативних правил (*association rules mining*) та патернів трасування (*traceability patterns*). Також зроблено висновок щодо доцільності побудови так званої розвинутої TM (*Advanced Traceability Matrix – ATM*), яка на відміну від виразу (1), подається у наступному вигляді

$$ATM : (R \times F \rightarrow [0,1]) \quad (2)$$

Тобто елементи цієї матриці відображають зв’язок певного проектного артефакту із кожною з вимог до ПЗ шляхом подання відповідного дійсного числа, що належить до закритого інтервалу їх значень $[0,1]$.

Для обчислення елементів матриці (2) в [8] пропонується застосовувати кількісні значення відповідної функції ступеня інтересу (*Degree-Of-Interest – DOI*) розробника ПЗ (див. в [9]), яка в загальному випадку може бути визначена як:

$$DOI(a_i) = \sum_{j=1}^N (e_j^{a_i}) \cdot k_j \quad (3)$$

де: $a_i \in A$, A – множина артефактів проекту; $e_j \in E$, E – множина подій в процесі розробки; $k_j \in K$, K – множина вагових коефіцієнтів для кожної події (визначається експертним шляхом).

Це, в свою чергу, дозволяє реалізувати у відповідному інструментальному середовищі так званий сфокусований інтерфейс розробника завдань (*task-focused developer’s interface*), які мають бути виконані для реалізації вимог щодо кінцевого програмного продукту, тобто: в інтерфейсі розробника проекту (наприклад, в середовищі Eclipse – див. його приклад на рис. 1) будуть відображені тільки ті файли проекту, що мають ступень інтересу вищий за певне значення DOI, яке може бути визначена евристичним шляхом.

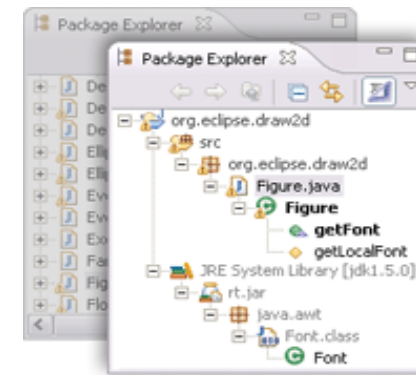


Рис. 1 – Приклад сфокусованого інтерфейсу розробника ПЗ у середовищі Eclipse

На технологічному рівні застосування моделі DOI передбачає наявність відповідних програмних засобів, таких, як наприклад, Eclipse Mylyn, огляд деяких з них також наведено в роботі [8].

Запропонований підхід дозволяє, в цілому, отримати значення елементів матриці ATM згідно виразу (2), але при цьому він не враховує таких досить важливих особливостей гнучких процесів розробки ПЗ як:

- (а) ітеративний характер усього процесу, причому саме із збільшенням числа ітерацій проекту уточнюються вимоги користувачів щодо кінцевого програмного продукту;
- (б) наявність в групі розробників різних за видами діяльності осіб, наприклад: адміністратор баз даних (*database admin*), програміст застосувань (*developer*), дизайнер інтерфейсу користувача (*user interface designer*) тощо, які: по-перше, можуть змінювати свої ролі

(робочі профілі) і, по-друге, мають різні вагові коефіцієнти відносно ступеню свого інтересу до вимог та відповідних артефактів проекту.

Розглянемо в подальшому один із можливих підходів до побудови так званої адаптивної матриці трасування вимог (*ADaptive Traceability Matrix – ADTM*), значення елементів якої, на відміну від елементів матриці *ATM* із виразу (2), мають враховувати як саму наявність додаткових чинників впливу (а)–(б) так і можливість їх поточних змін при виконанні певного проекту по розробці ПЗ за однією з гнучких методологій (див. розділ 1).

3. Алгоритмічна модель процесу побудови адаптивної матриці трасування вимог Запропонований нижче підхід спирається на основні результати, отримані в роботі [8] та узагальнює їх шляхом розробки *алгоритмічної моделі* (див., напр., в [10]) процесу побудови матриці *ADTM*. У формалізованому вигляді ця модель *AM* може бути подана у вигляді наступного кортежу

$$AM = \langle InfBase, ToM, Workflow(ADTM) \rangle, \quad (4)$$

де *InfBase* – інформаційний базис моделі, *ToM* (Time-oriented Metric) – час-орієнтована метрика для визначення ступеню інтересу розробника щодо певного проектного артефакту, *Workflow(ADTM)* – алгоритм побудови матриці *ADTM*.

Інформаційний базис моделі *AM* визначається кортежем множин

$$InfBase = \langle D, R, F, S, P \rangle, \quad (5)$$

де $D = \{d_i\}, i = \overline{1, I}, I = |D|$ – множина розробників проекту;

$R = \{r_j\}, j = \overline{1, J}, J = |R|$ – множина вимог до ПС;

$F = \{f_k\}, k = \overline{1, K}, K = |F|$ – множина файлів або артефактів проекту,

$S = \{s_l\}, l = \overline{1, L}, L = |S|$ – множина проектних сесій (ітерацій);

$P = \{p_m\}, p = \overline{1, M}, M = |P|$ – множина робочих профілів, або ролей розробників ПС у проекті.

Слід зауважити, що під метрикою *ToM* у виразі (4) мається на увазі саме метрика програмного забезпечення (software metrics), тобто певна міра, що дозволяє отримати чисельні значення деякої властивості програмного продукту або його специфікації (див., напр., в [6]). Один із найпростіших, але в той же час досить логічно-обґрунтованих, спосіб визначити таку метрику для оцінки питомої ваги окремих елементів матриці *ADTM* полягає в тому, щоб взяти до уваги те, що певні файли (проектні артефакти) вимагають більше часу при роботі над ними, коли мають бути реалізовані відповідні вимоги до ПС. Така час-орієнтована метрика дозволяє відрізнити такі дії розробників ПС, що вносять лише невеликі (“косметичні”) проектні зміни від

тих, що забезпечують значну проектну доробку. Графічно це ілюструє часова діаграма, що наведена на рис. 2.

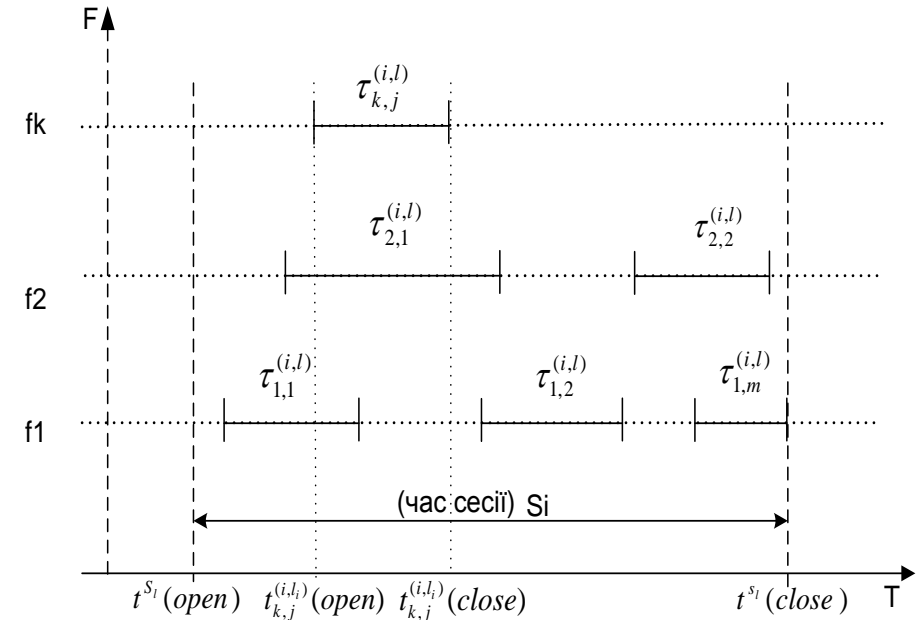


Рис. 2 – Час-орієнтована метрика ступеню інтересу (графічна інтерпретація)

Виходячи з діаграми на рис. 2, кількісно ступень інтересу певного розробника проекту до окремого файлу при реалізації відповідної вимоги може бути розраховано з використанням наступного виразу:

$$\tau_{k,j}^{(i,l)} = \frac{t_{k,j}^{(i,l)}(close) - t_{k,j}^{(i,l)}(open)}{t^{S_i}(close) - t^{S_i}(open)} \quad (6)$$

де $\tau_{k,j}^{(i,l)}$ – інтервал часу виконання розробником $d_i \in D$ проекту відповідних дій над k -м файлом $f_k \in F$ під час реалізації вимоги $r_j \in R$ протягом сесії $s_l \in S$; $t_{k,j}^{(i,l)}(open)$ – момент часу початку роботи над j -ю вимогою i -м розробником; $t_{k,j}^{(i,l)}(close)$ – момент часу для закінчення роботи над j -ю вимогою i -м розробником; $t^{S_i}(close)$ – час закінчення li - проектної сесії; $t^{S_i}(open)$ – час початку li - сесії.

Таким чином, метрика ToM із виразу (4), в кінцевому рахунку, є множиною значень, отриманих за допомогою формули (6), а саме:

$$ToM = \{\tau_{k,j}^{(i,l)}\}, \quad (7)$$

де визначення відповідних індексних змінних вже були наведені у поясненнях до виразу (5).

Слід зазначити, що метрика (7) також має певні недоліки, а саме: вона не працює у ситуації, коли деякі проектні файли були активовані розробником, але при цьому корисна робота над ними не здійснювалась. Але, з огляду на її логічну обґрунтованість та можливість практичного обчислення, пропонується використовувати саме її для принципової перевірки працездатності запропонованого підходу.

Безпосередньо, сам алгоритм $Workflow(ADTM)$ із виразу (4), який на підставі інформаційного базису (5) із використанням метрики (7) забезпечує побудову матриці $ADTM$, виконується у наступний спосіб:

Крок 1. Для кожного розробника $\forall d_i \in D$, що приймає участь в проекті, будується його локальна матриця $ADTM_{ijk} = \|\tau_{i,j,k,l}\| \cdot \gamma$, де $\gamma = \{\gamma_l\}_{l=1}^L$, $\gamma_l = \frac{1}{L}$, $l = \overline{1, L}$, елементи якої розраховуються за формулою:

$$\tau_{j,k}^{(i)} = \frac{\sum_{l=1}^{|S|} (\tau_{j,k}^{(i)})_l}{|S|}. \quad (8)$$

Крок 2. На підставі локальних агрегованих локальних матриць всіх розробників, шляхом осереднення значень їх елементів будується агрегована сумарна матриця $ADTM_{jk} = \|\tau_{i,j,k,l}\| \cdot \lambda$, де $\lambda = \{\lambda_i\}_{i=1}^I$, $\lambda = \{\lambda_i\}_{i=1}^I$, $i = \overline{1, I}$, коефіцієнти якої можуть бути обчислені за формулою

$$\hat{\tau}_{k,j} = \frac{\sum_{i=1}^{|D|} \tau_{k,j}^{(i)}}{|D|}. \quad (9)$$

Крок 3. Відповідно до множини можливих робочих профілей учасників проекту $P = \{p_m\}$, із отриманої на попередньому етапі колекції матриць відбираються їх окремі підмножини: $D = D(p_1) \cup D(p_2) \cup \dots \cup D(p_m)$, та на підставі цього будуються окремі локальні агреговані матриці для кожного профілю розробника ПЗ.

$$ADTM_{k,j,D(p_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{|D(p_i)|} (ADTM[F, R, D(p_i)])_j}{|D(p_i)|}. \quad (10)$$

При цьому для спрощення моделі зроблено припущення, що кожний розробник може належить тільки до однієї групи робочих профілей, тобто: $D(p_i) \cap D(p_j) = \emptyset$.

Крок 4. На підставі отриманих на попередніх кроках результатів, із урахуванням того, що в процесі розробки ПЗ за технологією Scrum один і той же виконавець проекту може змінювати свої робочі профілі, тобто мати різну ступінь інтересу до певних артефактів, остаточно значення елементів матриці $ADTM$ знаходяться за наступною формулою

$$ADTM'_{j,k,D(\bar{p}_i)} = \frac{ADTM_{j,k,D(\bar{p}_i)} \cdot K_{role} + ADTM_{j,k,l}}{K_{role} + 1}. \quad (11)$$

Таким чином, в результаті виконання алгоритму, визначеного за формулами (8)–(11), побудовано адаптивну матрицю трасування вимог $ADTM$, елементи якої обчислюються за формулою (11), що враховує вплив чинників (а)–(б) (див. розділ 2) на особливості опрацювання вимог та відповідних проектних артефактів у гнучкому процесі розробки ПЗ.

4. Інформаційна технологія для реалізації та застосування адаптивної матриці трасування вимог. Для реалізації розробленої у попередньому розділі алгоритмічної моделі побудови адаптивної матриці трасування вимог пропонується відповідна інформаційна технологія, концептуальна схема якої наведена на рис. 3 в нотатції IDEF0 (див., напр., в [3]).

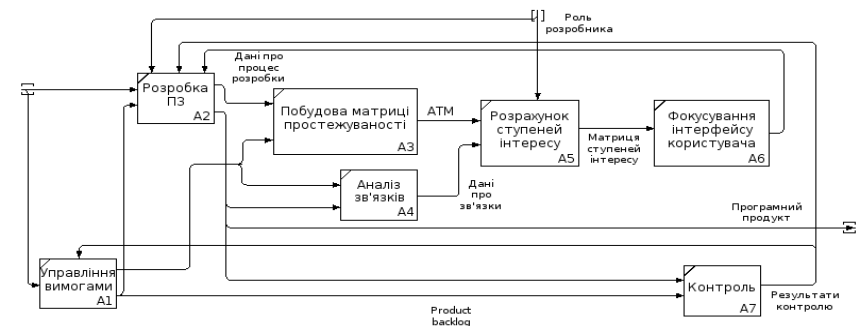


Рис. 3 – Схема інформаційної технології трасування вимог (IDFX0)

Для програмної реалізації цієї технології пропонується інтегрований CASE-засіб, який поєднує в собі функціональні можливості

інструментального середовища Eclipse IDE, системи управління вимогами (це компонент Issue Tracker) та розробленої підсистеми ReqMIT, яка імплементує запропонований у розділі 3 алгоритм побудови матриці ADTM. На рис. 4 показана компонентна програмна архітектура цього CASE-засобу в нотатції UML 2.0.

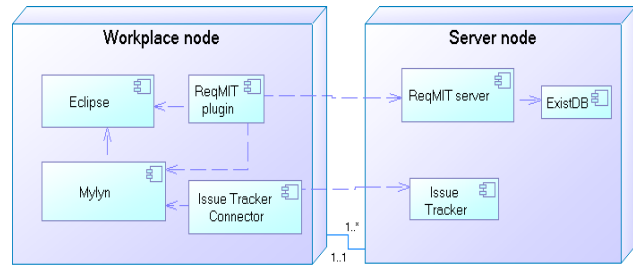


Рис. 4 – Компонентна архітектура інтегрованого CASE-засобу

Клієнтській компонент *ReqMIT_plugin* використовується для побудови локальної матриці трасування для кожного розробника проекту, яка потім передається на сервер. Крім того, цей компонент, в залежності від ролі розробника та його проектного інтерфейсу, фокусує останній саме на тих артефактах, які є релевантними для роботи з відповідними вимогами. Серверний компонент *ReqMIT_server* використовується для зберігання даних щодо вимог, прив'язки вимог до завдань, а також обчислює ступінь інтересу розробника до відповідних проектних артефактів.

Запропонована модель побудови адаптивної матриці трасування та відповідна інформаційна технологія, що забезпечує можливість реалізації сфокусованого інтерфейсу розробника, можуть бути застосовані в загальній схемі автоматизованого управління гнучкою розробкою ПЗ із застосуванням методології Scrum, яка представлена на рис. 5.

У ній, додатково та у контексті двох вже існуючих та добре апробованих на практиці *організаційних циклів* виконання Scrum-проекту, а саме:

- цикл побудови загального каталогу вимог щодо програмного продукту (*Product Backlog – PB*) та його подальшого опрацювання шляхом формування каталогу вимог для однієї проектної ітерації або одного спринту (*sprint*) у термінології Scrum (*Sprint Backlog – SB*). Тривалість такого спринту часто сягає від двох до чотирьох тижнів в залежності від типу проекту;
- цикл виконання послідовності щоденних завдань, які є необхідними в рамках однієї проектної ітерації.

Ведено 2 нових технологічних контури управління із зворотним зв'язком, а саме

- контур управління процедурами пріоритизації та оцінки якості вимог (*requirements priority and quality estimation*), що уможливорює

формування так званого динамічного каталогу вимог *PB*, загальна процедура для реалізації цих методів представлена в [11];

- контур управління трасуванням вимог у процесі безпосереднього програмування (виконання завдань проекту), з метою забезпечення ефекту сфокусованого інтерфейсу розробника ПЗ із застосуванням запропонованої адаптивної матриці трасування *ADTM*.

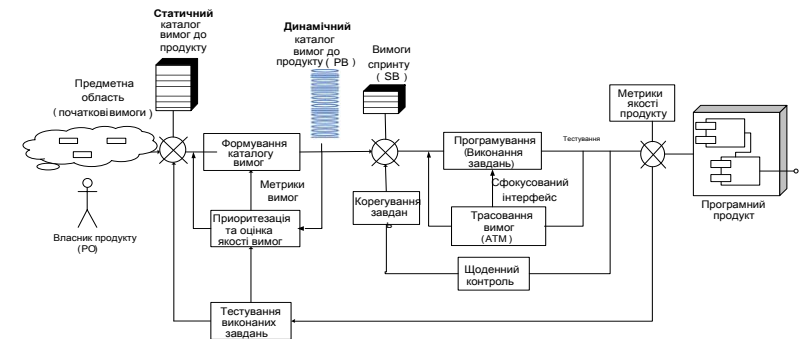


Рис. 5 – Схема автоматизованого управління гнучким процесом розробки ПЗ

Результатом функціонування цієї схеми є програмний продукт, який має задовольняти певним значенням метрик якості ПЗ (див. рис. 5). Запропонована схема управління виконанням Scrum-проекту дозволяє застосовувати знання-орієнтовані методи розробки ПЗ, тобто такі, що накопичують і використовують в подальшому для прийняття проектних рішень кількісні оцінки щодо стану виконання окремих етапів проекту та якості отриманих при цьому результатів. Тестування цього підходу, повний опис методики проведення якого та отримані при цьому результати наведено в [8], підтвердило його ефективність, зокрема для цього використовувалися такі показники як точність (*precision*) та повнота (*recall*) [12] при визначенні зв'язків між вимогами та проектними артефактами в процесі трасування.

Точність p – це відсоток коректно визначених взаємозв'язків між вимогами та артефактами із загальної кількості знайдених, тоді як повнота r – це відсоток визначених взаємозв'язків, із загальної їх кількості, які дійсно були імплементовані в проекті. Ці значення можуть бути обчислені у наступний спосіб:

$$p = \frac{tp}{tp + fp} \quad , \quad r = \frac{tp}{tp + fn} \quad , \quad (12)$$

де tp – істинно позитивні, розглядаються як цікаві і що використовуються;
 fp – хибно позитивні, розглядаються як цікаві, але не використовуються;
 fn – хибно негативні, розглядаються як не цікаві, але використовуються.

Середні значення цих показників склали відповідно 0.43 та 0.61, що є цілком прийнятним для позитивної оцінки працездатності запропонованого підходу.

5. Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, у даній статті розглянуті деякі особливості управління вимогами в гнучких методологіях розробки ПЗ та запропоновано новий підхід до розробки відповідних засобів трасування вимог з метою забезпечення підвищення ефективності цього процесу. Цей підхід базується на застосуванні алгоритмічної моделі для побудови адаптивної матриці трасування вимог та інформаційній технології накопичення та опрацювання даних щодо вимог, проектних артефактів та виконавців проекту, які взаємодіють в ітераційному процесі розробки ПЗ за гнучкою методологією Scrum.

Для розвитку цього підходу в подальшому планується розробити моделі та експериментально дослідити ефективність застосування інших (у порівнянні із час-орієнтованими) метрик визначення ступеню інтересу розробника ПЗ у контексті запропонованої адаптивної моделі трасування вимог.

Список літератури: 1. Амблер С. Гибкие технологии: экстремальное программирование и унифицированный процесс разработки. / С. Амблер. – СПб.: Питер, 2005. – 412 с. 2. Highsmith J. Agile Project Management. / Highsmith J. – Addison-Wesley, 2004 – 277 p. 3. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. : пер. с англ. / И. Соммервилл. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2002. – 624 с. 4. Коваль Г. І. Удосконалення процесу розробки сімейств програмних систем елементами гнучких технологій / Г. І. Коваль, А. Л. Колесник, К. М. Лаврішчева // Проблеми програмування. – К.: НАН України. – 2010. – № 2–3 (спец. випуск). – С. 261–270. 5. Вугерс К. Разработка требований к программному обеспечению.– М. ИТД «Русская редакция», 2004. – 576 с. 6. Електронний підручник “Програма інженерія” Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка – <http://www.programsfactory.univ.kiev.ua/content/books/2> – переглянута 03.09.2012 7. Ramesh B. Toward Reference Model for Requirements Traceability / Ramesh B., Jarke M. // IEEE Transactions on Software Engineering, 2001, 27(1), pp. 58–93. 8. Tkachuk M. V. Models and Tools for Effectiveness Increasing of Requirements Traceability in Agile Software Development / Tkachuk M. V., Gamzayev R. O., Mayr H. C., Bolshutkin V. O. // Проблеми програмування. – К.: НАН України. – 2012. – № 2–3 (спец. випуск). – С. 252 – 260. 9. Kersten M. Mylar: a Degree-of-Interest Model for IDEs / Kersten, M., Murphy, G. C. // Proceedings of AOSD’05, New York, USA, 2005, pp. 159–168. 10. Сергиенко А. М. Алгоритмические модели обработки потоков данных / А. М. Сергиенко, В. П. Симоненко // Электронное моделирование. – 2008 – Т. 30, №6. – С. 49–60. 11. Ткачук Н. В. Процедура построения динамического каталога требований при разработке программного обеспечения по методологии Scrum / Ткачук Н. В., Гнатенко М. Г., Гамзаев Р. А. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: Тези доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції, Ч. I (15–17 травня 2012р., Харків). / за ред. проф. Товажнянського Л. Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 30. 12. David L. Olson, Advanced Data Mining Techniques / David L. Olson // Springer, 2008. – 180 p.

Надійшла до редколегії 07.12.2012

УДК 519.876

В. В. БЕСКОРОВАЙНИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков;
Е. В. СОБОЛЕВА, асп. ХНУРЭ, Харьков

КОМПОЗИЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Работу посвящено развитию методологических основ системного проектирования территориально распределенных объектов. Набули подальшого розвитку формальні подання понять «система», «территориально розподілена система». Розроблено композиційну модель динамічної розподіленої задачі структурного синтезу територіально розосереджених систем. Удосконалено технологію розв’язання задач структурного синтезу об’єктів з використанням процедур моделювання системної динаміки.

Ключові слова: система, територіально розподілена система, принципи організації, класифікація, структурний синтез, моделювання, системна динаміка.

Работа посвящена развитию методологических основ проектирования территориально распределенных объектов. Нашли дальнейшее развитие формальные представления понятий «система», «территориально распределенная система». Разработана композиционная модель динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных систем. Усовершенствована технология решения задач структурного синтеза объектов с использованием процедур моделирования системной динамики.

Ключевые слова: система, территориально распределенная система, принципы организации, классификация, структурный синтез, моделирование, системная динамика.

This work is devoted to methodological bases of distributed object’s design. There are revised terms “system”, “geographically distributed system”. It’s presented a compositional model of dynamic distributed problem of distributed system’s structural synthesis. It’s improved the solving technology of object’s structural synthesis problem by using system dynamics simulation procedures.

Keywords: system, geographically distributed system, principles of organization, classification, structural synthesis, simulation, system dynamic.

Введение. Современные территориально распределенные объекты мониторинга, транспорта, связи, производства и сбыта товаров, как правило, состоят из большого количества элементов со сложной схемой взаимосвязей между ними. Создание для них единого формального описания в процессах их структурного синтеза является достаточно сложной задачей [1, 2]. Традиционно проблема структурного синтеза систем рассматривается состоящей из совокупности не полностью определенных задач проектирования, для которых не сконструированы схемы проектирования и не синтезированы модели проектирования, что позволяет отнести их к числу слабоструктурированных [3–5]. В процессе решения проблем синтеза подобных объектов производится их декомпозиция на задачи нескольких иерархических уровней [6, 7]. Однако в задачах нижних уровней не удается учесть все системные свойства сложных объектов, представленные на

© В. В. Безкоровайний, О. В. Соболева, 2013

верхних уровнях иерархии. Во избежание недопустимых упрощений в постановках задач нижних уровней требуется дальнейшее развитие методологии системного синтеза подобных объектов, в частности, путем дополнения применяемого в системологии декомпозиционного подхода формальными методами композиции.

Современные подходы к проектированию, созданию и управлению подобными объектами на основе технологий автоматизированного проектирования, управления проектами и планирования развития предусматривают возможность участия в таких процессах групп территориально удаленных исполнителей (организаций). С учетом этого задачи системного синтеза, в процессе решения которых во времени необходимо учитывать топологию материальных, трудовых, вычислительных и информационных ресурсов следует рассматривать в качестве динамических распределенных.

Объект исследования – задача синтеза территориально распределенных объектов.

Предмет исследования – формализация общей задачи синтеза территориально распределенных объектов.

Целью работы является разработка композиционной модели динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных объектов.

Формальное представление понятия «система». В зависимости от целей анализа и уровня абстрагирования известны различные определения понятия «система». Наиболее общим является его теоретико-множественное описание, дающее определение системы как «множества взаимосвязанных элементов». Формально система представляется посредством минимально необходимой пары множеств элементов и их связей:

$$s = \langle E, R \rangle, \quad (1)$$

где s – система (структура); E – множество элементов; R – множество отношений между элементами.

При этом в рамках системотехнического подхода лишь вербально формулируется постулат: система есть нечто большее, чем просто множество взаимосвязанных элементов – «нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной связи частей» [8].

Понятие «система» часто употребляется вместе с понятием «структура», которое также определяется через множество взаимодействующих элементов. Причем, по толкованию, система обладает свойством целостности, а структура отражает строение чего-либо, обладающего или не обладающего таким свойством.

В дальнейшем будем использовать следующую иерархию определений:

– множество элементов – это среда;

– множество взаимодействующих элементов, не обладающее свойством целостности – это структура;

– множество взаимодействующих элементов, обладающее свойством целостности – это система.

С учетом этого будем считать, что: определение понятия «система» неразрывно связано с необходимостью определения понятия «целое»; категория целостности определяется степенью взаимодействия множества элементов; необходимое и достаточное условие целостности – это наличие пространственно-временных границ взаимодействия какого-либо рода на множестве элементов.

Таким образом, гносеологическое описание понятия «система» является следующим: путем разделения среды на внешнюю среду (в сложных случаях – структуру) и внутреннюю структуру, т.е. посредством объективизации границ структур в среде организуются целостные объекты – системы.

Относительно объективно ограниченного взаимодействия элементы системы являются однородными, а элементы окружающей среды – разнородными. При этом степень целостности напрямую зависит от устойчивости границ и может быть оценена разностью энтропий внешней среды и системы. Заметим, что если энтропия системы равна энтропии внешней среды, то объект, формализуемый как система, вероятнее всего, не целостен, и необходимо пересмотреть множество его элементов, связей, видов взаимодействия, иначе будут упущены важные системные свойства. Степень целостности – динамически изменяемая величина: до тех пор, пока энтропия системы константна, система остается полной (относительно исходных множеств элементов, связей и видов взаимодействий); и до тех пор, пока энтропия внешней среды не достигает значения энтропии системы, она остается целой.

Выявленные наблюдателем взаимодействия элементов системы, могут быть формализованы, и на завершающей стадии познания – сформулированы в виде законов или принципов организации. Разделим принципы организации на следующие категории:

– принципы организации сред;

– принципы организации целостности.

Принципы организации сред отображают сущность структур, назовем их структурообразующими (они составляют предмет исследований различных наук). Они могут быть представлены как отображение множества элементов среды на множество связей.

Принципы организации целостности отображают сущность различий принципов организации внешней среды и системы, фактически, обозначая область существования границ между внешней и внутренней средами. Систему можно рассматривать как высокоорганизованную среду. Принципы организации целостности актуальны на стыках научного знания, они являются предметом изучения, в частности, для метафизических

исследований отдельных отраслей естествознания и, в общем, для философии. Такие принципы организации назовем системообразующими.

По степени сложности организации целого выделим три системообразующих принципа, соответствующих системам, обладающих следующими свойствами:

– единство организующих причин (при наличии обозначенных границ им может обладать любой набор совместно взятых элементов);

– единство в осуществлении действий (проявляет набор элементов, осуществляющих хотя бы одно совместное действие);

– единство целей организации (организует систему из набора элементов, осуществляющих действия для достижения хотя бы одной совместной цели (здесь «цель» – некоторый сформулированный результат действия).

Таким образом, выражение (1) подходит исключительно для формализации структур. Малоизученную систему целесообразно представлять в виде:

$$S = \langle E, R, \bar{s} \rangle, \quad (2)$$

где S – система; E – множество элементов; R – множество отношений между элементами; \bar{s} – внешняя среда (или структура);

В этом случае принцип системной организации задан неявно в виде обозначения границ существования системы и внешней среды.

Система, для которой явно сформулированы принципы организации целостности, может быть представлена следующим образом:

$$S = O_{\pi}(E, R), \quad (3)$$

где O_{π} – оператор организации целостности в соответствии с принципами π .

Таким образом, принципы системной организации могут быть заданы явно в виде оператора организации O_{π} , либо неявно в виде обозначения внешней среды. Очевидно, что в случаях, когда внешняя среда отсутствует или ею можно пренебречь, для описания системы в виде (2) достаточно описания структуры в виде (1). Однако, именно в случае явного задания O_{π} , как в (3), можно говорить о полноте знаний о системе и пределах ее существования, т.е. о ее целостности.

На наш взгляд, принципы организации также могут быть сформулированы таким образом, что для описания системы будет достаточно дополнить их либо только множеством элементов, либо только множеством связей: $S = O_{\pi}(E, R) = O_{\pi R}(E) = O_{\pi E}(R)$.

Оператор организации отражает свойство целостности системы – ее свойство представлять собой для наблюдателя или надсистемы одну элементарную единицу. Принципы организации исследуемой системы наблюдатель определяет субъективно. Оператор организации отражает те системные взаи-

мосвязи, которые поняты и интерпретированы наблюдателем при изучении системы либо задаются аналитиком при проектировании. В отличие от чего, множество отношений между элементами R отражает фактические, неинтерпретируемые (в силу ненужности, с целью упрощения формализации, либо из-за чрезмерной сложности) взаимосвязи системных элементов. Формальное отделение принципов системной организации от принципов структурной организации позволит выявлять в ходе системного анализа источники ошибочных суждений, а в ходе синтеза разделить зоны влияния и ответственности проектировщиков различных уровней иерархии.

Формальное описание территориально распределенной системы.

Для территориально распределенных объектов важнейшей составляющей является привязка элементов и их связей к территории (топологии). Поэтому в [7] предлагается включить топологию в теоретико-множественное описание территориально распределенной системы (TPC):

$$s = \langle E, R, G \rangle, G = \{G_E, G_R, G_A\}, \quad (4)$$

где G – топологическая реализация, определяемая кортежем топологии элементов G_E , топологии отношений (связей) G_R и топологии траекторий (перемещений информации, энергии, других ресурсов, определяемых алгоритмами A или технологией функционирования системы) G_A .

Топологию можно рассматривать в качестве аспекта реализации структур. Топологическую реализацию можно поставить в один ряд с технологической и параметрической реализациями, актуальность обособления которых зависит от ракурса исследования объекта.

Различные аспекты реализации (организации) – топология G , технология A , параметрическая организация B , по сути, представляют качественные характеристики системы. Их стоит отделить от формальной материи систем (характеристик формы) – множеств элементов и их отношений (рис. 1).

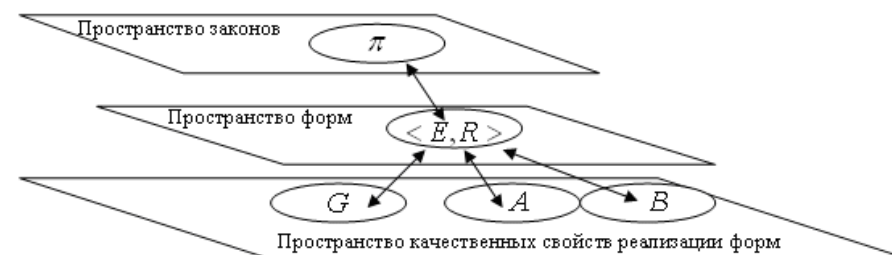


Рис. 1 – Схема взаимодействия пространств, формирующих систему

Принципы организации системы принадлежат пространству законов организации и познаваемы умозрительно (они являются продуктом мыслительной деятельности наблюдателя). Форма системы принадлежит естественным (материальным, энергетическим) пространствам взаимодействующих элементов и познаваема опытным путем. Топология, технология и параметры системы есть аспекты и характеристики организации форм, позволяющие представить вербально категориальное описание системы (они также являются результатом умозаключений наблюдателя).

Система может быть также отображена в пространства количественных характеристик (стоимостных, временных, устойчивости, живучести, эффективности), которые определяются мерами пространств.

TPC, как целостное взаимоотображение элементов трех указанных пространств (рис. 1), можно представить в следующем виде:

$$S = O_{\pi}(E_{ABG}, R_{ABG}), \quad (5)$$

где E_{ABG} – множество элементов, обладающих характеристиками, соответствующими технологии A , обладающих параметрами согласно B и территориально распределенных в соответствии с G ; R_{ABG} – множество отношений между элементами, реализованных технологически, параметрически, топологически в соответствии с A, B, G .

Множество свойств системы – это набор порождаемых ею характеристик $p(S) = p[O_{\pi}(E_{ABG}, R_{ABG})]$. И в первую очередь, свойства системы определяются принципами ее организации. Именно из этого следует возможность получения новых научных знаний (путем выявления общих принципов организации) на стыке совершенно разных наук, изучающих системные свойства объектов совершенно разных элементных базисов.

Формализация задачи структурного синтеза TPC. Проблема структурного синтеза крупномасштабных систем может быть представлена в виде метазадачи, состоящей из множества задач, относящихся к различным иерархическим уровням декомпозиции, с их взаимосвязями по исходным данным и результатам решения (рис. 2) [7].

В [7] предложено представление задач $Task$ уровня декомпозиции m в виде отображений множества их входных данных In во множество выходных данных Out :

$$Task_i^m : In_i^m \rightarrow Out_i^m, \begin{cases} m = 1, i = \overline{1,5}; \\ m = 2, i = \overline{1,6}. \end{cases} \quad (6)$$

Сохранив исходную номенклатуру задач [7], преобразуем их формальную запись в соответствии с предложенным формальным представлением TPC (5).

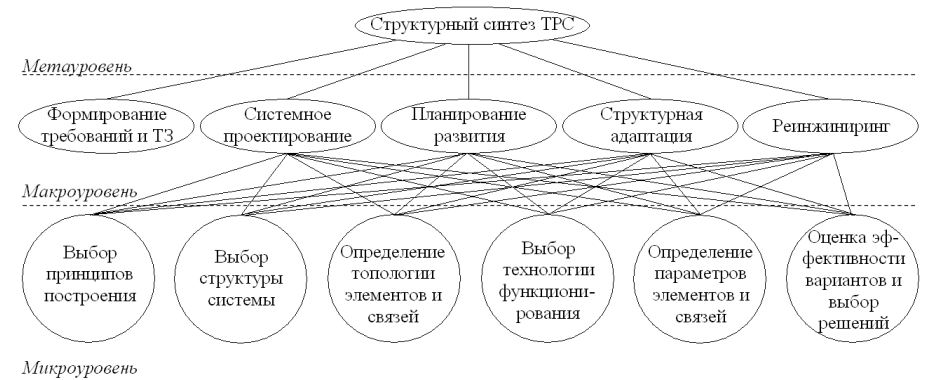


Рис. 2 – Схема декомпозиции проблемы структурного синтеза TPC

Задачи макроуровня ($m=1$). В связи с тем, что принципы функционирования π в соответствии с (5) заданы областью существования системы, задача формирования требований к системе и разработка технического задания на проектирование может быть представлена в виде [7]:

$$Task_1^1 : \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, \pi, S'\},$$

$$Task_1^1 : \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, S'\}, \quad (7)$$

где $ObjS$ (от *Object of Service*) – множество характеристик объектов, для обслуживания которых синтезируется система; Los (от *Loses*) – множество потерь, связанных с неудовлетворением спроса объектов из-за отсутствия TPC; Ben (от *Benefits*) – множество выгод от обслуживания объектов синтезируемой TPC; S^U – исходное множество вариантов построения TPC, которые могут быть заданы в виде (2); K – множество критериев для оценки и выбора вариантов построения TPC; Q^* – требуемый набор качеств системы; C^* – требуемый набор стоимостных характеристик; S' – область существования системы, заданная областью существования A', B', G' , а, следовательно, областью существования E'_{ABG} и R'_{ABG} .

Задача системного проектирования может быть представлена в виде [7]:

$$Task_2^1 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, \pi, S'\} \rightarrow \{S^o, K(S^o)\},$$

$$Task_2^1 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S'\} \rightarrow \{S^o = O_{\pi}(E_{ABG}^o, R_{ABG}^o), K(S^o)\}, \quad (8)$$

где S^o – эффективный вариант построения TPC; $K(S^o)$ – множество оценок критериев варианта построения TPC.

Задача планирования развития [7]:

$$Task_3^1 : \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S^o\} \rightarrow \{S_t^o, K(S_t^o)\},$$

$$Task_3^1 : \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S^o\} \rightarrow \{S_t^o = O_\pi[E_{ABG}^o(t), R_{ABG}^o(t)], K(S_t^o)\}, \quad (9)$$

где T – множество моментов времени, на котором должна быть задана функция развития ТРС S_t^o ; $ObjS_t$ – функция развития множества характеристик объектов, для обслуживания которых синтезируется система; Q_t^* – функция развития требуемого набора качеств ТРС; C_t^* – функция развития требуемого набора стоимостных характеристик.

Задача структурной адаптации может быть представлена в следующем виде [7]:

$$Task_4^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{S}^o, K(\tilde{S}^o)\},$$

$$Task_4^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{S}^o = O_\pi(\tilde{E}_{ABG}^o, \tilde{R}_{ABG}^o), K(\tilde{S}^o)\}, \quad (10)$$

где $Obj\tilde{S}$ – изменения множества характеристик обслуживаемых объектов; \tilde{Q}^* – изменения требуемого набора качеств ТРС; \tilde{C}^* – изменения требуемого набора стоимостных характеристик.

Задача реинжиниринга ТРС [9] может быть представлена в виде с явным обозначением возможности модернизации принципов организации [7]:

$$Task_5^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{S}^o, K(\tilde{S}^o)\},$$

$$Task_5^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{S}^o = \tilde{O}_\pi(\tilde{E}_{ABG}^o, \tilde{R}_{ABG}^o), K(\tilde{S}^o)\}, \quad (11)$$

где Δ_{ER} – допустимые пределы модернизации элементной базы, модернизации связей ТРС с допустимым изменением их стоимостных и функциональных характеристик.

Задачи микроуровня ($m=2$). Задача выбора принципов построения системы в соответствии с (5) [7]:

$$Task_1^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, \pi, S^o\} \rightarrow \{\pi^*, S^*\},$$

$$Task_1^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^o\} \rightarrow \{S^* = O_{\pi^*}(E_{ABG}^*, R_{ABG}^*), K(S^*)\}, \quad (12)$$

где π^* – выбранные принципы построения ТРС, S^* – допустимое множество вариантов построения ТРС в соответствии с выбранными принципами

(заданное на допустимых множествах A^*, B^*, G^* , а, следовательно, на допустимых E_{ABG}^* и R_{ABG}^*).

Задача выбора структуры системы в отличие от постановки в [7] (где она формулируется как доопределение варианта построения системы количеством элементов и связями между ними) формулируется нами как отображение допустимого варианта построения системы на некоторый аспект абстрагирования в виде структуры (1) (функциональной, параметрической или топологической) [7]:

$$Task_2^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*\} \rightarrow \{|E|, R, S_{ER}, K(S_{ER})\},$$

$$Task_2^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \begin{cases} \{s_A^* \leq E_A^*, R_A^* \rangle, K(s_A^*)\}, \\ \{s_B^* \leq E_B^*, R_B^* \rangle, K(s_B^*)\}, \\ \{s_G^* \leq E_G^*, R_G^* \rangle, K(s_G^*)\}. \end{cases} \quad (13)$$

Задача определения системной топологии элементов и связей может быть представлена в виде [7]:

$$Task_3^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} \rightarrow \{G, S_G, K(S_G)\},$$

$$Task_3^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{ABG}^*, R_{ABG}^*), K(S^*)\}. \quad (14)$$

Задача выбора системной технологии функционирования [7]:

$$Task_4^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} \rightarrow \{A, S_A, K(S_A)\},$$

$$Task_4^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{A^*BG^*}, R_{A^*BG^*}), K(S^*)\}. \quad (15)$$

Задача определения системных параметров элементов и связей [7]:

$$Task_5^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} \rightarrow \{B, S_B, K(S_B)\},$$

$$Task_5^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{AB^*G^*}, R_{AB^*G^*}), K(S^*)\}. \quad (16)$$

Задача определения эффективности вариантов ТРС и выбора оптимального решения может быть представлена в виде [7]:

$$Task_6^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \{S^o, K(S^o)\},$$

$$Task_6^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} \rightarrow \{S^o = O_{\pi^o}(E_{A^oB^oG^o}, R_{A^oB^oG^o}), K(S^o)\}. \quad (17)$$

Композиционная модель динамической распределенной задачи синтеза ТРС. На основе анализа взаимосвязи задач микроуровня по входным и выходным данным, можно сделать такие выводы:

а) результаты решения задачи $Task_1^2$ (выбора принципов построения) наследуются задачами $Task_2^2 - Task_5^2$, т.е. всегда являются для них входными данными;

б) решение задачи $Task_6^2$ (определения эффективности вариантов и выбора решений) осуществляется совместно с решением задач $Task_2^2 - Task_5^2$ (выбора структуры системы, выбора топологии, выбора технологии, определения параметров) по окончании отдельных итераций выполнения процедур их решения;

в) решение задач $Task_2^2 - Task_5^2$ может быть осуществлено в произвольном порядке, параллельно или комплексно [2, 7] в зависимости от ситуации решения общей задачи структурного синтеза.

На наш взгляд, представление проблемы структурного синтеза систем должно основываться на предпосылке целостности процесса поиска решения. Следующей стадией решения проблемы структурного синтеза ТРС должна являться композиция проблемы в единое представление. На основе анализа взаимосвязи задач по входным и выходным данным композиционная схема системного проектирования ТРС (рис. 2) была преобразована в следующую композиционную схему, представленную в виде целевой диаграммы (рис. 3).

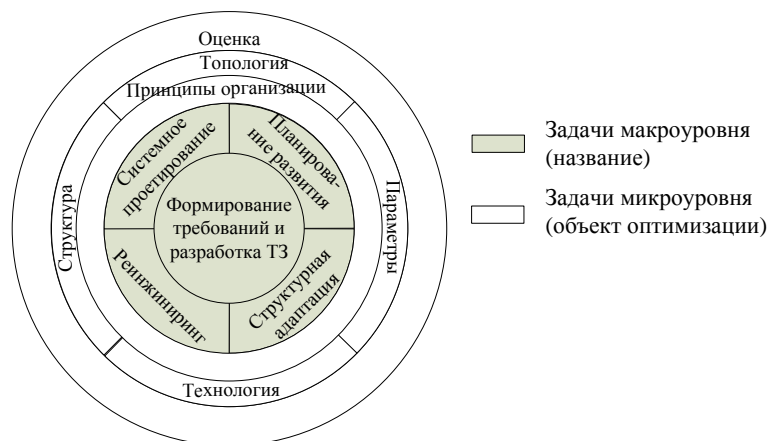


Рис. 3 – Композиционная схема решения задачи структурного синтеза в виде целевой диаграммы

Композиционная схема позволяет более наглядно представить взаимосвязь задач единой проблемы структурного синтеза сложных систем.

Распределенная динамическая задача структурного синтеза является многомерной, а процесс ее решения – мультиитерационным. Схематичное представление многомерности процесса решения общей задачи структурного синтеза приведено на рис. 4, где оси смены задач на макро- и микроуровнях дополнены осью декомпозиции объекта и осью иерархии исполнителей, осуществляющих решение задач.

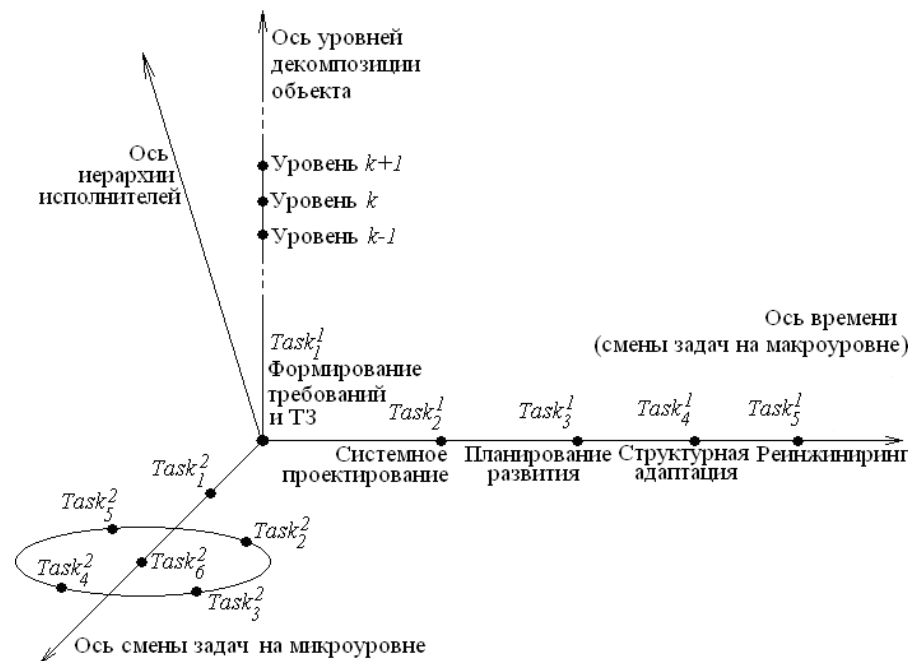


Рис. 4 – Пространство состояний для процесса решения общей задачи структурного синтеза

В зависимости от организационной структуры предприятия, осуществляющего проектирование системы, иерархия исполнителей может определяться:

- иерархией уровней декомпозиции синтезируемого объекта;
- иерархией задач макроуровня структурного синтеза.

Проектировщики и (или) машина (*Processor*), осуществляющие решение задачи на своем уровне иерархии и соответствующем уровне декомпозиции объекта, в качестве входных данных решения частной задачи может иметь лишь часть входных данных решения общей задачи и не иметь доступа к информации о непосредственно проектируемом объекте, работая с моделью

(формализованной в каком-либо виде) и (или) технической проектной документацией. При этом исполнитель может иметь различные права доступа к синтезируемому объекту, его модели или к технической документации (рис. 5).

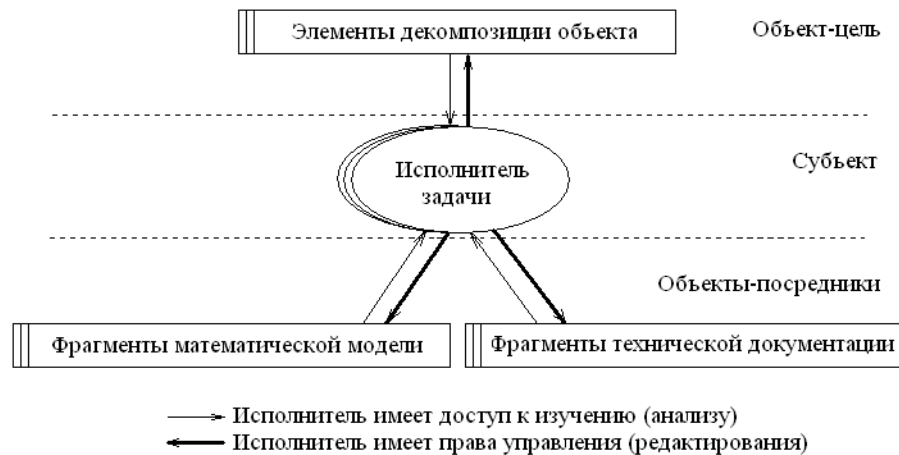


Рис. 5 – Схема информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования

Задача, находящаяся в состоянии решения, может быть представлена следующим набором данных:

$$TaskInProcess = \langle Timing, Task, Processor \rangle, \quad (18)$$

где *Timing* – набор данных, содержащий значение текущего времени, информацию о предполагаемых и реальных датах начала и окончания решения задачи; *Task: In → Out* – задача, входные и выходные данные которой представлены в разрезе *Timing*; *Processor = {ID, Mission, Permission}* – набор идентификационных данных для множества исполнителей с обозначением их обязанностей и прав в рамках выполнения проекта, представленные в разрезе *Timing*.

Объединив представление пространства состояний для процесса решения общей задачи структурного синтеза (рис. 4) и представление информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования (рис. 5), с учетом типового маршрута проектирования [4, 5], распределенная динамическая задача структурного синтеза может быть представлена следующим образом (рис. 6). Математическая модель проектируемого объекта и техническая документация по проекту выделены как особые данные, доступные на всех этапах маршрута решения задачи структурного синтеза ТРС.

Такой маршрут решения задачи структурного синтеза ТРС подразумевает применение блочно-иерархической декомпозиции объекта

проектирования. При этом могут использоваться каскадная, спиральная, итеративная технологии процесса решения общей задачи структурного синтеза.

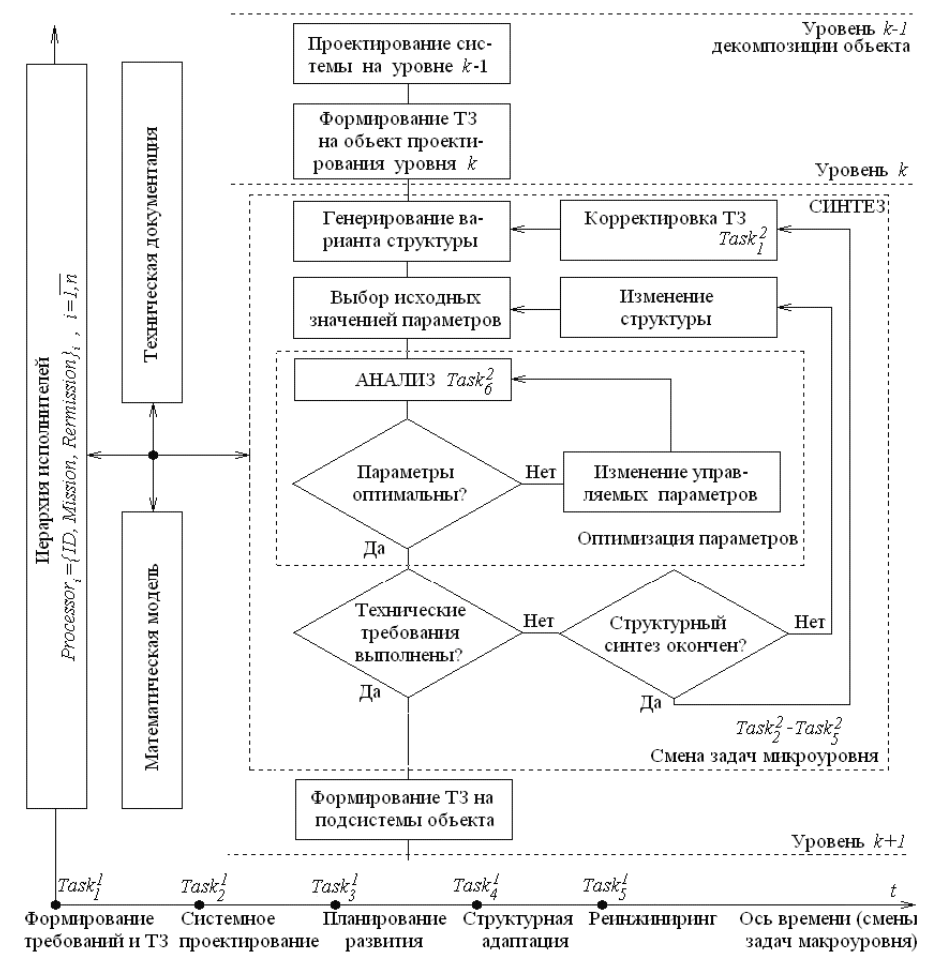


Рис. 6 – Схема маршрута решения распределенной динамической задачи структурного синтеза ТРС

Решение задачи синтеза ТРС на основе моделирования системной динамики. Задачи структурного синтеза ТРС в настоящее время чаще всего решаются независимо друг от друга, причем объект синтеза и критерии оптимизации для каждой из частных задач формализуются отдельно и часто

независимо друг от друга. Вследствие этого возникают противоречивость решений отдельных задач и проблемы получения общего решения. В задачах синтеза крупномасштабных систем данная проблема может быть ликвидирована существованием единого их системного представления для различных постановок задач и подзадач проектирования. Таким единым представлением объекта может стать модель, построенная по методологии системной динамики [10], целостно описывающая все интересующие исследователя аспекты функционирования. Тогда частные критерии оптимизации отдельных задач могут быть основаны на результатах имитации модели целостного объекта.

Преимуществом подхода с использованием моделирования системной динамики является возможность моделирования реорганизации отдельных подсистем на модели всей системы в целом. Описание сложной ТРС с помощью формального аппарата системной динамики представляет собой единую модель требуемой сложности и позволяет осуществить поиск единого эффективного проектного решения в рамках единой проектной процедуры. На невозможность получения эффективных решений в рамках иных способов формализации указано в [2].

Анализ проблемы структурного синтеза показывает, что основными автоматизируемыми его задачами являются задачи выбора структуры системы, определения топологии элементов и связей, выбора технологии функционирования и определения параметров элементов и связей $Task_2^2$ – $Task_5^2$. При первом входе в процедуру решения каждой задачи, как правило, создаются частичные модели, описывающие ТРС с точки зрения особенностей текущей задачи. Такие модели являются сравнительно простыми, использование их упрощает процесс решения частных задач, но затрудняет поиск решения метазадачи структурного синтеза в целом.

Предлагаемая схема проектирования основана на идее выбора проектного решения по результатам моделирования системной динамики объекта, когда до момента начала решения какой-либо из задач $Task_2^2$ – $Task_5^2$ синтезируется общая для них модель. Предполагается, что предварительное трудоемкое создание целостной модели системной динамики проектируемого объекта невозможно в самом начале проектных работ, поэтому выходом из данной ситуации является использование на начальной стадии проектирования обобщенной типовой макромоделю с возможностью ее уточнения при переходе между этапами проектирования. Синтез такой единой модели сложен в виду высокой сложности структур ТРС, однако гарантирует получение решения общей задачи структурного синтеза.

Схема решения задач $Task_2^2$ – $Task_5^2$ с помощью моделирования (с учетом типового маршрута проектирования в среде САПР, представленного на рис. 6) может быть изображена следующим образом (рис. 7).

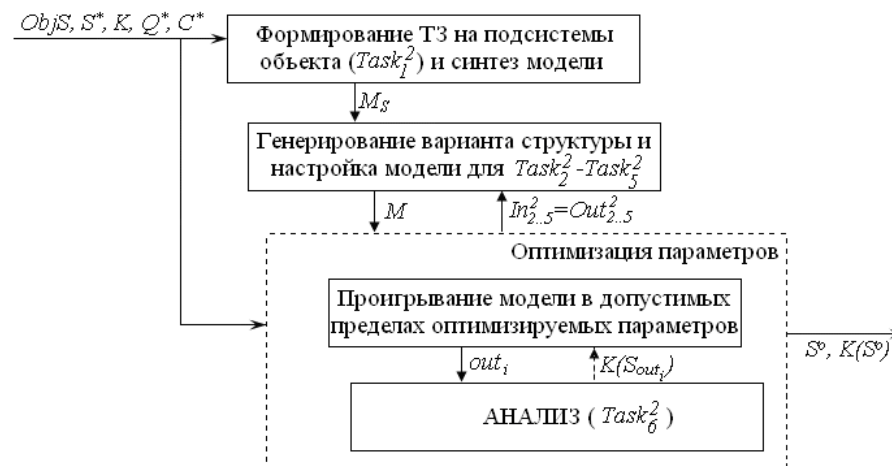


Рис. 7 – Схема решения задач структурного синтеза с использованием процедур моделирования системной динамики (микроуровень)

Суть настройки такой модели системной динамики при решении задач макроуровня заключается в следующем.

1. Для задачи формирования требований к системе и разработки технического задания на проектирование ($Task_1^1$) – определение требований к структуре модели проектируемого объекта.

2. Для задачи системного проектирования ($Task_2^1$) – дополнение модели перечнем параметров и законов регулирования (кинетически эквивалентных правилам функционирования проектируемого объекта).

3. Для задачи планирования развития ($Task_3^1$) осуществляется моделирование с измененными параметрами или динамически изменяющимися параметрами вместо ранее идентифицированных параметров.

4. Для задачи структурной адаптации ($Task_4^1$) – добавление в модель переменных, соответствующих новым внешним условиям функционирования объекта и осуществление моделирования с оптимизацией параметров модели.

5. Для задачи реинжиниринга ($Task_5^1$) – оптимизация параметров модели, констант, законов регулирования, а также структуры модели.

Суть настройки модели системной динамики при решении задач микроуровня заключается в следующем.

1. Для задачи выбора принципов построения системы ($Task_1^2$) – определение структуры модели проектируемого объекта.

2. Для задачи выбора структуры системы ($Task_2^2$) – дополнение модели идентифицированными параметрами и уточненными законами регулирования.

3. Для задачи определения топологии элементов и связей ($Task_3^2$) – идентификация транспортных запаздываний.

4. Для задачи выбора технологии функционирования ($Task_4^2$) – уточнение точек истока и стока потоков информации и ресурсов.

5. Для задачи определения параметров элементов и связей ($Task_5^2$) – идентификация констант организационных запаздываний.

6. Для задачи оценки эффективности вариантов и выбор оптимального решения ($Task_6^2$) – ввод в модель дополнительных переменных, соответствующих критериям оптимизации, осуществление оптимизации.

На примере решения задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневой иерархической ТРС определим требования, предъявляемые к САПР на каждом этапе решения задачи структурного синтеза ТРС (по рис. 7), использующей для анализа проектных вариантов модель системной динамики объекта (таблица).

Требования, предъявляемые к САПР в ходе решения задачи структурно-топологической оптимизации ТРС

Этап решения задачи	Требования
Синтез модели	Наличие библиотеки типовых макромоделей ТРС, интерактивная параметризация модели
Генерация текущего проектного варианта и соответствующая настройка модели	Наличие библиотеки интерактивных процедур генерации топологических структур, библиотеки методов идентификации параметров транспортных запаздываний
Моделирование	Возможность интерактивного выбора возмущающего воздействия на объект, шага и длительности моделирования
Анализ вариантов и оптимизация	Возможность интерактивного выбора формы представления результатов моделирования, выбора набора частных критериев оптимизации, наличие библиотеки функций полезности частных критериев, библиотеки моделей обобщенных критериев оптимизации

Задача структурно-топологической оптимизации – это комплексная задача, объединяющая решение задач $Task_2^2$ и $Task_3^2$. Настройка модели системной динамики для ее решения осуществляется в соответствии со сгенерированным вариантом топологии системы после идентификации

топологических параметров модели (порядок и постоянная запаздывания транспортировки ресурсов обслуживания из центрального пункта в узловые элементы, порядок и постоянная запаздывания транспортировки ресурсов от узловых элементов к обслуживающим элементам).

Выводы. На основе анализа современного состояния проблемы структурного синтеза территориально распределенных объектов получило дальнейшее развитие их формальное представление, разработана композиционная модель динамической распределенной задачи их структурного синтеза, усовершенствована технология ее решения с использованием процедур моделирования системной динамики. На основе предложенной модели и технологии структурного синтеза территориально распределенных объектов разработано программное средство, предназначенное для использования в составе системы их автоматизированного проектирования. Его эффективность апробирована в процессе решения задач структурно-топологической оптимизации трехуровневых сервисных систем с подвижными обслуживающими устройствами. Практическое применение полученных результатов позволяет сформировать структуру базы данных проекта, эффективно распределить зоны ответственности его исполнителей, сформировать систему управления проектом. Реализация предложенной схемы решения задачи структурного синтеза на основе анализа проектных вариантов с помощью модели системной динамики объекта позволяет использовать для решения частных задач общий критерий оптимизации, сформулированный в постановке исходной задачи синтеза, и на этой основе повысить эффективность получаемых проектных решений.

Список литературы: 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович; пер. с англ.; под ред. И.Ф. Шахнова; предисл. чл.-кор. АН СССР Г.С. Поспелова. – М.: Мир, 1973. – 344 с. 2. Петров Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с. 3. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара; пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума; под ред. В.С. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 312 с. 4. Норенков И.П. Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев – М.: Высш. шк., 1991. – 355 с. 5. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: / В.П. Тарасик. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.: ил. 6. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основы САПР та системного проектування складних об'єктів / А.А. Тимченко; за ред. В.І. Бикова. – К.: Либідь, 2000. – 272 с. 7. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / В.В. Бескоровайный // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. – 2002. – Вып. 120. – С. 29-37. 8. Денисов А.А. Иерархические системы / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. – 88 с. 9. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Д. Чампи; пер. с англ. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. – 332 с. 10. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / Дж. Форрестер; пер. с англ.; под общ. ред. Д.М. Гвишиани. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012

А. Е. ПУТЯТИНА, асп. ХНУРЭ, Харьков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ ДЛЯ МОДЕЛИ ХЕСТОНА

В этой статье рассмотрена задача оптимизации портфеля ценных бумаг для модели Хестона поведения цены акции. Предложен метод решения задачи оптимизации портфеля при наличии неполной информации, т.е. наблюдаются только цены акции, но волатильность акции неизвестна. Оценка волатильности производится за помощью фильтрации.

Ключевые слова: акция, фильтрация, портфель ценных бумаг, неполная информация, инвестиционная стратегия, уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана

В данной статье рассмотрена задача оптимизации портфеля ценных бумаг для модели Хестона поведения цены акции. Предложен метод решения задачи оптимизации портфеля при наличии неполной информации, т.е. наблюдаются только цены акции, но волатильность акции неизвестна. Оценка волатильности производится при помощи фильтрации.

Ключевые слова акция, фильтрация, портфель ценных бумаг, неполная информация, инвестиционная стратегия, уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана.

In this paper we consider portfolio optimization problem for the Heston model of the asset price behaviour. A method was proposed for solving the portfolio optimization problem under partial information, i.e. only asset prices are observable, but not the volatility. Volatility is estimated by means of filtering.

Keywords: asset, filtering portfolio, partial information, portfolio strategy, HJB equation

Введение. Модель Хестона [1] – это модель поведения цены акции, в которой волатильность (среднеквадратическое отклонение) цены акции не является константой или детерминированной функцией, но является случайным процессом. Коэффициент сноса цены акции управляется тем же случайным процессом, что и волатильность. Цель задачи фильтрации – это оценка случайной волатильности цены акции, имея наблюдения цены акции. Коэффициенты модели Хестона не являются константами или линейными функциями, поэтому мы имеем дело с задачей нелинейной бесконечномерной фильтрации [2,3]. В настоящей статье предлагается решение приближенными методами. Основная идея получения приближенного решения – это линеаризация нелинейных коэффициентов в уравнениях, описывающих поведение цены акции и поведение волатильности цены акции с последующим применением фильтра Калмана к линеаризованной модели.

Задача оптимизации портфеля ценных бумаг состоящего из банковского счета и одинаковых акций, чье поведение подчиняется одной и той же модели Хестона, должна быть решена при условиях наличия полной и неполной (частичной) информации. Под понятием неполной информации подразумевается то, что процесс, описывающий волатильность акции, ненаблюдаем на рынке

и его оценка должна быть получена с помощью фильтрации при условии наличия наблюдаемой цены акции.

Постановка задачи исследования. Рассмотрим модель Хестона, которая описывает динамику цены акции S_t , $t > 0$:

$$dS_t = S_t(r + \lambda z_t)dt + S_t \sqrt{z_t} dW_t, \quad (1)$$

$$dz_t = \kappa(\theta - z_t)dt + \sigma \sqrt{z_t} dV_t, \quad (2)$$

где z_t , $t > 0$ – стохастическая волатильность цены акции;

r – процентная ставка;

λ – действительное число;

θ – средняя волатильность, к которой стремится математическое ожидание z_t ;

$\kappa > 0$ – скорость, с которой z_t стремится к θ ;

σ – коэффициент диффузии в уравнении волатильности z_t ;

процессы W_t и V_t являются независимыми Винеровскими процессами.

В условиях финансового рынка инвестор имеет информацию о ценах акций, но не знает значения волатильности цены акции. Пусть цены акций наблюдаются только в дискретном времени, т.е. $S_1, S_2, \dots, S_k, k \in N$. Имея дискретные наблюдения цен акций S_k , необходимо оценить значения волатильности z_t цены акции в соответствии с моделью (1)–(2) и затем применить оценку z_t для оптимизации портфеля ценных бумаг.

Имеем задачу нелинейной фильтрации, решение которой в явном виде представляет большую трудность. Ее решение возможно приближенно, если нелинейные коэффициенты модели (1)–(2) линеаризовать, используя метод статистической линеаризации [4].

Пусть y_t, z_t , – это случайные функции, такие что

$$y_t = \varphi(z_t), \quad (3)$$

где φ – нелинейная функция.

Нелинейное преобразование (3) может быть приближено линейной зависимостью U_t между случайными функциями y_t и z_t :

$$U_t = \varphi_0 + k_1 z_t^0, \quad (4)$$

где z_t^0 – центрированная случайная величина.

Таким образом, $z_t^0 = z_t - m_z(t)$, где $m_z(t)$ – математическое ожидание

случайной функции z_t . Коэффициенты k_1 и φ_0 могут быть определены по следующим формулам:

$$\varphi_0 = m_y(t), \quad (5)$$

$$k_1 = \pm \frac{\sigma_y(t)}{\sigma_z(t)} \quad (6)$$

или

$$k_1 = \pm \frac{Corr(z_t, y_t)}{D(z_t)} \quad (6a)$$

$$\sigma_y(t) = \sqrt{D(y_t)},$$

$$\sigma_z(t) = \sqrt{D(z_t)},$$

где $Corr$ – это обозначение коэффициента корреляции;

D – это дисперсия случайной величины.

Знак в первой формуле для k_1 выбирается таким образом, чтобы знаки истинной и аппроксимирующей функций совпадали.

Значения стохастической волатильности z_t не известны, но могут быть промоделированы исходя из уравнения (2). По сгенерированной выборке значений волатильности можно эмпирическим путем определить математическое ожидание m_z и стандартное отклонение σ_z . Таким же образом можно определить и параметры m_y и σ_y . Таким образом, коэффициенты k_1 и φ_0 могут быть определены приближенным способом.

В результате, модель Хестона может быть приближена и линейризована следующим образом:

$$dS_t \approx S_t(r + \lambda z_t)dt + S_t(\varphi_0 + k_1(z_t - m_z))dW_t, \quad (7)$$

$$dz_t \approx \kappa(\theta - z_t)dt + \sigma(\varphi_0 + k_1(z_t - m_z))dV_t, \quad (8)$$

где m_z – математическое ожидание случайной величины z_t .

Приближенная модель (7)–(8) описывает поведение цены акции S_t , у которой волатильность z_t стохастическая. У данной модели, в отличие от модели Хестона (1)–(2), коэффициенты являются линейными функциями. Для получения оценки ненаблюдаемой волатильности z_t в дискретном времени может быть применен фильтр Калмана [2,3]. Однако в непрерывном времени применение фильтра Калмана становится невозможным, следовательно, для

решения задачи оптимизации портфеля ценных бумаг в непрерывном времени и при неполной информации нужен иной подход для оценивания ненаблюдаемой величины z_t . В разделе «Численные эксперименты» будет проведен сравнительный анализ результатов оптимизации портфеля ценных бумаг для модели (1)–(2) и для ее линейризованной версии (7)–(8) при наличии полной информации. Представляет интерес решить задачу оптимизации портфеля ценных бумаг [5], состоящего из банковского счета и одинаковых акций, чье поведение подчиняется одной и той же модели Хестона, при условии наличия полной и неполной информации.

Оптимизация портфеля ценных бумаг. При наличии полной информации об акции (на финансовом рынке наблюдаются и цены акции S_t и значения волатильности z_t цены акции) можно использовать результаты статьи [1]. Способ решения задачи оптимизации портфеля ценных бумаг для модели Хестона при наличии неполной информации (наблюдаются только цены акции, но не волатильность) является новизной данной работы и будет рассматриваться в пункте 2.2. В разделе «Численные эксперименты» будет проведен сравнительный анализ результата решения задачи оптимизации портфеля ценных бумаг при полной информации по методу, рассмотренному в [1] и результата решения той же самой задачи оптимизации, но при наличии неполной информации. Будет вычислена ошибка, получаемая за счет неполной информации.

Оптимизация при наличии полной информации. В работе [1] рассмотрена задача оптимизации портфеля ценных бумаг, состоящего из банковского счета и акции, подчиняющейся модели Хестона.

Для упрощения вывода формул введем в модели Хестона (1)–(2) следующие обозначения:

$$a(z_t, t) = \kappa(\theta - z_t), \quad b(z_t, t) = \sigma\sqrt{z_t}, \quad \mu(z_t, t) = r + \lambda z_t \quad \text{и} \quad \sigma(z_t, t) = \sqrt{z_t}.$$

Обозначим стоимость портфеля ценных бумаг X_t^π (капитал) следующим образом:

$$\begin{aligned} dX_t^\pi &= X_t^\pi \pi_t [\mu(z_t, t)dt + \sigma(z_t, t)dW_t] + X_t^\pi (1 - \pi_t)rdt = \\ &= X_t^\pi \pi_t [(\mu(z_t, t) - r)dt + \sigma(z_t, t)dW_t] + X_t^\pi rdt = \\ &= X_t^\pi \pi_t [(r + (\mu(z_t, t) - r)\pi_t)dt + \pi_t \sqrt{z_t} dW_t] = \\ &= X_t^\pi \pi_t [(r + \lambda z_t \pi_t)dt + \pi_t \sqrt{z_t} dW_t], \end{aligned}$$

где π_t – инвестиционная стратегия, т.е. процентная часть капитала, вложенная в акции.

Задача оптимизации портфеля заключается в том, чтобы найти оптимальную инвестиционную стратегию, т.е. максимизировать математическое ожидание полезности капитала X_t^π в конечный момент времени T , т.е.

$$\max_{\pi} M \left[\frac{1}{\gamma} (X_T^\pi)^\gamma \right].$$

Полезность определяется функцией полезности

$$U : [0, \infty) \rightarrow R \cup \{-\infty\},$$

которая строго возрастающая, строго выпуклая и дважды непрерывно дифференцируемая на $(0, \infty)$ [5]. Рассматривается степенная функция полезности

$$U(x) = x^\gamma / \gamma, \quad \gamma < 1, \quad \gamma \neq 0.$$

Функция значения $J(t, x, z)$, определенная следующим образом

$$J(t, x, z) = \max_{\pi} M \left[\frac{1}{\gamma} (X_T^\pi)^\gamma \mid X_t^\pi = x, z_t = z \right]$$

является решением уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана:

$$\begin{aligned} \max_{\pi} \left(\frac{\partial}{\partial t} J(t, x, z) + x(r + (\mu(z, t) - r)\pi) \frac{\partial}{\partial x} J(t, x, z) + a(z, t) \frac{\partial}{\partial z} J(t, x, z) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} x^2 (\sigma(z, t))^2 \pi^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} J(t, x, z) + xb(z, t)\sigma(z, t)\pi\rho \frac{\partial^2}{\partial xz} J(t, x, z) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} (b(z, t))^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} J(t, x, z) \right) = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где x – значение X_t^π в момент времени t ;

z – значение z_t в момент времени t ;

π – значение π_t в момент времени t ;

Функция значения $J(t, x, z)$ задается следующей формулой:

$$J(t, x, z) = \frac{x^\gamma}{\gamma} (f(t, z))^{\frac{1-\gamma}{1-\gamma+\rho^2\gamma}},$$

где функция f имеет действительные значения и следующее представление:

$$f(t, z_t) = \exp \left(\frac{\gamma}{c} r(T-t) - A_f(t, T) - B_f(t, T)z_t \right),$$

если

$$\frac{\gamma}{1-\gamma} \lambda \left(\frac{\kappa\rho}{\sigma} + \frac{\lambda}{2} \right) < \frac{\kappa^2}{2\sigma^2},$$

где $A_f(t, T)$ – это C^1 -функция с действительными значениями;

$$B_f(t, T) = 2\tilde{\beta} \frac{e^{\tilde{\alpha}(T-t)} - 1}{e^{\tilde{\alpha}(T-t)}(\kappa + \alpha) - \kappa + \tilde{\alpha}}.$$

Здесь

$$\tilde{\beta} = -\frac{1}{2c} \frac{\gamma}{1-\gamma} \lambda^2, \quad \tilde{\alpha} = \sqrt{\tilde{\kappa}^2 + 2\tilde{\beta}\sigma^2}, \quad c = \frac{1-\gamma}{1-\gamma+\rho^2\gamma}, \quad \tilde{\kappa} = \kappa - \frac{\gamma}{1-\gamma} \rho\lambda\sigma, \quad \tilde{\kappa} > 0.$$

Подставляя функцию $J(t, x, z)$ в уравнение (9), получаем формулу для оптимальной инвестиционной стратегии π_t^* для модели Хестона:

$$\pi_t^* = \frac{\lambda}{1-\gamma}. \quad (10)$$

Таким образом, оптимальная инвестиционная стратегия для модели Хестона является константой.

Возвратившись к линеаризованной модели Хестона (7)–(8), решим задачу оптимизации аналогично [1], и получим оптимальную инвестиционную стратегию π_t^* , представляемую следующей формулой:

$$\pi^*(z, t) = \frac{\lambda z}{(1-\gamma)(\varphi_0 + k_1(z - m_z))}. \quad (11)$$

Основываясь на результатах численных экспериментов (параграф «Численные эксперименты»), можно сделать вывод, что линеаризованная модель Хестона (7)–(8) незначительно отличается от исходной модели Хестона (7)–(8).

Процесс статистической линеаризации значительно упрощает внешний вид модели с нелинейными коэффициентами и позволяет применять дискретный фильтр Калмана для оценки ненаблюдаемой случайной величины. Однако, для линеаризованной модели Хестона (7)–(8), нельзя применить фильтр Калмана в непрерывном времени, а, следовательно, нельзя решить теорети-

чески в непрерывном времени задачу оптимизации портфеля ценных бумаг. Поэтому, рассмотрим другой подход для фильтрации модели Хестона (1)–(2) и для решения задачи оптимизации портфеля.

Оптимизация при наличии неполной информации. Термин «неполная информация» означает, что только цены акций S_t наблюдаются на финансовом рынке, но не стохастическая волатильность z_t . Для решения задачи оптимизации портфеля ценных бумаг следует вычислить оценку ненаблюдаемой величины z_t . В модели Хестона (1)–(2) коэффициенты диффузии не являются константами, поэтому нельзя применить фильтр Калмана для оценивания z_t . Также для статистически линеаризованной версии (7)–(8) модели Хестона в непрерывном времени фильтрация Калмана не может быть применена, так как коэффициенты диффузии в обоих стохастических дифференциальных уравнениях являются линейными функциями, а не константами. Основной задачей и новизной данной статьи является поиск решения задачи оптимизации портфеля ценных бумаг для модели Хестона при неполной информации.

Расширенный фильтр Калмана [3] может быть применен и в непрерывном времени для оценивания волатильности z_t . Представим модель Хестона (1)–(2) в следующей общей форме:

$$ds_t = \frac{dS_t}{S_t} = (r + \lambda z_t)dt + \sqrt{z_t}dW_t = h(z_t)dt + g(z_t)dW_t,$$

$$dz_t = \kappa(\theta - z_t)dt + \sigma\sqrt{z_t}dV_t = f(z_t)dt + \sigma(z_t)dV_t,$$

где $f(z_t) = \kappa(\theta - z_t)$, $\sigma(z_t) = \sigma\sqrt{z_t}$, $h(z_t) = r + \lambda z_t$, $g(z_t) = \sqrt{z_t}$.

Стохастические дифференциальные уравнения с нелинейными коэффициентами могут быть приближены с помощью разложения Тейлора:

$$ds_t \approx (h'(\bar{z}_t)(z_t - \bar{z}_t) + h(\bar{z}_t))dt + g(\bar{z}_t)dW_t,$$

$$dz_t \approx (f'(\bar{z}_t)(z_t - \bar{z}_t) + f(\bar{z}_t))dt + \sigma(\bar{z}_t)dV_t,$$

где h' и f' – первые производные функций h и f соответственно;

\bar{z} – решение следующего обыкновенного дифференциального уравнения:

$$\frac{d\bar{z}_t}{dt} = f(\bar{z}_t), \quad \bar{z}_0 = z_0. \quad (12)$$

Фильтр Калмана может быть применен после преобразования модели Хестона с помощью разложения Тейлора.

Принимая во внимание, что $f(z_t) = \kappa(\theta - z_t)$, решение уравнения (12) следующее:

$$\bar{z}_t = (z_0 - \theta)e^{-\kappa t} + \theta.$$

Далее, $f'(z) = \kappa$ и $h'(z) = \lambda$, таким образом

$$ds_t \approx (\lambda(z_t - \bar{z}_t) + r + \lambda\bar{z}_t)dt + g(\bar{z}_t)dW_t,$$

$$dz_t \approx (-\kappa(z_t - \bar{z}_t) + (\kappa(\theta - \bar{z}_t)))dt + \sigma(\bar{z}_t)dW_t,$$

или

$$ds_t \approx (r + \lambda z_t)dt + g(\bar{z}_t)dW_t = (r + \lambda z_t)dt + \sqrt{\bar{z}_t}dW_t = h(z_t)dt + \sqrt{\bar{z}_t}dW_t, \quad (13)$$

$$dz_t \approx \kappa(\theta - z_t)dt + \sigma(\bar{z}_t)dV_t = \kappa(\theta - z_t)dt + \sigma\sqrt{\bar{z}_t}dV_t = f(z_t)dt + \sigma\sqrt{\bar{z}_t}dV_t. \quad (14)$$

Можно получить оптимальную инвестиционную стратегию при наличии неполной информации. Условное математическое ожидание (F_t^S – это сигма-алгебра, построенная на наблюдениях цены акции)

$$\hat{z}_t = M[z_t | F_t^S],$$

процесса сноса z_t удовлетворяет уравнениям фильтра Калмана [2]:

$$d\hat{z}_t = \kappa(\theta - \hat{z}_t)dt + (\Omega_t + R)(g(\bar{z}_t))^{-2}(ds_t - (\lambda\hat{z}_t + r)dt),$$

где R задается следующей формулой:

$$R = \rho g(\bar{z}_t)\sigma(\bar{z}_t).$$

Здесь ρ – коэффициент корреляции между Винеровскими процессами W_t и V_t , который в случае модели Хестона равен нулю;

Ω_t – матрица условных ковариаций, которая является решением детерминированного уравнения Рикатти

$$\frac{d\Omega_t}{dt} = \sigma(\bar{z}_t) - 2\kappa\Omega_t - (\Omega_t + \rho)(g(\bar{z}_t))^{-2}(\Omega_t + \rho).$$

Процесс изменения стоимости капитала X_t^π с учетом линеаризованной модели (13)–(14) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
dX_t^\pi &= X_t^\pi \pi_t [h(\hat{z}_t)dt + \sqrt{\bar{z}_t} dW_t] + X_t^\pi (1 - \pi_t) r dt = \\
&= X_t^\pi \pi_t [(h(\hat{z}_t) - r)dt + \sqrt{\bar{z}_t} dW_t] + X_t^\pi r dt = \\
&= X_t^\pi [(r + (h(\hat{z}_t) - r)\pi_t)dt + \pi_t \sqrt{\bar{z}_t} dW_t] = \\
&= X_t^\pi [(r + \lambda \hat{z}_t \pi_t)dt + \pi_t \sqrt{\bar{z}_t} dW_t].
\end{aligned}$$

Задача оптимизации портфеля ценных бумаг заключается в вычислении такой инвестиционной стратегии π_t , чтобы максимизировать ожидаемую полезность капитала X_t^π в конечный момент времени T . Без потери общности решения [6] положим $r=0$.

Рассмотрим уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана для нашей задачи оптимизации при неполной информации:

$$\begin{aligned}
\max_{\pi} \left(\frac{\partial}{\partial t} \hat{J}(t, x, \hat{z}) + x(r + \lambda \hat{z} \pi) \frac{\partial}{\partial x} \hat{J}(t, x, \hat{z}) + (\kappa \theta - \kappa \hat{z}) \frac{\partial}{\partial \hat{z}} \hat{J}(t, x, \hat{z}) + \right. \\
\left. + \frac{1}{2} x^2 (g(\bar{z}_t))^2 \pi^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \hat{J}(t, x, \hat{z}) + x(\Omega_t + R) \pi \frac{\partial^2}{\partial x \partial \hat{z}} \hat{J}(t, x, \hat{z}) + \right. \\
\left. + \frac{1}{2} (\Omega_t + R)^2 (g(\bar{z}_t))^{-2} \frac{\partial^2}{\partial \hat{z}^2} \hat{J}(t, x, \hat{z}) \right) = 0,
\end{aligned}$$

где x – значение X_t^π в момент времени t ;

\hat{z} – значение \hat{z}_t момент времени t ;

π – значение π_t в момент времени t .

Функция

$$\hat{J}(t, x, \hat{z}) = \hat{J}(t, x, \hat{z}, \Omega_t)$$

– это функция значения при детерминированной величине Ω_t .

Подставим в последнее уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана функцию значения следующего вида [6]:

$$\hat{J}(t, x, \hat{z}) = \frac{x^\gamma}{\gamma} \exp(\hat{z}^2 A_t + \hat{z} B_t + C_t),$$

и продифференцируем его по π . В результате получим оптимальную инвестиционную стратегию, задаваемую следующей формулой:

$$\pi^*(t, \hat{z}) = \frac{\lambda \hat{z} + (\Omega_t + R)(2\hat{z} A_t + B_t)}{(1 - \gamma)(g(\bar{z}_t))^2},$$

где коэффициенты A_t , B_t , C_t определяются следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dA_t}{dt} = -\frac{\gamma(\lambda + 2(\Omega_t + R)A_t)^2}{2(1 - \gamma)(g(\bar{z}_t))^2} - \frac{2(\Omega_t + R)^2 A_t}{(g(\bar{z}_t))^2} + 2\kappa A_t,$$

$$\frac{dB_t}{dt} = -\frac{\gamma}{2(1 - \gamma)(g(\bar{z}_t))^2} (3\lambda r + 4r(\Omega_t + R)A_t + 2\lambda(\Omega_t + R)B_t -$$

$$-4(\Omega_t + R)^2 A_t B_t) - \frac{2(\Omega_t + R)^2 A_t B_t}{(g(\bar{z}_t))^2} - 2\kappa \theta A_t + \kappa B_t,$$

$$\frac{dC_t}{dt} = -\frac{\gamma}{2(1 - \gamma)(g(\bar{z}_t))^2} (r^2 + 3(\Omega_t + R)rB_t + (\Omega_t + R)^2 B_t^2) -$$

$$-\kappa \theta B_t - \frac{(\Omega_t + R)^2 (2A_t + B_t^2)}{2(g(\bar{z}_t))^2}.$$

Численные эксперименты. Для численных экспериментов выбрана модель Хестона со следующими параметрами:

$$\frac{dS_t}{S_t} = (0 + 1 \cdot z_t) dt + \sqrt{z_t} dW_t,$$

$$dz_t = 0.5(0.5 - z_t) dt + 0.3\sqrt{z_t} dV_t$$

где dV_t и dW_t имеют нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и среднеквадратическим отклонением соответственно 0.3 и 0.5.

Ниже представлены соответствующие рисунки. На рис. 1 представлена динамика поведения цены акции, в соответствии с моделью Хестона (1)–(2). Рис. 2 показывает истинный процесс стохастической волатильности z_t , линейризованную волатильность и оценку \hat{z}_t стохастической волатильности, полученную при помощи расширенного фильтра Калмана. Можно заметить, что линейризованный процесс стохастической волатильности практически неотличим от истинного процесса z_t . Расширенный фильтр Калмана дал оценку \hat{z}_t , довольно близкую к истинному процессу z_t .

На рис. 3 представлены оптимальные инвестиционные стратегии: при наличии полной информации для модели Хестона (1)–(2) и для линейризованной модели Хестона (7)–(8), при наличии неполной информации для модели Хестона (1)–(2) с применением расширенного фильтра Калмана для нахождения оценки \hat{z}_t .

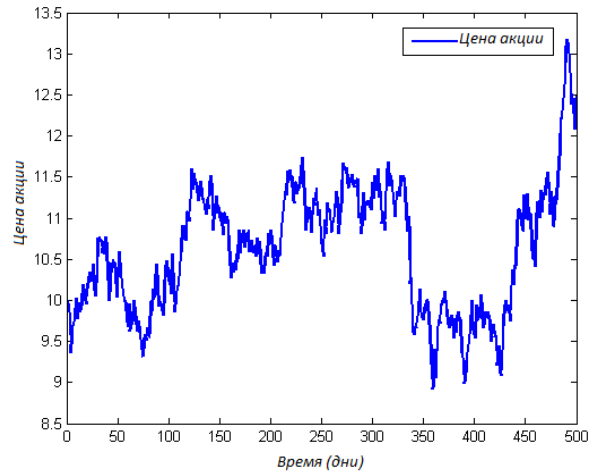


Рис. 1 – Поведение цены акции

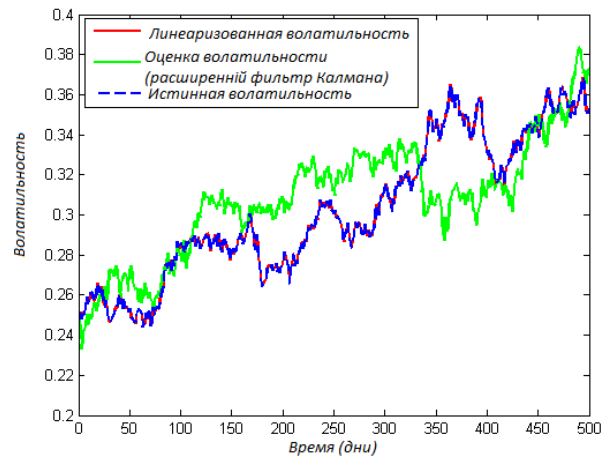


Рис. 2 – Истинная и оцененная волатильность цены акции

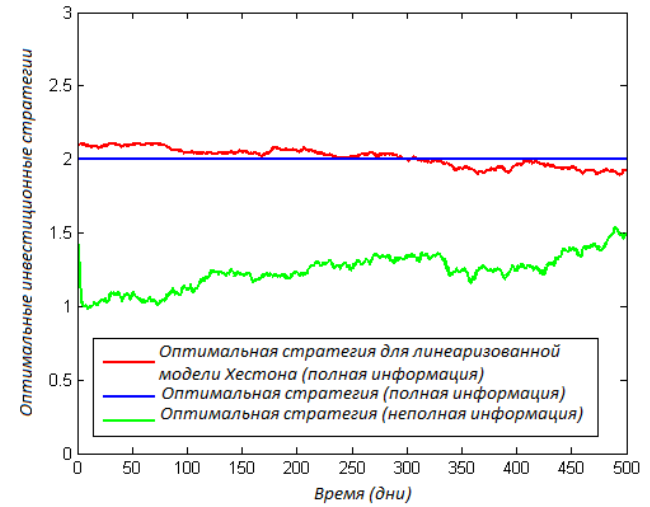


Рис. 3 – Оптимальные инвестиционные стратегии

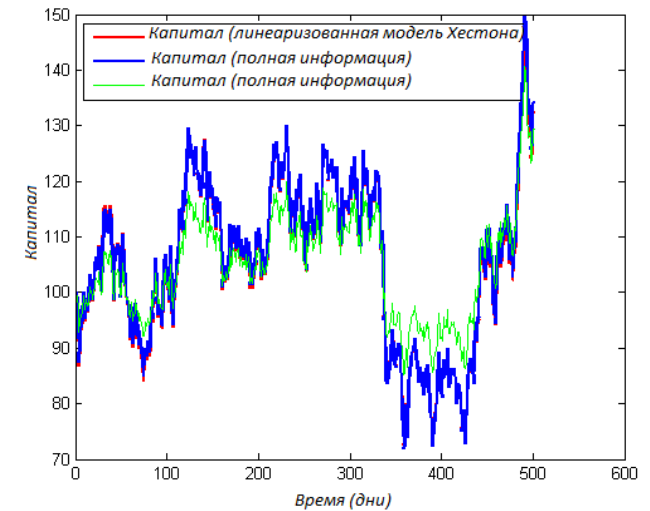


Рис. 4 – Динамика капитала при применении трех различных инвестиционных стратегий

Рис. 4 показывает динамику изменения капитала, полученного при применении трех различных инвестиционных стратегий, представленных на рис. 3.

Проведем краткий анализ полученных результатов. Среднее отклонение между истинным процессом z_t и оценкой, полученной с применением расширенного фильтра Калмана, составляет 0.0198. Средние отклонения между оптимальной стратегией при наличии полной информации и оптимальными стратегиями при неполной информации и статистической линеаризации составляют соответственно 0.7620 и 0.3496. Средние отклонения между капиталом при полной информации и капиталами при неполной информации и статистической линеаризации составляют соответственно 4.9344 и 0.3496.

Отклонение между капиталами, полученными без применения и с применением приближенных методов, может быть оценено как потери в ожидаемой полезности, т.е.

$$M[U(X_T^\pi)] - M[U(X_T^{approx})],$$

где X_T^π – капитал полученный без применения приближений и численных методов;

X_T^{approx} – капитал, полученный с применением приближений;

M означает математическое ожидание случайной функции.

Потери ожидаемой полезности между капиталом, полученным при полной информации и капиталами, полученными при неполной информации, и статистической линеаризации составляют соответственно 0.0062 и $7.56 \cdot 10^{-4}$. Функция полезности имеет вид

$$U(x) = x^\gamma / \gamma$$

при $\gamma=0.5$. Математические ожидания были оценены, основываясь на выборке в 1000 значений.

Выводы. В данной статье была рассмотрена модель Хестона поведения цены акции. Особенность этой модели заключается в том, что волатильность цены акции не является константой, а является случайным процессом. Такая модель более реалистична, чем модель, в которой коэффициенты неслучайны. В статье был рассмотрен портфель ценных бумаг, состоящий из банковского счета (безрисковое вложение) и рискованной акции (чья цена подчиняется модели Хестона). Задача оптимального вложения средств в рискованные акции является задачей оптимизации портфеля ценных бумаг. Такая задача может довольно часто возникать у фирм, которые занимаются инвестированием денежных средств. К примеру, в системе негосударственного пенсионного страхования это компании по управлению активами, деятельность которых была подробно рассмотрена в [7].

Система негосударственного пенсионного страхования в последние годы становится все более актуальной, так как средний возраст населения увеличивается и, следовательно, пенсионных взносов трудоспособного населения не хватает для выплат пенсий. В системе негосударственного пенсионного страхования каждый трудоспособный человек может делать взносы в негосударственные пенсионные фонды. Эти фонды передают собранные взносы в компании по управлению активами, деятельность которых заключается в том, что бы правильно инвестировать денежные средства. Оптимальное инвестирование денежных средств и является задачей оптимизации портфеля ценных бумаг. Компании по управлению активами должны так оптимально инвестировать пенсионные взносы, что бы к моменту выхода на пенсию человек мог получать достойную пенсию. Хотя в большинстве стран мира система негосударственного пенсионного страхования развивается и внедряется очень быстро, эта система по-прежнему остается достаточно рискованным мероприятием, требующим новых подходов к решению возникающих проблем.

На финансовом рынке инвестор наблюдает только цены акций, и не имеет никакой информации о волатильности акции, т.е. возникает ситуация неполной информации. Поэтому особенно важно решить задачу оптимизации портфеля ценных бумаг в условиях неполной информации, что и было сделано в данной статье. В статье так же было приведено решение задачи оптимизации в условиях полной информации, для того, что бы сравнить и оценить потерю капитала при наличии неполной информации. Ситуация полной информации – это чисто теоретическая ситуация. На реальном рынке всегда будет только неполная информация, поэтому решение задачи оптимизации при неполной информации – это единственное решение, которое будет иметь инвестор на реальном рынке.

Список литературы: 1. Kraft H. Optimal portfolio and Heston's stochastic volatility model: an explicit solution for power utility / H. Kraft // Quantitative Finance. – 2005. – Vol. 5, Issue 3. – P. 303–313. 2. Лунцер П. Ш. Статистика случайных процессов / П. Ш. Лунцер, А. Н. Шуряев // М. : Наука, 1974. – 696 с. 3. Bain A. Fundamentals of Stochastic Filtering / A. Bain, D. Crisan // Springer Science + Business Media, LLC, 2009. – 366 p. 4. Казаков И. Е. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем / И. Е. Казаков, Б. Г. Доступов // М. : Физматгиз, 1962. – 332 с. 5. Hahn M. Portfolio optimization with non-constant volatility and partial information / M. Hahn, W. Putschoegl, J. Sas // Brazilian Journal of Probability and Statistics. – 2007. – Vol. 21. – P. 27–61. 6. Brendle S. Portfolio selection under incomplete information / S. Brendle // Stochastic Processes and their Applications. – 2006. – Vol. 116. – P. 701–723. 7. Пуяткина А. Е. Управление негосударственными пенсионными фондами в условиях развивающейся экономики / А. Е. Пуяткина // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 3.

Надійшла до редколегії 11.12.2012

Н. В. ВЛАСЕНКО, асп. ХНУРЭ, Харьков;
А. С. КАНУННИКОВ, студент ХНУРЭ, Харьков;
С. В. МАШТАЛИР, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ, Харьков

КОМПРЕССИРОВАНИЕ ОПИСАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ ЕГО КОМПОНЕНТ ПО КРИТЕРИЮ СТАБИЛЬНОСТИ

Досліджуються шляхи стиснення простору структурних ознак зображень із використанням критерію стабільності їх значень на навчальній множині геометричних перетворень. Стиснений опис формується на основі обчисленої підмножини стабільних точок. Результати експериментів по класифікації зображень на основі запропонованих методів підтверджують їх високу ефективність.

Ключові слова: класифікація зображень, характерні ознаки, структурний опис, стиснення, інваріантність, обчислювальні затрати.

Исследуются пути сжатия пространства структурных признаков изображений с использованием критерия стабильности их значений на обучающем множестве геометрических преобразований. Сжатое описание формируется на основе вычисленного подмножества стабильных точек. Результаты экспериментов по классификации изображений на основе предложенных методов подтверждают их высокую эффективность.

Ключевые слова: классификация изображений, характерные признаки, структурное описание, сжатие, инвариантность, вычислительные затраты.

Ways of compression space structural features images using the criterion of stability of their values on the training set of geometric transformations explores in article. A concise description is based on the computed subset of stable points. Experimental results on image classification based on the proposed methods confirm their high efficiency.

Keywords: image classification, features, structural description, compression, invariance, the computational cost.

Введение. Формирование системы признаков – ключевая проблема в задачах распознавания и анализа многомерных данных [1,2]. Ее решение часто является предметом компромисса относительно нескольких противоречивых требований. С одной стороны, часто желательно, чтобы значения признаков объекта были близки между собой внутри одного и того же описания (однородность). С другой стороны, величины признаков в целях успешного распознавания должны как можно больше различаться для описаний объектов из разных классов.

Механизм человеческого зрения в сравнении со зрительными системами искусственного интеллекта в высшей степени обладает возможностью выделять наиболее важную для распознавания видеосообщения. Это могут быть как локальные характеристики (ключевые точки), так и глобальные данные (взаимное размещение частей объекта, контраст, относительные

размеры и др.). Например, в процессе слежения за объектом человеческий глаз опирается, как правило, на незначительное число устойчивых к изменениям характеристик объекта. Естественно выдвинуть гипотезу о том, что применение разрабатываемых интеллектуальных методов для систем обработки видеоданных должно быть связано с формированием незначительного по мощности, но в то же время эффективного для классификации подмножества устойчивых по некоторому критерию признаков.

Немаловажную роль при классификации изображений играет свойство инвариантности к геометрическим преобразованиям, которое определяется используемым способом формирования элементов описания (детекторы ключевых точек SURF, SIFT) [1]. Основным требованием к таким детекторам является обеспечение достаточного уровня стабильности значений вычисленных инвариантных признаков при изменении параметров геометрических преобразований.

При применении структурных методов распознавания изображений множество признаков обычно связано с пространством R^n векторов фиксированной размерности с действительными компонентами [1–3]. Структурное описание видео-объекта – это конечное множество $Z \subset R^n$.

Формальное снижение размерности пространства признаков в общем случае сводится к построению отображения:

$$\Xi: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_p \rightarrow Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_q, \quad q < p, \quad (1)$$

где X_1, \dots, X_p – исходный набор признаков, Y_1, \dots, Y_q – новый набор признаков, \times – символ декартова произведения множеств, p, q – размерности исходного и сжатого пространств [4]. При этом считается, что каждый из признаков имеет свою область значений. Применительно к описаниям $X_i \in R^n, Y_j \in R^n$ можно рассмотреть два основных способа построения Ξ : путем сокращения числа векторов в Z и/или уменьшения размерности n отдельного вектора, т.е. через переход к пространству $R^v, v < n$. В частности, построение R^v можно реализовать путем перекувантования или передискретизации вектора признаков по значению отдельной компоненты или по всему числу компонент.

Сокращение числа векторов в описании Z предполагает построение сжатого описания Z^* на основе отображения (1) вида $\Xi: Z \rightarrow Z^*$, вариантом которого есть формирование подмножества $Z^* \subset Z$ значительно меньшей мощности путем применения некоторой процедуры фильтрации. В теории распознавания этот способ ассоциируется с формированием множества наиболее значимых признаков. Другой вариант построения Ξ состоит в

смысловом агрегировании элементов Z путем объединения их свойств в более глобальные структуры данных, формирующие Z^* [4]. В целом компрессирование направлено на уменьшение объема вычислений и снижение требований к методам распознавания с точки зрения быстродействия. Выигрыш во времени пропорционален отношению мощностей старой и новой (сжатой) систем признаков. В то же время надо иметь в виду, что уменьшение объема описания путем компрессирования может привести к снижению вероятности распознавания в условиях помех.

Возьмем за основу снижения размерности признакового пространства одно из важнейших свойств – устойчивость значений инвариантных признаков описания при действии геометрических преобразований. Понятно, что устойчивость в полной мере определяется используемым детектором признаков. Другие принципы фильтрации данных могут применять, например, отбор наиболее информативных элементов описания.

Цель исследования – построение метода компрессирования структурного описания на основе свойства стабильности его компонент в условиях влияния геометрических преобразований.

Задачи статьи состоят в развитии теории сжатия в признаковом пространстве с применением свойства стабильности, вычислении подобия для сжатых описаний, осуществлении экспериментальных исследований и сопоставлении результатов с другими методами для конкретных баз видеoinформации.

Способ формирования сжатого описания. Построим вначале множество изображений, которое будет основой установления и формирования устойчивого сокращенного подмножества признаков. Для этого выберем произвольный эталон из видео-базы и подвергнем его фиксированному числу N различных значений геометрических преобразований из группы $G = \{g_i\}_{i=1}^N$. Одним из вариантов обработки есть дискретизация всего допустимого в практических приложениях пространства преобразований. Например, для преобразования поворота последовательно вращаем эталон на дискретные углы $g_1 = 20^\circ$, и т.д. до $g_{18} = 360^\circ$, здесь $N = 18$. Еще одним приемлемым способом формирования G может быть процедура случайного выбора его N элементов по равномерному закону из некоторого конечного множества.

Для каждого из преобразованных изображений путем применения детектора формируем описание Z_1 в виде множества векторов характерных признаков. Обозначим S – размер исходного эталонного описания Z (при угле поворота $g_0 = 0^\circ$), s_1 – размер описания Z_1 преобразованного эталона.

Применим теперь отображение Θ установления соответствий $\Theta: Z \rightarrow Z_1$ элементов двух описаний, в процессе реализации Θ для каждого

$z \in Z$ попытаемся установить элемент $z_1 \in Z_1$ через построение соответствия $\beta(z, z_1) \in \{0, 1\}$, которое равно 1, если z_1 сформирован, и 0 – в противном случае [5]. Формально соответствие Θ между множествами Z, Z_1 с элементами $z \in Z, z_1 \in Z_1$ определено как подмножество декартова произведения $\Theta \subseteq Z \times Z_1$ и может быть задано таблицей. С каждым из сформированных соответствий $\beta(z, z_1)$ свяжем значение $\rho(z, z_1)$ метрики, путем минимизации значений которой оно синтезируется. В качестве $\rho(\cdot)$ может быть использована произвольная метрика в R^n . Выполним отображение Θ , в результате для каждого $z \in Z$ получим значение β . Сформируем бинарный массив $\beta^g = \{\beta_1^g, \beta_2^g, \dots, \beta_s^g\}$, который свяжем со значением преобразования g .

Проведем испытания для всех изображений, полученных путем применения к выбранному эталону геометрических преобразований из $G = \{g_i\}_{i=1}^N$. Для каждого номера q элемента в векторе β^g подсчитаем число сформированных соответствий

$$k_q = \sum_{i=1}^N \beta_q^i, \quad q \in [1, s], k_q \in [0, N] \quad (2)$$

в серии из N испытаний. Будем использовать критерий (2) как характеристику устойчивости q -го признака эталона. По результатам обработки на множестве G сформируем таблицу значений критерия k_q для всех s признаков. Для однозначных соответствий выполняется $k_q \leq N$. При этом факт возможного формирования соответствия с «чужим» признаком не контролируется. Правильность установления соответствия полностью определяется отображением Θ . Значение критерия k_q отражает рейтинг устойчивости для q -го признака.

Далее обработаем элементы множества $\{k_q\}_{q=1}^s$ путем ранжирования и выделим в нем подмножество Q^m из m номеров элементов с наибольшим значением рейтинга k_q . Еще одним вариантом обработки может быть формирование Q^m из номеров элементов, имеющих максимальное значение k_q . В этом случае величина m получается как результат анализа. Понятно, что выбор m для успешного решения задачи распознавания зависит от эталонов как элементов видео-базы. Описанный подход к формированию сжатого описания (схема на рис. 1) можно характеризовать как синтез подмножества наиболее устойчивых компонентов описания.

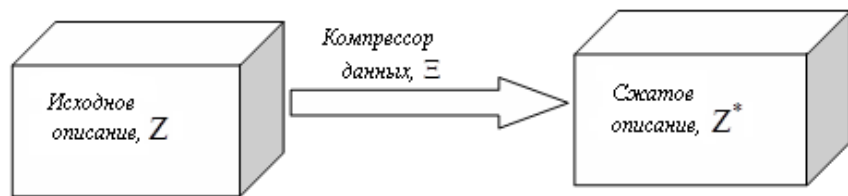


Рис. 1 – Схема компрессирования

Другим вариантом обсуждаемого способа компрессирования данных может быть использование для рейтингования компонентов критерия в виде суммы значений минимумов расстояний, при которых сформировано каждое соответствие из Q^m . Значение r_q этого критерия опишем как сумму

$$r_q = \sum_{i=1}^{k_q} \rho(z_q, z_{ii}), \quad (3)$$

где $\rho(z_q, z_{ii})$ – расстояние для сформированного соответствия $\beta_i^q = 1$. Чаще всего в качестве ρ используют евклидову метрику. Чем меньше значение r_q , тем лучшим образом сформировано сжатое множество Q^m . В идеальном случае $r_q = 0$. Возможно также совместное использование критериев (2),(3) в одной процедуре. Значение критериев представим в виде таблицы.

Значения критериев устойчивости признаков

Номер признака эталона	1	2	...	s-1	s
Число соответствий	k_1	k_2	...	k_{s-1}	k_s
Сумма расстояний	r_1	r_2	...	r_{s-1}	r_s

Обработка значений таблицы в целях формирования Q^m может быть выполнена несколькими способами, такими как: а) пороговая обработка, при котором в Q^m отбираются те номера признаков, для которых $k_q \geq \delta_k$, где δ_k – порог для числа повторений признака; б) ранжирование $\{k_q\}$ по убыванию и выделение из полученного ряда m первых признаков. В любом случае для эталона должно быть сформировано не менее чем m признаков, с использованием которых будет осуществляться распознавание или классификация.

Результат формирования сжатого описания Q^m на основе сопоставления зависит от ряда факторов, в частности, от способа получения признаков (в большей степени) и от правила, устанавливающего эквивалентность

компонентов описаний. Свойства детектора и правило определяются рядом параметров. К ним относятся: порог δ_p на величину минимума расстояния $\rho(z_q, z_{ii})$ между векторами (в традиционном варианте принято $\delta_p = 0,24$, что соответствует 1,5% от максимально возможного отклонения [5]), значение отношения минимума к ближайшему минимуму (принимается равным 0,7). Кроме того, на результат в значительной степени влияет также способ моделирования геометрических преобразований. Так, при применении методов интерполяции повышается число достигнутых соответствий за счет возрастания числа точек.

Рассмотренную обработку можно применить и для других преобразований, например, масштабирования, а также для преобразований комплексированного типа. В то же время для наиболее простых преобразований смещения на целые величины, где нет искажений, связанных с дискретизацией раstra, обсуждаемый подход напрямую не применим, т.к. вследствие отсутствия потерь точек описания значение k_q для всех признаков будет равно N , и стабильные точки можно выбирать произвольным образом. Для смешанных преобразований, применяемых на практике (смещения, поворот, масштаб) применение подхода не вызывает затруднений.

По результатам обобщенного анализа для всех эталонов видео-базы сформируем подмножества Q_i^m для i -го эталона. В результате достигаем сокращения объема информации в базе данных, представляя каждый из эталонов описанием из m элементов. Эта процедура допускает обобщения. Например, можно установить разное число наиболее устойчивых характерных признаков для разных эталонов по порогу для значения метрики. Другой вариант построения сжатой базы может быть связан с последовательной процедурой отбора признаков, которые не содержатся в уже синтезированных описаниях других эталонов.

Результаты компьютерных экспериментов. Гипотеза об объективном существовании устойчивого при геометрических преобразованиях подмножества характерных признаков (ХП) получила полное подтверждение в эксперименте. Проведение компьютерного моделирования осуществлялось для нескольких баз изображений, в частности, для изображений шахматных фигур (шесть изображений, рис. 2). Отображение (1) реализовано программно путем формирования для эталонного описания массива «стабильных» точек при осуществлении конечного числа $N=18$ поворотов. Множество стабильных точек формировалось как набор с наибольшим числом повторений. На рис. 3 приведены примеры эталонного изображения шахматной фигуры коня со сформированными характерными признаками (рис. 3, а, 239 точек), а также преобразованное изображение (рис. 3, б, в) с

разным числом стабильных точек при значениях параметра $\delta_p=0,24$ (64 точки), $\delta_p=0,16$ (31 точка). При $\delta_p=0,08$ число стабильных точек равнялось 6. Такие значения порога отражают точность сопоставления в виде процента от максимального значения отклонения между векторами SURF в евклидовой метрике: 0,08–0,5%, 0,16–1%, 0,24–1,5%. Из рис. 3 видно, что путем изменения параметра δ_p , фактически отражающего размер допустимой окрестности для эквивалентных векторов в R^n , можно управлять числом стабильных точек.

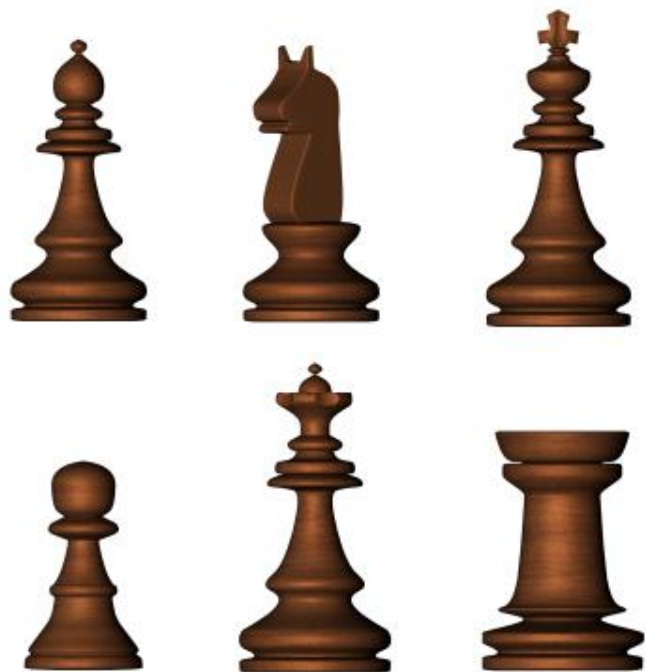


Рис. 2 – База видео-объектов

На рис. 4 приведены гистограммы для числа повторений точек (по оси абсцисс – число повторений, по оси ординат – число точек описания). Каждая гистограмма содержит 18 столбиков. Вид гистограмм рис. 4 подтверждает целесообразность проведения классификации точек по критерию устойчивости, т.к. максимумы гистограмм имеют ярко выраженный характер, особенно при малых значениях порога δ_p . При наибольшем из исследуемых

значений $\delta_p=0,24$ гистограмма выравнивается, и число точек с максимальным числом повторений возрастает.

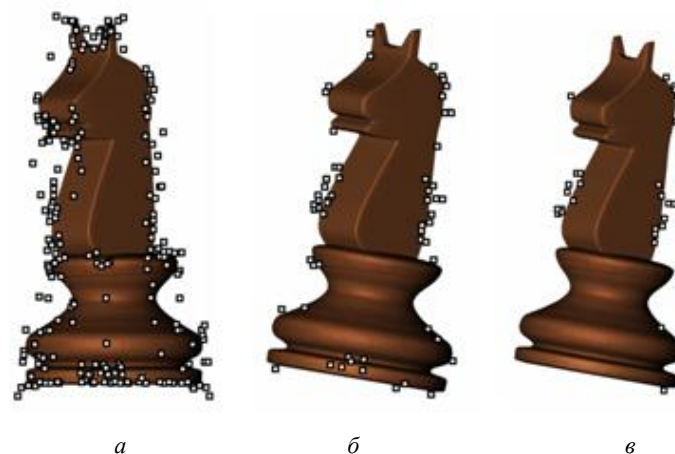


Рис. 3 – Изображения с ключевыми признаками: а – эталонное (число признаков 239), б – при $\delta_p=0,24$ (64), в – $\delta_p=0,16$ (31)

Анализ показывает, что достаточно большое число точек (19) имеют близкие параметры устойчивости (повторяются 16–17 раз из 18). При этом также существенное число точек (до 49) имеют очень низкий коэффициент повторения (0–3), что в целом подтверждает практическую целесообразность разделения исходного описания на подмножества, т.к. получается, что существенное число точек сформированного описания можно отнести к «мусору» при распознавании.

Таким образом, при $m=31$ коэффициент сжатия γ можно оценить как $\gamma = 239 / 31 \approx 7,7$. Заметим, что полученное сжатое описание из 31 точки в соответствии с описанной схемой обработки допускает дальнейшее сокращение за счет уменьшения величины m путем исключения элементов по какому-то иному принципу. Как видим, параметром m можно управлять, непосредственно влияя на уровень компрессии описания. При $\delta_p=0,08$ число точек с коэффициентом повторения 18 равно 6, и, соответственно, коэффициент сжатия достигает величины $\gamma = 239 / 6 \approx 39,8$.

Моделирование для преобразований масштаба при пороге $\delta_p=0,16$ привело к формированию 9 наиболее стабильных точек описания, причем отсутствует пересечение этого множества стабильных точек с множеством точек при повороте для одного и того же изображения эталона. В то же время

при пороге $\delta_p=0,24$ эти 9 точек уже попадают в состав множества стабильных точек. Это в очередной раз подтверждает гипотезу об объективном существовании подмножества стабильных точек описания. Результаты проведенных экспериментов для преобразований поворота и масштаба (значения масштаба 0,8, 1,0, 1,2, $N=54$, $\delta_p=0,24$) отображены в виде гистограммы рис. 4, а и демонстрируют стабильность 46 точек из 239 с максимальным числом повторений, равным $N=54$. Это говорит об универсальности описанного подхода для практического разнообразия допустимых преобразований.

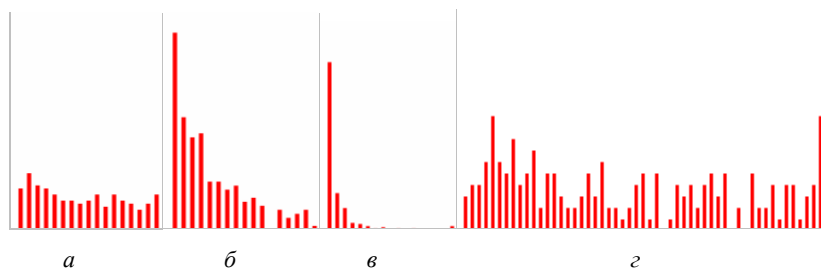


Рис. 4 – Гистограммы распределения числа повторяющихся точек при порогах $\delta_p=0,24$ (а), $\delta_p=0,16$ (б), $\delta_p=0,08$ (в), $\delta_p=0,24$ (г) – поворот и масштаб

Важным моментом при построении сжатых описаний для любого подхода остается сохранение высокого уровня вероятности распознавания. При этом понятно, что уменьшение размерности пространства путем фильтрации в общем случае непреодолимо приведет к снижению этой вероятности. Динамика снижения непосредственно связана с базой видеоданных, для которой осуществляется классификация. И в произвольной базе качество различения определяется самым слабым звеном – двумя наиболее схожими в пространстве объектами. Снижение вероятности не произойдет лишь в идеальной ситуации, если множества признаков для всех эталонов базы вообще не имеют пересечений. Этим свойством не обладает база шахматных фигур. Дело в том, что для отдельных фигур базы, например, короля и ферзя, число общих точек достигает значения 58% (269 общих точек из 465).

По этой причине были проведены сравнительные эксперименты для базы домашних животных [5]. В целом для неё сохраняются полученные выводы по возможности формирования подмножества стабильных точек, но число общих точек этой базы не превышает 5% от их общего количества.

Несмотря на указанное замечание, даже для базы шахматных фигур сохраняется безошибочная классификация на уровне 40% от всего числа точек описания, что допускает уровень компрессирования 2,5 раза.

Выводы. В результате проведенного исследования доказана гипотеза о существовании подмножества устойчивых точек в структурном описании видео-объекта в виде множества инвариантных характерных признаков. Степень устойчивости определяется применяемым методом для выделения характерных признаков, а также порогом точности при установлении их эквивалентности.

Предложенный в статье новый метод компрессирования описания видео-объекта состоит в реализации следующих шагов: 1) установление подмножества наиболее стабильных точек описания с точки зрения сохранения свойства инвариантности к группе геометрических преобразований; 2) формирование сжатого описания из состава элементов полученного подмножества стабильных компонент описания. Классификация объектов при этом выполняется в обычном режиме с использованием компрессированного описания в виде сокращенного числа точек, что значительно эффективнее с точки зрения быстродействия при решении прикладных задач. Вероятность правильной классификации при этом сохраняется на высоком уровне.

Практически важным результатом есть экспериментальное подтверждение теоретических принципов построения системы сжатия на основе формирования стабильных точек, что говорит о целесообразности применения предложенных методов в задачах компьютерного зрения. Несомненным преимуществом подхода есть существенный выигрыш во времени обработки и сокращение объема описания. Перспективы исследования состоят в обобщении подхода в плане его универсального применения для произвольной базы видеоданных с точки зрения получения предельного числа точек эталонов для осуществления качественной классификации.

Список литературы. 1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 2. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; под ред. С. А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. 3. Гаганов В. Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях [Электронный ресурс] / В. Гаганов. – Режим доступа: http://cgm.computergraphics.ru/issues/issue17/invariant_features. 4. Петровский А. Б. Снижение размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации / А. Б. Петровский, Г. В. Ройзензон // Decision Making and Business Intelligence Strategies and Technique. – Ed. by K. Markov, K. Ivanova, I. Mitov. – No. 3. – Sofia: FOI ITHEA. – 2008. – P. 81–86. 5. Власенко Н. В. Анализ кортежей наиболее значимых соответствий между описаниями объектов в задачах метрического распознавания / Н. В. Власенко, В. П. Мацталир // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 20–32. 6. Duda R. O. Pattern classification / Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G. – 2 ed., Wiley, 2000. – 738 p.

Надійшла до редколегії 08.12.2012

Т. В. ПОЛЯКОВА, аспирант каф. информатики ХНУРЭ, Харьков;
Ю. А. КУЛИКОВ, аспирант каф. информатики ХНУРЭ, Харьков;
В. А. ГОРОХОВАТСКИЙ, д-р. техн. наук, проф. ХИБД НБУ, Харьков

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР

Досліджуються нові ознакові простори на множині координат структурних ознак зображень. Ознакові просторові структури відображають взаємне розташування та зв'язок окремих частин відео-об'єкта. Наведені результати розробки методів, які за рахунок скорочення надмірності описів знижують об'єм обчислювальних витрат. Обговорюються результати експериментів по класифікації зображень на основі запропонованих методів.

Ключові слова: класифікація зображень, характерні ознаки, структурний опис, афінні інваріанти, ознакові просторові структури, голосування, обчислювальні витрати, ймовірність правильної класифікації.

Исследуются новые признаковые пространства на множестве координат структурных признаков изображений. Признаковые пространственные структуры отражают взаимное расположение и связь отдельных частей видео-объекта. Приведены результаты разработки методов, которые за счет сокращения избыточности описания снижают объем вычислительных затрат. Обсуждаются результаты экспериментов по классификации изображений на основе предложенных методов.

Ключевые слова: классификация изображений, характерные признаки, структурное описание, аффинные инварианты, признаковые пространственные структуры, голосование, вычислительные затраты, вероятность правильной классификации.

There have been researched new feature spaces on the set of coordinates of structural features of images. The feature spatial structures reflect relative position and relationship of individual parts of the video object. The development results of the methods, that reduce the amount of computing costs by decrease descriptions redundancy, have been put. The results of experiments on image classification based on the proposed methods are discussed.

Keywords: image classification, characteristic features, structural description, affine invariants, feature spatial structures, voting, computing costs, probability of correct classification.

Введение. Структурные методы анализа видеоданных в настоящее время являются основными при решении прикладных задач компьютерного зрения [1]. Особую ценность для задач распознавания видео-объектов имеет геометрическая информация, которая содержится в координатах характерных признаков (ХП). ХП являются основой построения структурных описаний и отражают локально-пространственные свойства объектов в отдельных точках [2–7]. Человеческое зрение редко прибегает к анализу функции яркости визуальных объектов, в основном опираясь при решении практических задач исключительно на геометрические характеристики объектов, которые можно вычислить непосредственно на основе множества координат ХП.

Исключительно на основе координат ХП можно построить признаки более сложного плана, к которым относятся аффинные инварианты (АИ),

11 © Т.В. Полякова, Ю.О. Куликов, В.О. Гороховатський, 2013

которые можно считать частным случаем более общих признаковых пространственных структур (ППС). Значения АИ непосредственно отражают геометрическую форму объекта и обладают свойствами инвариантности к аффинным преобразованиям на плоскости. С другой стороны, АИ позволяют сохранять устойчивость при действии пространственных помех, т.к. наряду с ХП отражают локальные особенности взаимного расположения подмножеств точек объекта. Схема преобразования данных с использованием ППС представлена на рис.1.

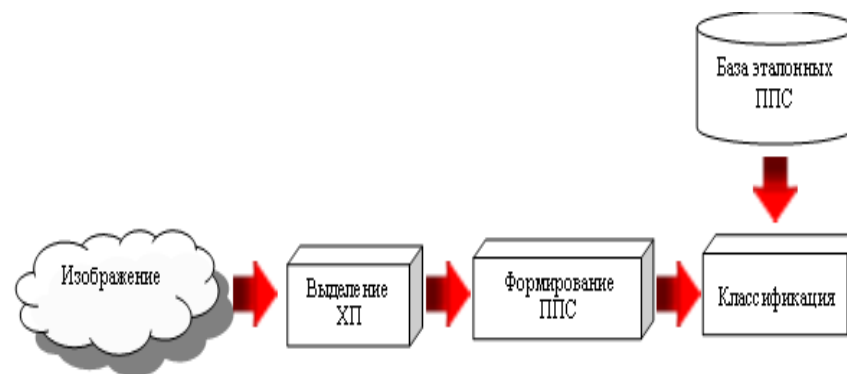


Рис. 1 – Преобразование данных в процессе структурной классификации

Описание визуального объекта формально представим в виде конечного множества $U = \{u_i\}_{i=1}^n$ элементов u_i , которые опишем кортежем:

$$u_i = \langle d_i, x_i, y_i, \{\alpha_q\}_{q=1}^{m_i} \rangle, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, n}$, n – количество ХП в описании U , $\alpha_q = (\zeta_q, \eta_q)$ – значения АИ (или аффинных проекций) [5,6], $m_i = 6C_{n-1}^3$ – количество величин α_q для i -го ХП, $d_i \in R^k$ – k -мерный числовой вектор-дескриптор атрибутивных признаков, инвариантный к геометрическим преобразованиям из некоторой группы, который отражает свойства изображения в локальной окрестности точки (x_i, y_i) и полученный путем применения современных методов SIFT, SURF [4,7]. В общем случае каждое из множеств $\{x_i, y_i\}, \{d_i\}, \{\alpha_q\}$ есть мультимножество [9].

Координаты $c_i = (x_i, y_i)$ для элемента $u_i \in U$ могут быть представлены в некотором базисе $\{e_0, e_1, e_2\}$ в виде пары (ζ, η) АИ [1]:

$$c_i = e_0 + \zeta(e_1 - e_0) + \eta(e_2 - e_0). \quad (2)$$

В общем случае при перестановке порядка элементов базиса для одного ХП значения (ζ, η) изменяются. Обозначим $\gamma = 1 - \zeta - \eta$ и запишем (2) в виде [6]:

$$c_i = \gamma e_0 + \zeta e_1 + \eta e_2. \quad (3)$$

Путем представления (3) после упорядочивания (γ, ζ, η) значение числа АИ m_i сокращается в 6 раз, т.е. в описании (1) можно принять $m_i = C_{n-1}^3$, $\alpha_q = \{\zeta_q, \eta_q, \gamma_q\}$. Это значительно снижает общие вычислительные затраты при анализе и сопоставлении совокупностей АИ.

Введем определение пространства A признаков пространственных структур как подпространства $A \subset R^3$, рассматривая его как обобщение множества АИ, и исследуем свойства этого пространства применительно к задаче инвариантной классификации в базах видеоданных. Для определенности будем рассматривать задачу классификации видео-объектов на конечном множестве классов как вычисление и оптимизацию меры подобия их описаний [1,2].

В частности, используем расстояние между значениями ППС в евклидовой метрике:

$$\rho_a(\alpha_q, \alpha_p) = \sqrt{(\gamma_q - \gamma_p)^2 + (\zeta_q - \zeta_p)^2 + (\eta_q - \eta_p)^2}. \quad (4)$$

Эффективным средством устранения повреждений отдельных элементов структурного описания есть логическая обработка значений используемой меры подобия, например, в виде предиката $L_V(\rho_V, \varepsilon_V, a, b) = \begin{cases} 1, & \rho_V(a, b) \leq \varepsilon_V \\ 0, & \rho_V(a, b) > \varepsilon_V \end{cases}$, где $a, b \in V$ – признаки или множества признаков из некоторого пространства V , ε_V – порог для значения метрики, который определяет точность при установлении эквивалентности компонентов описания a и b .

Обозначим элемент $\alpha_i \in A$, где $i = \overline{1, m}$, $\alpha_i = (\zeta_i, \eta_i, \gamma_i)$, m – мощность (число точек) множества A . Элементы α_i формируются путем перебора всевозможных базисов (троек ХП), координаты которых не лежат на одной прямой. Для каждого базиса вычисляются $(n-3)$ значений АИ.

На рис. 2 приведен график зависимости числа элементов ППС m от величины n . Анализ графика показывает, что количество элементов ППС резко возрастает с ростом количества точек в описании. Так, при числе ХП равном 20, количество ППС достигает 19 тысяч. Нелинейный характер роста числа ППС в зависимости от значения n в описании требует применения

специальных методов структурирования и фильтрации множества ХП в целях сокращения описания.

Применяя обсуждаемые в данной статье варианты анализа множества ППС с точки зрения группировки его элементов вокруг отдельных ХП или вокруг отдельных базисов, можно достичь улучшения характеристик распознавания за счет использования разработанных процедур фильтрации множества ППС.

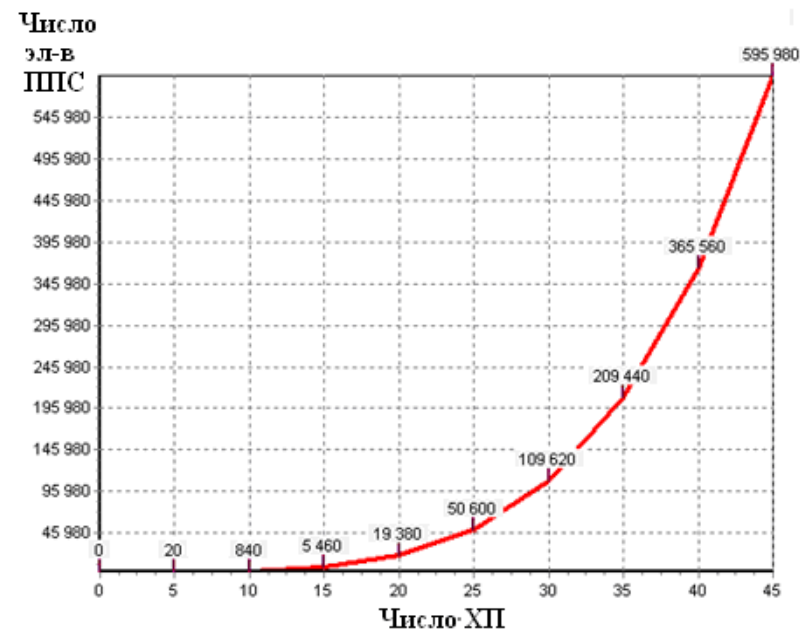


Рис. 2 – Зависимость числа ППС от количества ХП

Цель работы – исследование моделей для представления признаков пространственных структур, основанных на группировке элементов структурного описания для повышения эффективности решения задач классификации с точки зрения вычислительной сложности и достоверности.

Задачи исследования: формализация процедур сопоставления описаний в виде множеств признаков пространственных структур, оценка эффективности разработанных моделей на основе анализа аффинных базисов или характерных признаков в рамках одного базиса.

Структурные модели пространства признаков структур. Исходя из процедуры построения структурного описания, множество A можно интерпретировать как $A = \bigcup_k \bigcup_q \alpha_{kq}$, где α_{kq} – конкретный АИ, относящийся к

k -му базису, q – номер ППС для точек описания. Обсудим варианты представлений, анализа и групповой обработки множества A в целях эффективного сопоставления описаний при классификации.

1. Рассмотрим представление в виде объединения (покрытия): $A = \bigcup_k \{\alpha\}_k$, где $k = \overline{1, C_n^3}$, $\{\alpha\}_k \in A$ – подмножество значений ППС для k -го базиса. Подмножество $\{\alpha\}_k$ представляет собой набор векторов – троек значений ППС для всех ХП в системе координат одного базиса (рис. 3). Структурно множество $\{\alpha\}_k$ имеет следующий вид:

$$\{\alpha\}_k = \langle e_k, \{\alpha_q^k\}_{q=1}^{n-3} \rangle, \quad (5)$$

где e_k – базис, вокруг которого осуществляется группировка.

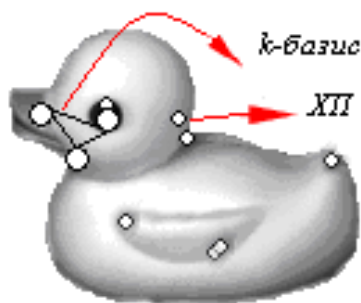


Рис. 3 – Иллюстрация формирования $\{\alpha\}_k$

Сопоставление двух разных описаний A и B сводится к вычислению меры подобия, отражающей число эквивалентных элементов множеств [2]. Традиционная схема реализуется как перебор элементов по правилу «каждый с каждым». Пусть A – эталон с числом ППС m_A , а B – анализируемый объект с числом ППС m_B , тогда их подобие можно определить через установление эквивалентности отдельных базисов, представленных подмножествами ППС. Например, будем считать два базиса эквивалентными, если для конкретного базиса из описания A найдено более половины эквивалентных элементов из текущего базиса описания B . Если такая эквивалентность установлена, проверка остальных базисов из состава B не

осуществляется. В результате мера подобия определяется как доля эквивалентных базисов к общему числу базисов эталона A .

Другой вариант сводится к установлению соответствия между отфильтрованными множествами базисов эталона и объекта [3]. В целях сокращения структурного описания введем процедуру $F_1: A \rightarrow A_1$ фильтрации на множестве базисов. В результате получим сжатое описание $A_1 = \bigcup_k \{\alpha\}_k$, где $k = \overline{1, s}$, s – число элементов в сжатом описании. Коэффициент сжатия равен C_n^3/s , что соответственно сокращает время классификации. Одним из примеров F_1 может быть процедурное априорно определенное формирование A_1 на принципах участия каждого эталонного ХП хотя бы в одном из базисов, используемых при сопоставлении в целях классификации.

2. Представим описание в формате покрытия $A = \bigcup_q \{\alpha\}_q$, $q = \overline{1, n}$, $\{\alpha\}_q$ – подмножество ППС для ХП с номером q . Подмножество $\{\alpha\}_q$ содержит совокупность тех α , которые представляют один ХП во всех базисах (рис. 4). Структура элемента описания в этом случае примет вид кортежа:

$$\{\alpha\}_q = \langle x_q, y_q, \{\alpha_k\}_{k=1}^{C_n-1} \rangle. \quad (6)$$

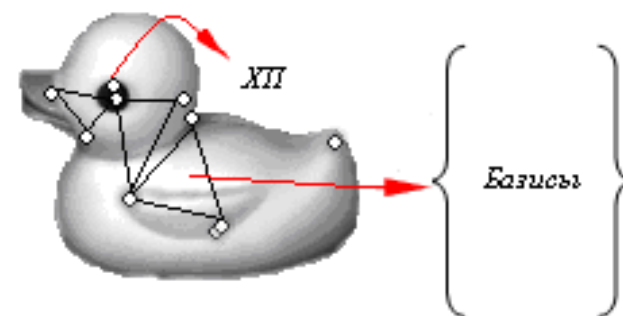


Рис. 4 – Иллюстрация формирования $\{\alpha\}_q$

Так как множество ППС содержит информацию о форме объекта, а множество ППС формируется на основе всевозможных комбинаций базисов для $n-1$ ХП, то всегда можно выбрать некоторое подмножество $n_v < n$ элементов, от которых в определяющей мере зависят геометрические

характеристики распознаваемого объекта. В этом случае подобие описаний можно установить на основе эквивалентности n_v элементов эталона. За счет сокращения количества точек в представлении эталона снижается и число базисов, которые формируются на основе этих точек, что в результате снижает вычислительную сложность распознавания.

Учитывая в представлении (6) дублирование структурных данных для разных ХП, целесообразно осуществить фильтрацию множества ХП, что одновременно с сокращением данных часто обеспечивает достаточно высокий уровень достоверности. Конкретным примером F_2 является проверка точек описания на коллинеарность, что фильтрует и в значительной мере сокращает объем описания [5].

Обсуждаемые методы сжатия описаний путем фильтрации зависят от выбранной базы эталонов, а также от ряда факторов: метода для вычисления ХП, порога на коллинеарность, требуемой достоверности распознавания, процедур выбора базисов и ХП в сжатом описании. Заметим, что введенные процедуры построения эффективных описаний обладают важным достоинством в плане управляемости необходимым объемом анализируемых при распознавании данных для достижения нужного уровня достоверности. Понятно, что факторы достоверности и вычислительных затрат являются взаимно исключающими, что дает возможность выбора решения на основе оптимального соотношения их взаимосвязи или предпочтения одного из этих факторов в зависимости от решаемой проблемы. Оба варианта обработки реализуют схему рис. 1, относятся к покрытиям множества, близки друг другу в плане использования одного и того же исходного множества ППС, которое построено инвариантных характеристиках координат множества ХП.

Компьютерное моделирование. Экспериментальное исследование рассматриваемых в работе моделей анализа структурных описаний в виде множеств ППС проведено для базы видео-данных Coil-20 [2,5]. Суть процедуры F_2 сводилась к проверке коллинеарности координат базиса, а сравнение осуществлялось путем установления эквивалентности подмножеств $\{\alpha\}_q$ объекта и эталона. Порог для проверки коллинеарности для множества дискретных координат выбран равным значению 3. Два подмножества $\{\alpha\}_q$ считались эквивалентными, если для объекта найдено более половины эквивалентных элементов, соответствующих эталонному подмножеству. Использовались параметры процедуры фильтрации, для которых вероятность правильной классификации оставалась равной 1.

Результаты экспериментов при данных условиях показали, что для отфильтрованного пространства ППС эталона среднее время классификации с применением модели 2 примерно в 5,5 раза меньше, чем для полного пространства. При этом объем описания, непосредственно влияющий на затраты памяти, сократился приблизительно в 1,2 раза.

Цель применения процедуры F_1 состоит в сокращении числа базисов на эталонном описании при сохранении достаточного уровня достоверности. Исходя из этих требований, суть F_1 заключалась в отборе не менее 30% базисов, в частности, выбирался каждый третий базис из полного множества. Эксперименты показали, что в результате применения F_1 время сопоставления сократилось в 2,5 раза.

Критерием, отражающим достоверность классификации для конечной базы данных, выбрана величина $\theta = h_1 / h_2$, где h_2 – максимальное число голосов, h_1 – ближайший к нему максимум. Значение θ служит показателем уверенности в принятии решения на основе максимума голосов, отданных за эталон. Глобальное решение в случае меньшего значения θ в большей степени значимо по отношению к локальному максимуму, который соответствует наиболее близкому из остальных (возможно, ложных) классов.

Достоверность классификации по критерию θ с применением структурных моделей пространства ППС значительно улучшилась в сравнении с подходом независимого голосования. Для традиционного подхода (с голосованием полного множества ППС) вычислена величина критерия $\theta = 0,78$, в то время как для подхода с использованием предложенных моделей на базе процедур F_1 и F_2 значение критерия составило $\theta = 0,01$, что существенно меньше. Достоверность повышается за счет процедуры группового сопоставления элементов подмножеств объекта и эталона, а быстроедействие – за счет процедур фильтрации и принятия решения по части элементов эталона. Полученные в эксперименте данные говорят о существенных преимуществах обработки, предложенной в данном исследовании.

Выводы. Представление описаний видео-объектов в виде множеств признаков пространственных структур предназначено для учета в процессе классификации геометрических свойств и соотношений между составными частями описания.

Применение рассмотренных моделей построения структурного пространства признаков видео-объектов ориентировано в первую очередь на сокращение избыточности, что обеспечивает снижение объема вычислительных затрат. В то же время и достоверность на сокращенном описании в пространстве ППС оказывается лучше. Управление объемом структурного описания дает возможность применить на практике другие интеллектуальные подходы к анализу данных, например, связанные с визуализацией информации, с применением кластеризации и нейронных сетей для анализа и др.

Рассмотренные процедуры фильтрации F_1 , F_2 позволяют управлять размером признакового пространства в зависимости от требований

прикладных задач. Такая гибкость может быть одним из путей решения проблемы хранения описаний видеоданных при создании визуальных баз знаний.

В статье показано, что применение разработанных моделей представления пространства геометрических инвариантных признаков, основанных на перегруппировке структурных элементов, обеспечивает повышение показателей достоверности и быстродействия классификации. На примере построенного пространства признаков получено экспериментальное подтверждение эффективности предложенных методов.

Практически важным является получение предпочтительных характеристик результатов сопоставления по сравнению с известными методами, что говорит о целесообразности развития и применения предложенных моделей обработки в задачах компьютерного зрения.

Перспективы исследования состоят в развитии предложенных моделей представления и фильтрации в плане их адаптации к свойствам и особенностям конкретных баз видеoinформации.

Список литературы: 1. *Шануро Л.* Компьютерное зрение / *Л. Шануро, Дж. Стокман.*; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 2. *Gorokhovatsky V. A.* Image Likelihood Measures of the Basis of the Set of Conformities / *V. A. Gorokhovatsky, Ye. P. Putyatin* // *Telecommunications and Radio Engineering.* – 2009. – Vol. 68 (9). – P. 763–778. 3. *Gorokhovatskiy V. A.* Compression of Descriptions in the Structural Image Recognition / *V. A. Gorokhovatskiy* // *Telecommunications and Radio Engineering.* – 2011. Vol. 70, No 15. – P. 1363 – 1371 4. *Lowe D. G.* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints / *D. G. Lowe* // *International Journal of Computer Vision.* – 2004. – Vol. 60 (2). – P. 91–110. 5. *Гороховатский В. А.* Повышение быстродействия метода аффинных инвариантов при сопоставлении структурных описаний визуальных объектов / *В. А. Гороховатский, Т. В. Полякова* // *Системы управления, навигации та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ навігації і управління.* – 2009. – Вип. 2 (10). – С. 85–89. 6. *Rahtu E.* Object classification with multi-scale autoconvolution / *E. Rahtu, J. Heikkila* // *In Proceedings of ICPR04.* – Cambridge, England. – 2004. – Vol. 3. – P. 37–40. 7. *Bay H.* Surf: Speeded up robust features / *H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool* // *European Conference on Computer Vision.* – 2006. – P. 404–417. 8. *Гороховатский В. А.* Применение процедур голосования в структурных методах распознавания визуальных объектов / *В. А. Гороховатский* // *Вестник НТУ ХПИ. Системный анализ, управление и информационные технологии.* – Х.: НТУ ХПИ. – 2006. – № 39. – С. 132–140. 9. *Гороховатский В. А.* Формализм мультимножеств в задачах структурного распознавания и поиска в базах видеоданных / *В. А. Гороховатский, Ю. А. Куликов* // *Искусственный интеллект.* – 2012. – №1. – С. 76–85.

Надійшла до редколегії 08.12.2012

УДК 519.2

А. Ю. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, д-р физ.-мат. наук, проф. СГУ, Сумы

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Розглянуто типові задачі математичної статистики, що відносяться до корельованим послідовностям (часовим відлікам) з заданим фіксованим рівнем статистичного зв'язку між ними. Одержані аналітичні вирази, що описують розподіл хі-квадрат у випадку корельованих відліків. Показано, що отримані результати можуть бути застосовані в задачах прийняття статистичних рішень. Представлені графіки функції та щільності розподілу хі-квадрат при наявності кореляції.

Ключові слова: статистичні дані, розподіл хі-квадрат, корельовані відліки, щільність розподілу, функція розподілу.

Рассмотрены типичные задачи математической статистики, отнесенные к коррелированным последовательностям (временным отсчетам) с заданным фиксированным уровнем статистической связи между ними. Получены аналитические выражения, описывающие распределение хи-квадрат для случая коррелированных отсчетов. Представлены графики функции и распределения хи-квадрат при наличии корреляции.

Ключевые слова: статистические данные, хи-квадрат, коррелированные отсчеты, плотность распределения, функция распределения.

The typical problems of mathematical statistics, related to correlated sequences (to time counts) with a given fixed level of statistical correlation between them, are considered. The analytic expressions featuring distributions Chi-Squared's ones in the case of correlated counts are obtained. The charts of functions and distributions Chi-Squared's in the case of correlated counts are introduction.

Keywords: statistical data, Chi-Squared distribution, correlated sequences, the charts of functions and distributions.

Введение. При аналитическом рассмотрении задач теории вероятностей и математической статистики распространено допущение о том, что рассматриваемая задача получила своё разрешение, если построена характеристическая (производящая) функция рассматриваемой случайной величины. Это можно пояснить тем, что при сложении случайных величин искомая плотность распределения композиции есть многократная (по числу слагаемых) свертка парциальных плотностей, в то время как характеристическая функция композиции является произведением парциальных характеристических функций [1, 2], то есть операцией существенно более просто выполнимой, чем многократное интегрирование.

Однако операция обратного преобразования Фурье или обратного преобразования Лапласа вызывает основные трудности в вычислительном отношении. Как числовая процедура преобразование Фурье характеризуется неустойчивостью, степень которой увеличивается с ростом параметра

© Г. Ю. Сидоренко, О. С. Мазманішвілі, 2013

преобразования. Несмотря на большое число попыток [3, 4], к настоящему времени отсутствуют устойчивые алгоритмы обращения Фурье.

Известные таблицы распределений χ^2 , Стьюдента, Фишера и других [5, 6] относятся по существу к ситуации, когда наблюдаемые данные являются некоррелированными. В этой связи возникает вопрос о степени влияния корреляции данных на распределения рассматриваемых в задачах математической статистики величин (прямые задачи).

Целью данной статьи является построение числовых алгоритмов, обеспечивающих расчет стандартных статистических распределений в законе типа χ^2 , при этом в качестве источника отсчетов будет использована коррелированная последовательность.

Представление с помощью базисных функций и обращение по Лапласу. Рассмотрение будет проведено при следующем предположении: используемые ниже наборы отсчетов $\{x_0, x_1, \dots, x_N\}$ – суть совокупность сечений объемом $N+1$, взятых с постоянным временным шагом τ из реализации нормального марковского процесса Орнштейна-Уленбека (ОУ-процесса) [7, 8] $x(t)$ с интенсивностью σ и коэффициентом корреляции q .

Для интервала длительностью T рассмотрим плотность распределения вероятностей $f_J(\eta)$ случайных значений функционала

$$J = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N x_n^2, \quad (1)$$

которая выражается с помощью обратного преобразования Лапласа

$$f_J(\eta) = \frac{1}{2\pi i} \int \exp(\lambda\eta) Q_{N+1}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

через производящую функцию отсчетов

$$Q_{N+1}(\lambda) = \left\langle \exp\left(-\frac{\lambda}{N+1} \sum_{n=0}^N x_n^2\right) \right\rangle, \quad (3)$$

взятых с равномерным шагом $\tau = T/N$. Здесь и далее угловыми скобками $\langle . \rangle$ будем обозначать операцию нахождения математического ожидания относительно указываемых индексом случайных величин. Для функции $Q_{N+1}(\lambda)$ аналитическое представление было получено ранее [8]. Поскольку оно содержит вложенные радикалы, осуществить интегрирование по контуру Бромвича в (2) оказалось малоперспективным. Поэтому запишем операцию нахождения безусловного среднего $Q_{N+1}(\lambda)$ (3) явно

$$Q_{N+1}(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} dx_0 f(x_0) \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 f(x_0; x_1) \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_N f(x_{N-1}; x_N) \exp\left(-\frac{\lambda}{N+1} \sum_{n=0}^N x_n^2\right), \quad (4)$$

где

$$f(x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x_0^2}{2\sigma^2}\right), \quad f(x_n; x_{n+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1-q^2)}\sigma} \exp\left(-\frac{(x_{n+1}-qx_n)^2}{2\sigma^2(1-q^2)}\right)$$

– равновесная ($n=0$) и переходные ($n=1, 2, \dots, N$) плотности распределения вероятностей для соответствующих сечений используемого ОУ-процесса; q – коэффициент корреляции соседних отсчетов.

После алгебраических преобразований, прямого интегрирования в (4), повторенного $(N+1)$ раз, и учета нормировки получим следующее факторизационное представление для производящей функции

$$Q_{N+1}(\lambda) = \prod_{n=0}^N \sqrt{\frac{\lambda_n(N+1)}{2\lambda\sigma^2 + \lambda_n(N+1)}}. \quad (6)$$

Факторизации производящих функций отвечает свертка совокупности парциальных плотностей вероятностей $\varphi_0(\eta), \varphi_1(\eta), \dots, \varphi_N(\eta)$. Рассмотрим, например, плотность, отвечающую n -ой компоненте

$$\varphi_n(\eta) = \frac{1}{2\pi i} \int \exp(\lambda\eta) \sqrt{\frac{\lambda_n(N+1)}{2\lambda\sigma^2 + \lambda_n(N+1)}} d\lambda. \quad (7)$$

Хотя в каждом из интегралов (7) также присутствует корневая особенность, можно воспользоваться известным результатом ($\eta > 0$)

$$\varphi_n(\eta) = \sqrt{\frac{\lambda_n(N+1)}{2\pi\sigma^2\eta}} \exp\left(-\frac{N+1}{2\sigma^2} \lambda_n \eta\right), \quad n=0, 1, \dots, N \quad (8)$$

и $\varphi_n(\eta) = 0$, если $\eta \leq 0$.

Таким образом, для искомой плотности распределения вероятностей $f_J(\eta)$ случайных значений аддитивного функционала J (1) получаем формулу в виде N -кратной свертки

$$f_J(\eta) = (\varphi_0 * \varphi_1 * \dots * \varphi_N)(\eta). \quad (9)$$

Например, при $N=2$ имеем

$$f_j(\eta) = \int_0^\infty du_0 \int_0^\infty du_1 \varphi_0(\eta - u_0) \varphi_1(u_0 - u_1) \varphi_2(u_1). \quad (10)$$

Проверка алгоритма расчета плотности распределения.

Производящая функция $Q_{N+1}(\lambda)$ аддитивного квадратичного функционала (1) была получена ранее

Рассмотрим комплекснозначное обобщение формулы (3). Пусть $y(t)$ – еще один независимый процесс Орнштейна-Уленбека, статистически эквивалентный процессу $x(t)$, а процесс

$$z(t) = x(t) + iy(t). \quad (11)$$

есть комплекснозначное их объединение. Тогда удобно вместо функционала (1) рассматривать следующий функционал, основанный на комплекснозначном процессе $z(t)$

$$J_z = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |z_n|^2, \quad z_n = z(n\tau). \quad (12)$$

В принятых предположениях аддитивный функционал (12) имеет равновесную производящую функцию $Q_z(\lambda) \equiv Q_z(\lambda; q, N) = \langle \exp(-\lambda J_z) \rangle$ следующего вида

$$Q_N(\lambda) = \left(\frac{(1-q^2)R}{(\mu_1 - q^2)^2 a_+^{N-1} - (\mu_2 - q^2)^2 a_-^{N-1}} \right)^{1/2}, \quad (13)$$

где q – коэффициент корреляции соседних отсчетов комплекснозначного ОУ-процесса;

$$a_{\pm} = \frac{1}{2} (1 + q^2 + N^{-1} \lambda \sigma (1 - q^2) \pm R);$$

$$R = \sqrt{(1 + q^2 + N^{-1} \lambda \sigma (1 - q^2))^2 - 4q^2}.$$

Поскольку в силу статистической эквивалентности процессов $x(t)$ и $y(t)$ справедливо

$$Q_z(\lambda) = Q_x(\lambda) Q_y(\lambda) = (Q_x(\lambda))^2, \quad (14)$$

то приходим к искомой производящей функции для функционала (1)

$$Q_x(\lambda) = \sqrt{Q_z(\lambda)}. \quad (15)$$

Так как согласно (15) квадрат производящей функции $Q_x(\lambda) = Q_y(\lambda)$ равен $Q_z(\lambda)$, то автосвертка найденной плотности для функционала (1) должна совпадать (при одинаковых значениях параметров q и N) с плотностью распределения случайных значений функционала (12). Плотность распределения вероятностей $f_z(\eta)$ случайной величины J_z связана с производящей функцией $Q_z(\lambda)$ обратным преобразованием Лапласа.

На рис. 1–2 изображены плотности и функции распределения функционала (12), построенные с помощью автосвертки и производящей функции.

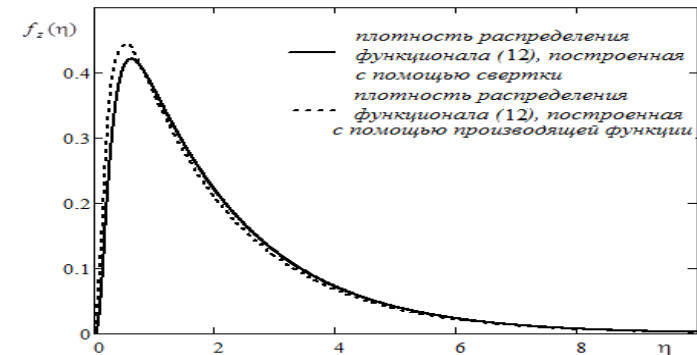


Рис. 1 – Плотности распределения функционала (12) с параметрами: $N = 3$, $\sigma = 1$, $q = 0.9$, $\tau = 0.1$

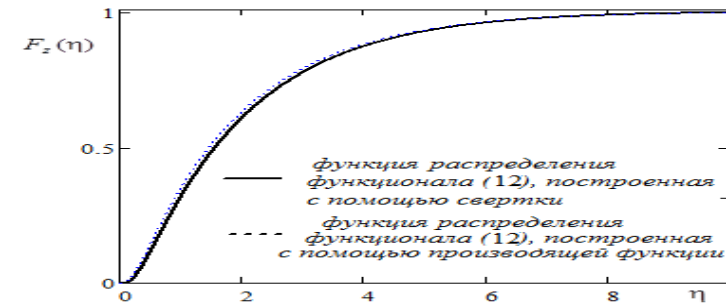


Рис. 2 – Функции распределения функционала (12) с параметрами: $N = 3$, $\sigma = 1$, $q = 0.9$, $\tau = 0.1$

Как видно из рис. 1–2 плотности и функции распределения функционала (12), построенные с помощью автосвертки и производящей функции

практически совпадают. Из этого следует, что вычислительные алгоритмы работают правильно.

Основные результаты. В теории оценивания и принятия решений важной особенностью является учет статистической связи между оценками уже известных распределений. В теории вероятностей и математической статистике известен аналог данному функционалу (1) – это χ^2 -распределение с числом степеней свободы равным $N-1$. Представляет интерес сравнить плотности распределения вероятностей рассматриваемого критерия качества (1) с χ^2 -распределением. На рис. 3 представлены плотности распределения функционала (1) и χ^2 -распределения в случае отсутствия корреляции.

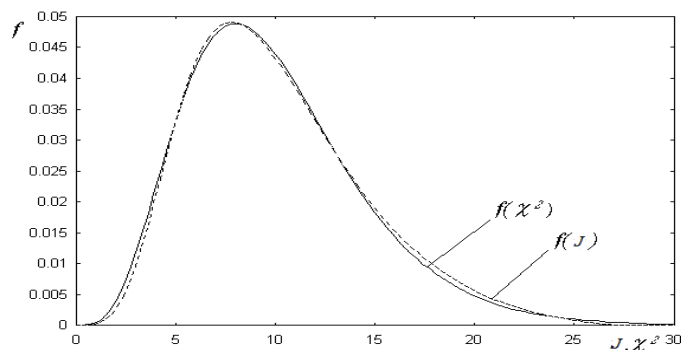


Рис. 3 – Плотность распределения вероятностей $f(J)$ для функционала J и для распределения χ^2 с $N-1$ степенями свободы ($N=10$, $\sigma=1$, $q=0$, $\tau=0.1$)

Как видно из рис. 3 эти плотности практически полностью совпадают, что свидетельствует в пользу правильности полученных формул.

На рис. 4 представлены плотности распределения функционала (1) в случае, когда коэффициент корреляции равен 0.95, и χ^2 -распределения с $N-1$ степенями свободы.

Из рис. 3–4 следует, что плотность распределения функционала (1) совпадает с плотностью χ^2 -распределения только в том случае, когда коэффициент корреляции равен 0, то есть корреляция между соседними сечениями случайного процесса отсутствует. В реальности, однако, значения случайных процессов в точках с соседними отсчетами являются в той или иной степени коррелированными.

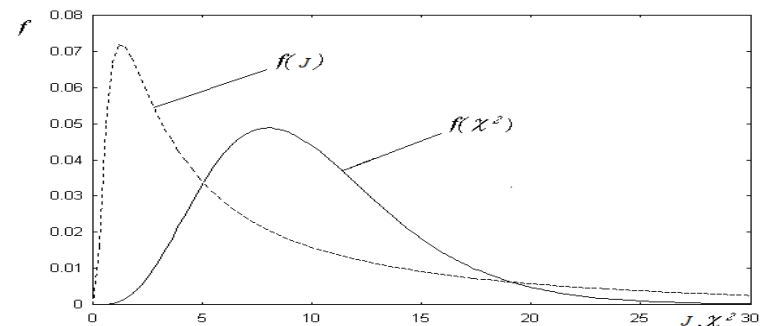


Рис. 4 – Плотность распределения вероятностей $f(J)$ для функционала J и для распределения χ^2 с $N-1$ степенями свободы ($N=10$, $\sigma=1$, $q=0.95$, $\tau=0.1$)

При $q > 0$ коэффициент корреляции влияет на поведение плотности и функции распределения функционала (1). На рис. 5, а–б представлены графики плотности и функции распределения функционала (1) при изменении параметра N . Можно сделать вывод о том, что приведенные зависимости отвечают общим закономерностям, характерным для плотности и функции распределения.

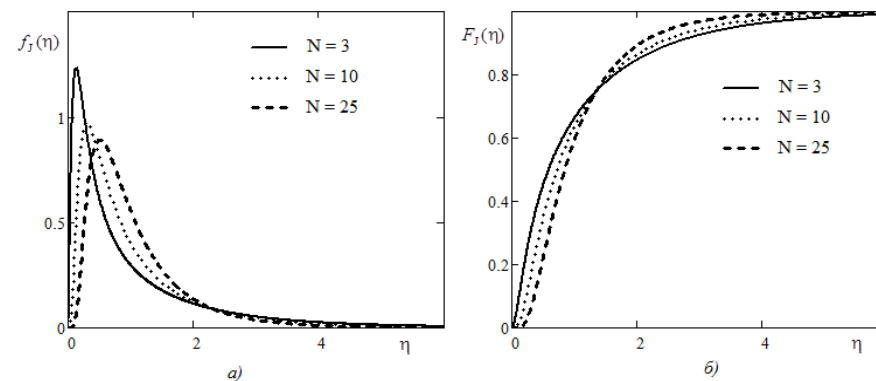


Рис. 5 – Плотности (а) и функции (б) – распределения вероятностей функционала (1); параметры: $q=0.9$, $N=3, 10, 25$, $\sigma=1$

На рис. 6, а–б приведены плотности и функции распределения для функционала (1) соответственно. С увеличением уровня корреляции q график функции распределения имеет тенденцию локализоваться вокруг среднего значения функционала (1), поэтому значения правосторонних квантилей должны увеличиваться.

Д. К. МИХНОВ, канд. техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков;
А. В. МИХНОВА, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ, Харьков;
САИФ К. МУХАМЕД, асп. ХНУРЭ, Харьков

МЕТОД ВЫБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Предлагается метод выбора технических средств системы технического учета энергоресурсов на основе комбинации методов экспертных оценок и графоаналитических методов. Применение метода целесообразно для распределенных объектов, имеющих несколько информационных сетей.

Ключевые слова: системы технического учета энергоресурсов, комплекс технических средств, датчик, интерфейс, информационная сеть, метод выбора, стоимостной критерий.

Пропонується метод вибору технічних засобів для системи технічного обліку енергоресурсів на основі комбінації методів експертних оцінок та графоаналітичних методів. Застосування метода доцільно для розподілених об'єктів, що мають декілька інформаційних мереж.

Ключові слова: системи технічного обліку енергоресурсів, комплекс технічних засобів, датчик, інтерфейс, інформаційна мережа, метод вибору, вартісний критерій.

A method is proposed to select technical facilities for energy registration system. This method is based on a combination of expert evaluations and grapho-analytical methods. The method is designed for distributed objects with several informational networks.

Keywords: systems for technical registration of energy resources, set of technical facilities, sensor, interface, informational network, selection method, cost criterion.

Введение. Эффективная работа промышленных предприятий в условиях рыночной экономики требует тщательного контроля расхода всех необходимых энергоресурсов, и, особенно, энергоресурсов, используемых в технологических процессах. Наличие или установка счетчиков расхода энергоресурсов без объединения в информационную систему решает задачу контроля лишь частично, так как требует привлечения сотрудников предприятия для периодического съема данных с естественными недостатками в виде ошибок визуального контроля, регистрации и обработки данных, увеличении временных затрат на съем для распределенных объектов, а также потери оперативности анализа. В настоящее время решение задач контроля целесообразно возлагать на специализированные информационные системы – системы технического учета энергоресурсов (СТУЭ). Развитию и совершенствованию таких систем способствует ряд факторов: интеллектуализация датчиков – счетчиков расхода энергоресурсов на основе микропроцессорной техники с одновременной комплектацией интерфейсами для дистанционного съема показаний; совершенствование технологий передачи данных и используемых протоколов; разработка и совершенствование специализированного программного обеспечения.

© Д. К. Михнов, А. В. Михнова, Саиф К. Мухамед, 2013

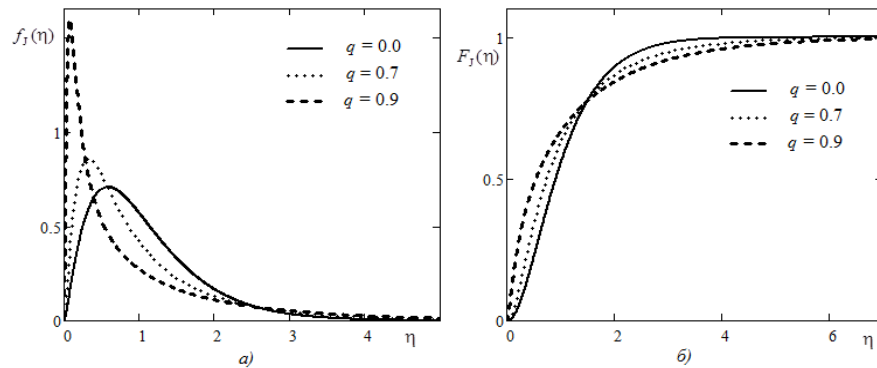


Рис. 6 – Плотности (а) и функции (б) распределения вероятностей функционала (1); параметры: $q = 0.00, 0.7, 0.9$, $N = 3$, $\sigma = 1$

На основании полученных результатов (рис. 5-6) можно сделать вывод о том, что при увеличении параметров: коэффициента корреляции и количества отсчетов плотности распределения χ^2_α становятся более пологими. Таким образом, учет корреляции представляет практический интерес.

Выводы. Полученные выше выражения справедливы для любых допустимых значений коррелятора q , в том числе и нулевых. Построенные числовые алгоритмы, обеспечивают расчет статистических характеристик χ^2 распределения при коррелированной последовательности отсчетов.

В заключение отметим, что алгоритмы решения задач принятия статистических решений содержат заключительный этап сравнения двух величин – наблюдаемого критерия и порогового значения (квантиля). В известных статистических моделях [1–3] исходно допускается предположение о некоррелированности наблюдаемых отсчетов. Учет их коррелированности может существенно повлиять на вид принимаемого решения.

Список литературы: 1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. – М. : Наука, 1961. – 406 с. 2. Королюк В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк – К. : Наукова думка. – 1978. – 584 с. 3. Derin H. Discrete-Index Markov Of Tipe Random Processes / H. Derin, A. Kelly // Proc. IEEE, vol. 77, № 10, pp.1485-1510, 1989. – P. 63–74. 4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука. – 1987. – 360 с. 5. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Высшая школа. – 2000. – 383 с. 6. Ивченко Г. И. Математическая статистика / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – М. : Высшая школа, 1984. – 248 с. 7. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М. : Сов. радио, 1977. – 488 с. 8. Мазманишвили А. С. Континуальное интегрирование как метод решения физических задач / А. С. Мазманишвили. – К. : Наукова думка, 1987. – 224 с.

Надійшла до редколегії 05.12.2012

Необходимо отметить также особенности функционирования таких систем: незначительные объемы передаваемой от счетчиков информации о контролируемом параметре; пониженные требования по отношению к точности формирования временных интервалов съема [1]. Аппаратной основой СТУЭ являются комплексы технических средств, включающие датчики, преобразователи интерфейсов, линии связи, компьютерное оборудование. Многообразии технических средств, современных технологий передачи данных, особенности объекта, а также возможность использования информационных сетей предприятия позволяют формировать множество возможных структур для реализации СТУЭ.

Таким образом, актуальной является задача построения структуры СТУЭ и выбора рационального состава технических средств для этой структуры.

Анализ основных достижений и литературы. В настоящее время на практике для оптимизации состава комплекса технических средств (КТС) СТУЭ во многих случаях используются неформальные (эвристические) методы (как индивидуальные, так и групповые), которые основываются на аналитических способностях лиц, осуществляющих данный выбор, и представляют собой методику выбора состава КТС на основе совокупности логических приемов, осуществляемых экспертом или группой экспертов путем сравнения с учетом накопленного опыта. Основным недостатком методов данной группы является то, что они базируются на субъективном обосновании, не гарантируя выбор рациональной альтернативы [2,3]. Альтернативой такого подхода оптимизации состава КТС является использование для решения количественных методов оптимизации.

Количественные методы оптимизации, которые могут быть использованы для решения задачи оптимизации состава КТС, делятся на однокритериальные и многокритериальные, скалярные и векторные, методы, учитывающие критерии с одинаковой и различной важностью [3–5].

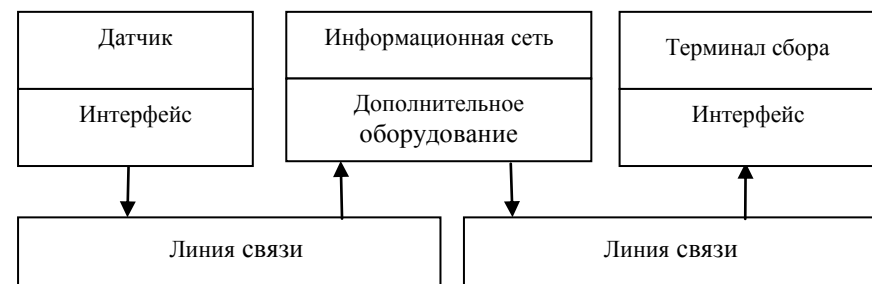
Наиболее сложными с точки зрения оптимизации технической структуры являются СТУЭ на основе двух и более информационных сетей предприятия с дополнительным оборудованием в виде коммутационного или усилительного оборудования и набором датчиков, имеющих соответствующие аппаратные интерфейсы, при этом одновременно используются как проводные, так и беспроводные линии связи (комбинированные структуры) [6].

Цель исследования. Разработка метода выбора технических средств СТУЭ, использующей для передачи данных от датчиков две и более информационных сети предприятия.

Постановка задачи. Для достижения цели необходимо определить основные составляющие технических средств информационного канала, проанализировать проблемы и факторы, оказывающие влияние на выбор рационального решения. Основываясь на существующих подходах к решению проблемы выбора КТС, а также с учетом специфики построения

СТУЭ, сформировать поэтапный метод выбора КТС СТУЭ, включающий оценивание сравниваемых вариантов решения по обобщенному стоимостному критерию.

Материалы исследований. Данные о расходе энергоресурса с каждого датчика СТУЭ поступают на терминал сбора по индивидуальному информационному каналу «датчик – терминал сбора», обобщенная схема которого представлена ниже на рисунке.



Обобщенная схема информационного канала «датчик – терминал сбора»

В состав технических средств, образующих информационный канал, входят:

- датчик расхода энергоресурса с определенным интерфейсом;
- линия связи от места установки датчика до возможного места подключения к одной из существующих или планируемых информационных сетей предприятия;
- фрагмент существующей информационной сети предприятия (при необходимости планируется использование дополнительного оборудования, обеспечивающего непосредственное подключение линий связи от места установки датчика до возможного места подключения к дополнительному оборудованию, а также дополнительного оборудования, обеспечивающего непосредственное подключение линий связи от терминала сбора данных до возможного места подключения к дополнительному оборудованию);
- линия связи от терминала сбора данных до возможного места подключения к одной из существующих или планируемых информационных сетей предприятия;
- интерфейсное оборудование терминала (при необходимости с установкой дополнительных модемов по количеству используемых информационных сетей предприятия).

При выборе технических средств СТУЭ возникает ряд проблем, затрудняющих выполнение процесса оптимизации. Одной из проблем является то, что данный сложный процесс не может быть полностью формализован из-за отсутствия единого подхода к выбору КТС для

различных объектов. Кроме этого, необходимо учитывать ряд факторов, которые в значительной степени непосредственно влияют на процесс выбора:

а) элементы КТС должны не только полностью соответствовать требованиям системы, но и оставаться применимыми при модернизации системы;

б) топологию объекта, конструктивные особенности зданий и помещений объекта, условий эксплуатации КТС;

в) объём передаваемых и обрабатываемых данных в системе.

Учитывая количество используемых типов датчиков расхода энергоресурсов, возможных вариантов подключения датчиков, а также количество информационных сетей, задача выбора рационального состава КТС СТУЭ может быть отнесена к многокритериальной. В общем случае для решения задачи выбора КТС целесообразно применение комбинированных методов, при этом качественные методы (в частности, метод экспертных оценок) могут быть применены для формирования основных оценочных вариантов, а количественные – для окончательного выбора рационального.

Анализируя реальную задачу предварительного отбора нескольких основных вариантов подключения датчиков учета энергоресурсов и терминала сбора информации к информационным сетям предприятия, можно сделать вывод о необходимости привлечения в состав экспертов следующих специалистов:

– инженерно-технических работников предприятия, знающих топологию производственных и иных помещений, имеющих полное представление о технологических процессах и связанных с ними факторах, оказывающих влияние на выбор элементов КТС, возможности проведения строительно-монтажных работ на территории предприятия и в помещениях, а также планы развития предприятия и владеющих обобщенной экономической оценкой выполнения работ;

– специалистов в области информационных технологий (как из состава работников предприятия, так и приглашенных), имеющих знания в информационно-телекоммуникационной области.

Таким образом, для предварительной оценки вариантов структур КТС СТУЭ целесообразно воспользоваться методом комиссий, позволяющим обмениваться мнениями и выбрать основные варианты на основе двустороннего анализа в том числе учета технических характеристик датчиков, применимости аппаратных интерфейсов, максимального использования существующих сетей информационных систем, а также минимума дополнительного оборудования и затрат на строительно-монтажные работы.

Количественные методы обоснования вариантов и выбора технических средств информационных систем во многих случаях базируются на функционально-стоимостном критерии. Такой критерий выбора КТС, несмотря на его универсальность, применительно к рассматриваемому классу СТУЭ с указанной спецификой передаваемой информации, оказывается

избыточным, и для решения задачи целесообразно рассматривать в качестве основных только стоимостные характеристики [1], причем обобщенная стоимость может быть представлена суммой стоимостей отдельных технических средств и затрат на их установку, как показано в формуле (1):

$$K = \min C_{\text{ктс}} = C_{\text{дп}} + C_{\text{лс д-ис п}} + C_{\text{до д-ис п}} + C_{\text{до и с-т м}} + C_{\text{до т м}}, \quad (1)$$

где K – обобщенный критерий;

$C_{\text{ктс}}$ – обобщенная стоимость КТС;

$C_{\text{дп}}$ – совокупная стоимость датчиков с необходимыми интерфейсами;

$C_{\text{лс д-ис п}}$ – совокупная стоимость линий связи на участках «датчик – информационная сеть»;

$C_{\text{до д-ис п}}$ – совокупная стоимость дополнительных технических средств для подключения линий связи от датчиков к информационной сети;

$C_{\text{до и с-т м}}$ – совокупная стоимость дополнительных технических средств для подключения линий связи от информационной сети к терминалу сбора данных;

$C_{\text{до т м}}$ – совокупная стоимость технических средств (модемов) для подключения терминала к информационным сетям.

С учетом многообразия типов современных датчиков учета энергоресурсов, имеющих для передачи данных различные интерфейсы, а также наличием на предприятиях нескольких информационных сетей, любой датчик теоретически может быть подключен к любой из этих сетей. КТС можно рассматривать как совокупность сегментов определенных типов интерфейса групп топологически распределенных датчиков, терминала сбора информации и связей между ними, в состав которых может также входить дополнительная коммутационная или усилительная аппаратура. Таким образом, для формального описания таких сегментов КТС СТУЭ целесообразно применение взвешенных графов, у которых веса вершин определяются стоимостью датчиков расхода энергоресурсов и модемной аппаратуры терминала сбора, а веса связей – стоимостью каналов связи с учетом затрат на их проектирование и реализацию, а также, при необходимости, стоимостью дополнительного оборудования. Сетевые решения для различных типов интерфейсов, которые посегментно объединяют датчики в состав КТС СТУЭ, имеют особенности структурной организации для обмена информацией, которые, в свою очередь, будут определять структуру графовой модели. Таким образом, представив предложенные экспертами варианты КТС в виде совокупности сегментов, которые, в свою очередь, могут быть представлены графовыми моделями, можно при помощи стандартных алгоритмов минимизировать и сравнить графовые структуры для нахождения рационального варианта КТС.

Результаты исследований. С учетом вышеизложенного, метод выбора рационального варианта КТС СТУЭ может быть сформулирован следующим образом.

Этап 1. Экспертная оценка возможности применения различных типов подходящих по техническим параметрам датчиков учета энергоресурсов, имеющих различные аппаратные интерфейсы, для каждой точки контроля с учетом топологии их размещения, а также топологии информационных сетей предприятия (как существующих, так и возможных) и формирование приоритетного списка из трех – семи рабочих вариантов структур КТС. При формировании списка могут рассматриваться как варианты с использованием существующих информационных систем, так и потенциально развертываемые;

Этап 2. Представление для каждого варианта КТС отдельных сегментов СТУЭ взвешенными графами с вершинами в виде стоимости датчиков учета и другого оборудования и ребрами, которые характеризуют стоимости линий и каналов связи для передачи информации (для линий связи с учетом стоимости проектно-монтажных работ). Назначение весов ребер графов должно производиться как с учетом стоимости элементов и работ, так и с учетом экспертных оценок;

Этап 3. Последовательное для выбранных вариантов КТС решение оптимизационных задач для графовых структур и нахождение варианта структуры комплекса технических средств СТУЭ с минимальной стоимостью.

Выводы. Предлагаемый метод выбора технических средств систем технического учета энергоресурсов позволяет определить состав и структуру комплекса технических средств с учетом специфики функционирования предприятия и его информационных сетей. Для практического применения метода могут быть использованы стандартные программные продукты, реализующие алгоритмы экспертных оценок и анализа графовых структур.

Список литературы: 1. *Михнов, Д. К.* Обобщенный критерий выбора комплекса технических средств специализированной информационной системы предприятия / *Д. К. Михнов, А. В. Михнова, Саиф К. Мухамед* // Збірник наукових праць «Системи управління, навігації та зв'язку». – К. : Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2012. – Вип. 1 (21). – С. 101–104. 2. *Ахремчик, О. Л.* Эвристические приемы проектирования локальных систем автоматизации / *О. Л. Ахремчик*. – Тверь : Изд-во Тверского государственного технического университета, 2006. – 160 с. 3. *Черноруцкий, И. Г.* Методы принятия решений / *И. Г. Черноруцкий*. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с. 4. *Штойер Р.* Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / *Р.Штойер* – М. : Радио и связь, 1992. – 504 с. 5. *Микони, С. В.* Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив / *С. В.Микони*. – СПб. : Лань, 2009. – 273 с. 6. *Саиф К. Мухамед* Особенности построения информационных систем технического учета энергоресурсов предприятия [Текст] / *Саиф К. Мухамед* // Наук. журн. Системи обробки інформації. – Харків, 2011. – № 7 (97). – С. 30–33.

Надійшла до редколегії 12.11.2012

А. А. ЗЕМЛЯНОЙ, ассистент кафедры АСУ НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПОНЕНТНОГО ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Розглядається технологія забезпечення деяких характеристик якості компонентного програмного рішення реального часу. Дається приклад експериментального використання запропонованих технологій, який включає в себе визначення архітектури та вимог, використання прототипу для збирання даних, аналіз результатів.

Ключові слова: забезпечення якості, технологія прототипування, компонентне програмне рішення реального часу.

Рассматривается технология обеспечения некоторых характеристик качества компонентного программного решения реального времени. Дается пример экспериментального использования предложенных технологий, который включает в себя определение архитектуры и требований, использование прототипа для сбора данных, анализ результатов.

Ключевые слова: обеспечение качества, технология прототипирования, компонентное программное решение реального времени.

A technology for quality assurance of some real-time software quality attributes is considered. An experimental example of applying suggested technologies is provided. The example includes defining the solution architecture and quality requirements, using the prototype for statistics collection, analysis of the results.

Keywords: quality assurance, prototyping technology, real-time software solution.

Введение. В вопросах качества программного обеспечения (ПО) как характеристики степени его соответствия поставленным требованиям важную роль играют не только функциональные, но также и нефункциональные требования. Согласно SWEBOK (Software Engineering Body of Knowledge) [1] выделяются такие основные атрибуты качества ПО как: функциональность, эффективность, надежность, сопровождаемость, удобство использования. В зависимости от типа разрабатываемой системы важность приобретают те или иные атрибуты качества [2]. Для систем реального времени, помимо функциональности, важны скорость обновления информации, объемы передаваемых данных за единицу времени, полнота отображаемых данных и минимальные их потери. Эти требования относятся к характеристикам временной эффективности, эффективности использования ресурсов, устойчивости к отказам и восстанавливаемости [3].

Проблема обеспечения характеристик производительности и надежности. Для обеспечения характеристик качества в настоящее время существуют различные технологии обеспечения качества (ТОК) [4]. Проблема использования существующих ТОК состоит в том, что они

© А. А. Земляной, 2013

преимущественно предназначены для моделирования функциональности, либо же основаны на аналитических математических моделях, которые проблематично построить для сложных систем. Поэтому актуальным является вопрос использования прототипов для обеспечения заданных характеристик надежности и производительности при фиксированных ресурсах. Для компонентных программных систем реального времени (КПР РВ) были разработаны специальные модели и ТОК, которые позволяют задать требования нефункционального характера, определить эффективность применения той или иной ТОК в зависимости от сложности системы, провести моделирование с помощью выбранной технологии и проанализировать полученные результаты с точки зрения обеспечения качества. Основным элементом комплекса является технология прототипирования [4]. Рассмотрим применение данной технологии для построения конкретного КПР РВ.

Определение архитектуры и требований разрабатываемого решения. Предположим, что требуется разработать КПР РВ для процессов мониторинга и управления промышленным оборудованием при помощи микроконтроллеров различных типов (Atlas, Sirius, PDU), которые поддерживают различные протоколы (МК01, МК02, Modbus соответственно). Все контроллеры подключаются к центральному серверу данных через адаптеры TCP/IP. Сервер данных производит регулярный опрос устройств и предоставляет интерфейс доступа к данным реального времени для клиентских приложений. Клиентские приложения предполагаются трех типов: 1) клиент архивирования данных, который с заданной периодичностью запрашивает данные реального времени и архивирует их в базе данных, 2) клиент администрирования, который позволяет не только просматривать, но и изменять конфигурацию и параметры всех устройств в системе, 3) клиент оператора, который позволяет просматривать текущие данные и выполнять команды в удаленном режиме, в том числе и через сеть Интернет.

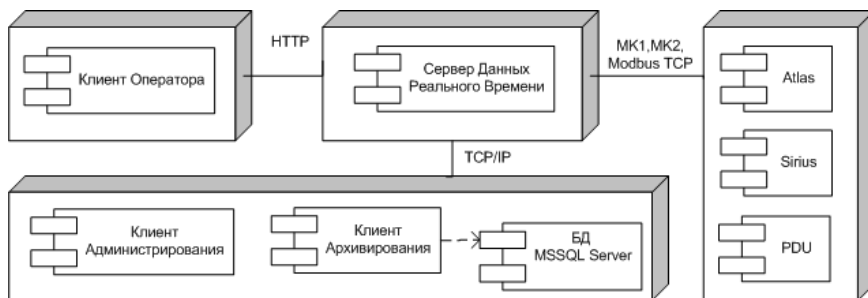


Рис. 1 – Диаграмма размещения компонентов исследуемого решения

На рис. 1 показана диаграмма размещения компонентов проектируемого решения. К основным характеристикам производительности и надежности

относится среднее значение реактивности $\bar{r} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (t_{2i} - t_{1i})$ (где t_{1i} – время отправки запроса, t_{2i} – время получения ответа, I – количество запросов);

средняя производительность $\bar{P} = \frac{N}{T}$ (где N – количество ответов на запросы

за время функционирования T); средняя наработка на отказ $\bar{T}_o = \frac{T}{N_o}$ (где T –

время функционирования, N_o – количество отказов); интенсивность отказов

$a = \frac{N_o}{N}$ (где N – число запросов, N_o – количество отказов). Интегральная

оценка соответствия требованиям вычисляется как $Q = \frac{1}{mQ_{\max}} \sum_{i=1}^m Q_i$ (где Q_i –

оценка i -й характеристики, m – число оценок, Q_{\max} – максимальное значение оценки. Допустимый интервал для каждой характеристики определяется методом опроса нескольких экспертов и анализа их ответов.

После задания ограничений для значений характеристик качества необходимо оценить эффективность применения той или иной ТОК. Для этого была разработана методика оценивания [5], согласно которой экспертами оценивается сложность разрабатываемой системы и уровень требований качества, а затем, исходя из результатов, определяется эффективная для данного случая ТОК.

Прототипирование и анализ результатов. Процесс прототипирования проходит в несколько этапов [6]: реализация компонентов согласно построенной архитектуре, конфигурирование, выполнение и сбор статистики, обработка собранной статистики и анализ полученных результатов. Перед запуском прототипа выполняется конфигурирование компонентов под условия используемых протоколов и заданных требований. Во время выполнения созданного прототипа происходит накопление статистики при помощи компонента для сбора данных. Данные во время выполнения компонентов поступают в режиме реального времени и сохраняются в базе данных. Поскольку с реальными микроконтроллерами выполнять эксперименты зачастую не представляется возможным, то в процессе прототипирования они заменяются эмуляторами. Под эмулятором понимается ПО, которое в точности реализует логику работы и интерфейс микроконтроллера и в экспериментальных целях может быть использовано вместо физического микроконтроллера. При накоплении достаточного объема статистики выполнение прототипа останавливается и производится следующий шаг – анализ результатов. На основе собранных данных вычисляются значения искомым характеристикам, путем сравнения с заданными ранее допустимыми интервалами определяются оценки

соответствия. Требование считается выполненным в полной мере и получает максимальную оценку соответствия тогда, когда измеренное значение характеристики принадлежит допустимому интервалу. По мере удаления от допустимого интервала уменьшается оценка соответствия. На рис. 2 представлены программные компоненты технологии прототипирования.

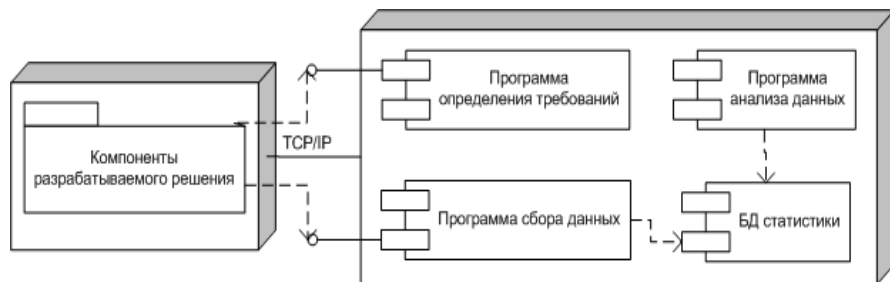


Рис. 2 – Программные компоненты технологии прототипирования

В рамках данного эксперимента программная реализация прототипа, как и конечного решения, осуществляется на платформе Microsoft .NET [7]. В частности, сервер данных реализован как Windows Service, клиент архивирования также, в качестве СУБД используется MS SQL Server 2012, клиент администрирования реализован как приложение Windows Forms, а клиент оператора как приложение MVC Web с использованием jQuery для асинхронного обновления данных. Исследуем характеристики реактивности и интенсивности отказов для каждого типа клиента (1 – клиент архивирования, 2 – клиент администрирования, 3 – клиент оператора).

Таблица 1 – Результаты расчета характеристик

Параметр (единица измерения)	Допустимый интервал	Измеренное значение	Оценка соответствия
Средняя реактивность 1 (с)	[0; 3]	0,536	9
Средняя реактивность 2 (с)	[0; 0,5]	0,501	7
Средняя реактивность 3 (с)	[0; 1]	1,945	1
Интенсивность отказов 1	[0; 0,1]	0,016	9
Интенсивность отказов 2	[0; 0,1]	0,020	9
Интенсивность отказов 3	[0; 0,2]	0,21	7

По результатам расчетов, показанных в табл. 1, одна из характеристик исследуемой конфигурации значительно выходит за рамки допустимого интервала (средняя реактивность 3, клиент оператора) и имеет минимальную оценку соответствия, равную 1. Интегральная оценка соответствия имеет

значение $Q = 0,77$ при максимальном значении равном 1. Для повышения степени соответствия требованиям был проведен анализ программной реализации компонентов и найдена причина, которая лежала в низкой производительности сценариев JavaScript, используемых в клиенте для асинхронной загрузки данных. Для повышения производительности технология реализации клиента оператора ASP.NET MVC и jQuery была заменена на Silverlight, которая специально предназначена для построения сложных клиентских приложений, работающих в обозревателе. В результате повторного эксперимента с новым компонентом клиента оператора на платформе Silverlight было получено значение средней реактивности клиента равное 0,898. В такой конфигурации решение имеет интегральную оценку соответствия равную $Q = 0,93$ и в высокой степени удовлетворяет требованиям производительности и надежности, а прототип может быть использован как основа для разработки полнофункционального продукта.

Выводы. В ходе эксперимента были исследованы некоторые характеристики производительности и надежности проектируемого КПР РВ при помощи предложенной технологии прототипирования и сделаны выводы о соответствии оценок характеристик поставленным требованиям. Рассмотренная технология имеет практическую ценность, поскольку позволяет обеспечить требуемые характеристики качества ПО на ранних стадиях разработки, что в свою очередь снижает затраты на реализацию программного решения.

Список литературы: 1. Офіційний Інтернет-ресурс консорціуму SWEBOK: www.swebok.org. 2. Андон Ф. И. Основы инженерии качества программных систем / Ф. И. Андон, Г. И. Коваль, Т. М. Коротун и др. – 2-е изд. – К. : Акадампериодика, 2007. – 580 с. 3. Лунаев В. В. Методы обеспечения качества крупномасштабных программных средств. – М. : СИНТЕГ, 2003. – 520 с. 4. Земляной А. А. Комплекс моделей технологии прототипирования для адаптивного проектирования компонентных программных решений / А. А. Земляной, Н. В. Ткачук, Р. А. Гамзаев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2008. – № 5. – С. 97–107. 5. Земляний А. О. Моделі та засоби експертної оцінки ефективності технологій забезпечення якості програмних систем реального часу / А. О. Земляний, М. В. Ткачук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків : Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – 2009. – № 1. – С. 67–72. 6. Земляной А. А. Комплексная методика прототипирования компонентных программных систем на основе технологий обеспечения качества / А. А. Земляной, Н. В. Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2010. – № 67. – С. 110–115. 7. Рихтер Д. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework. – М. : Русская Редакция, 2002. – 486 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2012

И. В. КАМЕНЕВА, асс., ХНУРЭ, Харьков;
А. С. АФАНАСЬЕВ, студент ХНУРЭ, Харьков

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ADJNET В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

У статті розглянуто роботу розробленої програми AdjNet, що заснована на загальній моделі словозміни прикметників російської мови. Вона вирішує задачі синтезу, аналізу та нормалізації словоформ, а також здійснює фонетичний аналіз повних неписуваних прикметників щодо звукової форми.

Ключові слова: мозкоподібні структури, реляційна мережа, модель, морфологія, прикметники, програма.

В статье рассмотрена работа разработанного приложения AdjNet основанная на общей модели словоизменения прилагательных русского языка. Программа позволяет решать задачи синтеза, анализа и нормализации словоформ, а также осуществляет фонетический анализ полных неприятельных имен прилагательных в звуковой форме.

Ключевые слова: мозгоподобные структуры, реляционная сеть, модель, морфология, прилагательные, приложение.

In the paper reviewed the performance of developed application "AdjNet" based on a common model of Russian inflection of adjectives. It decides the problems of synthesis, analysis and normalization of word forms, and also analyzes the phonetic of full adjectives in sound form.

Keywords: brain-like structures, relational network, the model, morphology, an adjectives, application.

Введение. Программно реализованная логическая реляционная сеть, в основу которой положено формальное описание морфологических структур, позволяет автоматизировать процесс работы эксперта в задачах синтеза, анализа и нормализации текста с именами прилагательными.

Приложение AdjNet основано на модели реляционной сети логической мозгоподобной структуры [1]. В основе определения понятия мозгоподобной структуры лежит понятие отношения. Школой «Бионика интеллекта» Бондаренко М. Ф. и Шабанова-Кушнаренко Ю. П. разработана алгебраическая система предикатов для формульного представления отношений и действий над ними [2]. Данная система делится на алгебру имен предикатов и модель предикатов. Схемная реализация формул, описывающих алгебро-логические структуры, приводит к логическим сетям – функциональным и реляционным. Сопоставляя типы таких сетей с основными типами нейроструктур мозга вырисовывается глубокое сходство строения технических и биологических структур. Реляционная логическая сеть представляется в виде многополосника [3, 4]. Она решает буквенные уравнения алгебры интеллекта, выполняя функции базы знаний. Школой разработаны математические модели существительных, глаголов, прилагательных [5, 6, 7, 8, 9].

© I. В. Каменева, А. С. Афанасьев, 2013

Структура программы AdjNet. Программа AdjNet представляет собой приложение, которое позволяет моделировать процесс склонения и словоизменения прилагательных русского языка на основании общей модели словоизменения прилагательных русского языка [1, 7, 8, 9].

AdjNet – это приложение Windows Form написанное на языке C# на платформе .Net Framework 4.0. Состоит из 3 форм: «Главная форма» содержит основные элементы управления, кнопки, панели, поля и списки; «Добавление основ» содержит необходимые элементы для занесения в текстовый документ основ слов, которые нужны для определения имен прилагательных из текста; «Просмотр основ» содержит поле вывода основ из текстового документа. Она необходима для просмотра, удаления и добавления основ слов.

В программе существуют 3 основных класса: «Word» – базовый класс от которого наследуются остальные 2 класса, «ShortPrilag» – класс содержащий все необходимые поля для работы с краткими прилагательными, и класс «LongPrilag» – класс содержащий все необходимые поля для работы с полными прилагательными.

Перед тем как начать определять прилагательные из текста, необходимо добавлять основы в «список основ», после чего начинается непосредственная работа – вводится предложение или часть текста и выявляются прилагательные на основе списка основ слов. Затем выполняются задачи синтеза, анализа и нормализации словоформ на основании общей модели словоизменения прилагательных русского языка [10] в зависимости от потребностей эксперта.

Работа программы AdjNet. Запустив приложение, перед нами появляется главное окно программы (см. рис. 1).

Окно программы содержит следующие элементы управления:

- кнопка «Ввести предложение» – показывает окно для ввода предложения или отдельных слов;
- кнопка «Очистить» – очищает все окно, сбрасывает все настройки;
- кнопка «Рассмотреть предложение» – считает количество слов в предложении и выводит информацию в поле «Статистика предложения»;
- кнопка «Показать прилагательные» – в поле «Список прилагательных» выводит все выявленные из предложения прилагательные;
- кнопка «Синтез» – открывает окно синтеза словоформы;
- кнопка «Анализ» – открывает окно анализа словоформы;
- кнопка «Нормализация» – открывает окно нормализации словоформы;
- переключатель «Показать – Скрыть модель» – позволяет показывать или скрывать логическую реляционную сеть общей

модели словоизменения прилагательных русского языка внизу окна;

- кнопка «Выход» – завершение работы программы.

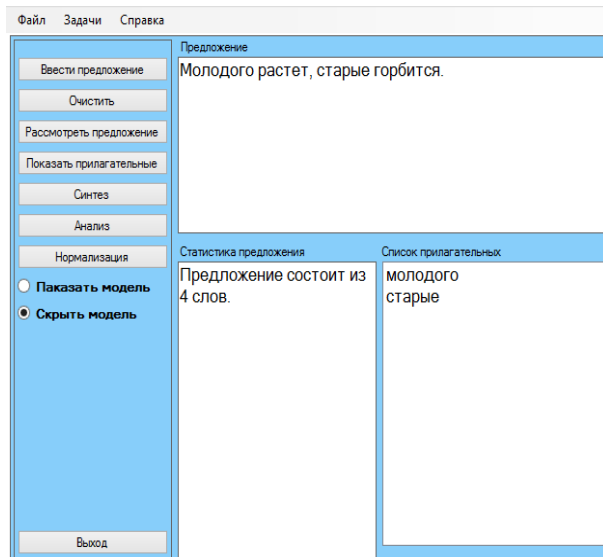


Рис. 1 – Главное окно программы

Меню главного окна содержит такие вкладки:

- «Файл» – содержит пункты «Синтез», «Анализ» и «Нормализация», которые копируют работу кнопок главного окна;
- «Задачи» – содержит пункты «Просмотр основ слов» и «Внести новую основу слова»;
- «Справка» – содержит справочные материалы о работе программы и о разработчиках.

Важным этапом работы с приложением AdjNet является то, что поиск прилагательных из предложения осуществляется на основе сравнения слова из предложения с основой слова имени прилагательного из списка основ, который находится в текстовом документе в папке с программой. Основы слов имен прилагательных, из списка текстового документа, можно просматривать, добавлять, что делает программу обучаемой и позволяет расширять базу экспертом и удалять (см. рис. 2).

После того как список заполнен необходимыми основами слов имен прилагательных приступим к рассмотрению работы синтеза словоформы.

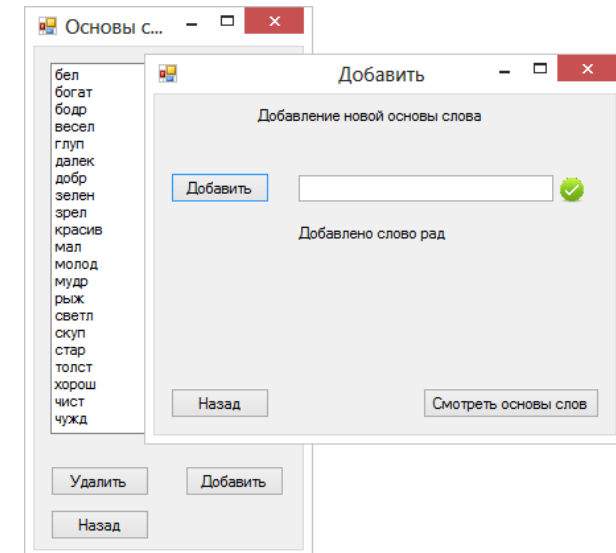


Рис. 2 – Добавление основы слова

Решение задачи синтеза словоформы. Задача синтеза словоформы заключается в следующем: заданы слово и окружающий его контекст, требуется определить соответствующую ему словоформу, то есть требуется согласовать прилагательное с контекстом.

Для рассмотрения этой задачи введем предложение «*Эта девушка его далекий родственница она мудра и красива*». Нажимаем кнопку «Показать прилагательные», в поле «Список прилагательных» определилось три слова «*далекий*», «*мудра*» и «*красива*». Два слова не соответствуют окружающему контексту, для этого нужно определить подходящую словоформу, то есть выполнить синтез слова. Нажимаем кнопку «Синтез», после чего открывается окно синтеза (см. рис. 3). Оно содержит такие элементы управления:

- кнопка «Ввести параметры» – на основе указанных в полях признаках выводит в поле «Результат» полученную словоформу;
- кнопка «Вставить в текст» – вставляет полученную словоформу обратно в текст, вместо исходного слова;
- переключатель «Устная речь» – показывает устную форму полученной словоформы;
- кнопка «Назад» – открывает главное окно программы;
- кнопка «Выход» – завершение работы программы.

В окне синтеза можно выполнить следующие задачи: синтез кратких и полных прилагательных, синтез устных прилагательных.

Выполним синтез полного прилагательного «*далекий*» (см. рис. 3).

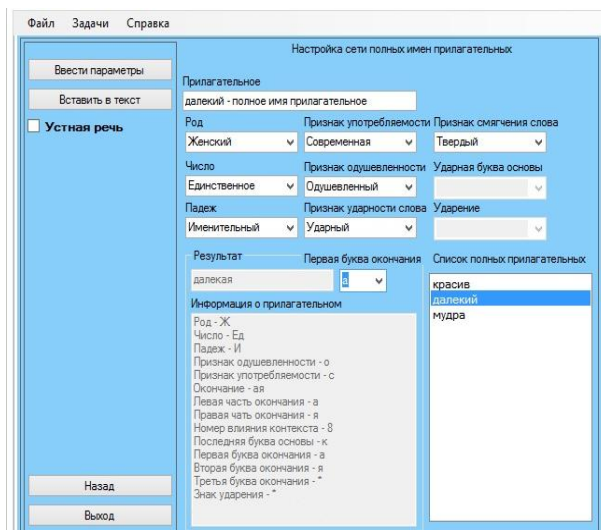


Рис. 3 – Окно синтеза

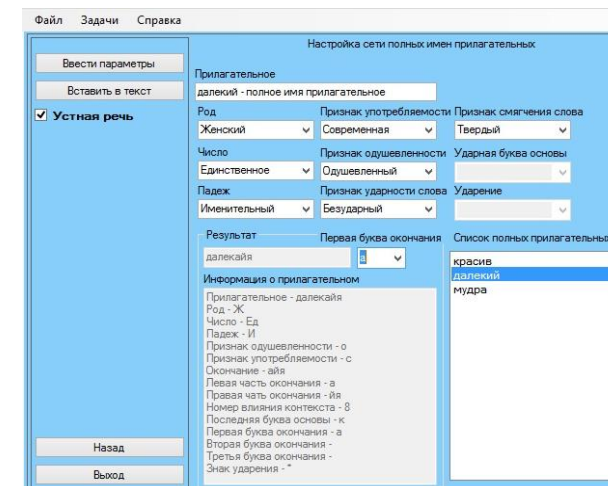


Рис. 5 – Синтез устного прилагательного

Выполним синтез краткого прилагательного «красив» (см. рис. 4).

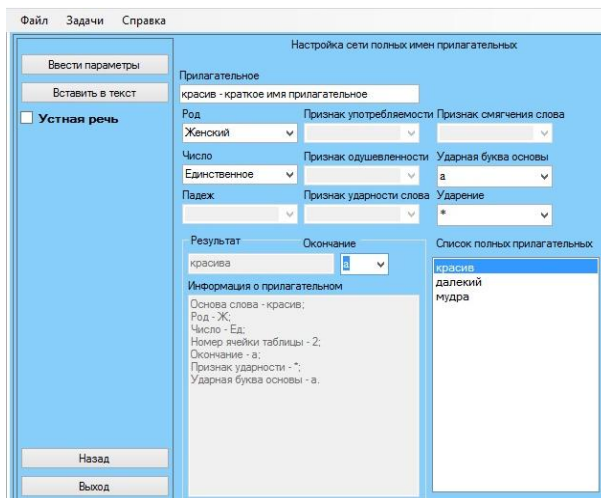


Рис. 4 – Синтез краткого прилагательного

Выполним синтез устного прилагательного «далекий» (см. рис.5). В ниже приведенной таблице установим итоговые параметры и признаки.

Таблица – Установка параметров и признаков

Признаки	Красив	Далекий	Далекий
Тип словоформы	краткое	полное	устное
Род	Женский	Женский	Женский
Число	Ед.	Ед.	Ед.
Падеж	—	Именительный	Именительный
Признак одушевленности	—	Одушевленный	Одушевленный
Признак употребляемости	—	Современная	Современная
Признак ударности слова	—	Ударный	Ударный
Признак смягчения слова	—	Твердый	Твердый
Ударная буква основы	а	—	—
Ударение	*	—	—
Результат синтеза	красива	Далекая	Далекаяй

Решение задачи анализа словоформы. Задача анализа заключается в следующем: заданы форма слова и окружающий ее контекст, требуется определить грамматические признаки, соответствующие этой словоформе.

Для примера, в поле «Предложение» главного окна введем следующее предложение: «Моя мама молода, добра и всегда веселая».

В поле «Список прилагательных» определились такие прилагательные: «молода», «добра» и «веселая»; проанализируем их, нажав кнопку «Анализ» (см. рис. 6), которое содержит следующие элементы управления:

- кнопка «Анализировать» – анализирует выбранное прилагательное из списка «Список прилагательных»;

- кнопка «Анализировать все» – анализирует все прилагательные из списка «Список прилагательных»;
- переключатель «Устная речь» – показывает устную форму анализируемого прилагательного;
- кнопка «Назад» – открывает главное окно программы;
- кнопка «Выход» – завершение работы программы.

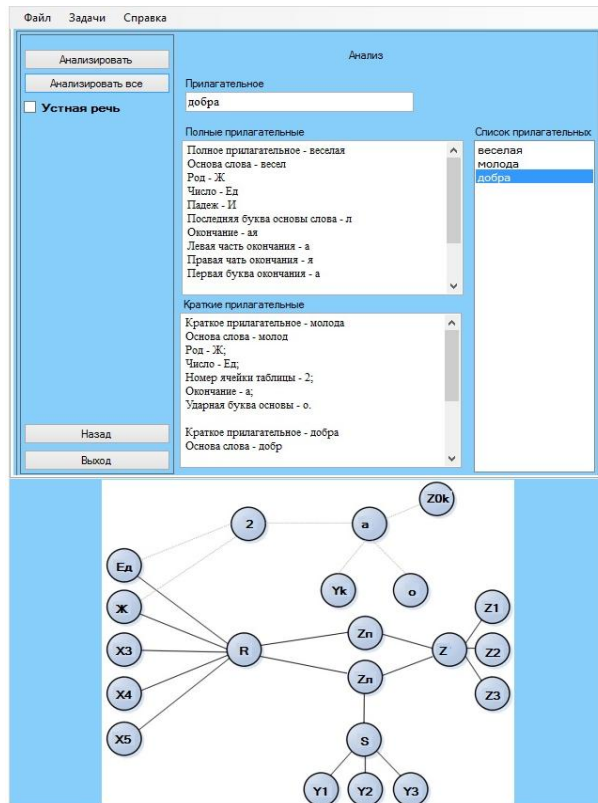


Рис. 6 – Окно анализа

Анализируемые слова классифицируются на полные и краткие, и выводятся в соответствующие поля, что делает интерфейс программы нагляднее.

Для слова «веселая» анализ показал:

- полное прилагательное – веселая;
- основа слова – весел;
- род – Ж;
- число – Ед.;

- падеж – И;
- последняя буква основы слова – л;
- окончание – ая;
- левая часть окончания – а;
- правая часть окончания – я;
- первая буква окончания – л.

Для слова «молода» анализ показал:

- краткое прилагательное – молод;
- основа слова – молод;
- род – Ж;
- число – Ед.;
- номер ячейки таблицы – 1;
- окончание – а;
- ударная буква основы – *.

Приведен пример работы логической реляционной сети (см. рис. 6), который показал корректно расклассифицированное слово краткого имени прилагательного «добра».

Проведем анализ устных прилагательных русского языка. Для этого в главном окне в поле «Предложение» введем следующее предложение: «Молодая девушка». Программа выделила одно прилагательное «молодая», проанализируем его устную форму, в окне анализа включим переключатель «Устная речь» и нажмем анализировать (см. рис. 7).

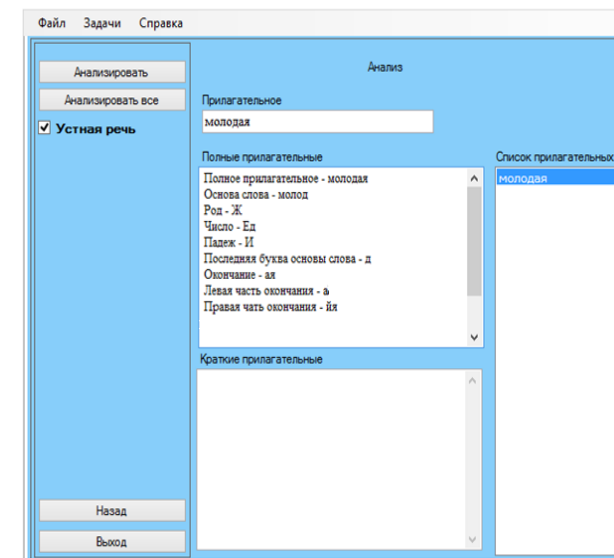


Рис. 7 – Анализ устных прилагательных

Результат работы анализа устной речи для слова «молодая»:

- Полное прилагательное – молодая;
- Основа слова – молод;
- Род – Ж;
- Число – Ед;
- Падеж – И;
- Последняя буква основы слова – д;
- Окончание – ая;
- Левая часть окончания – а;
- Правая часть окончания – йя.

Решение задачи нормализации словоформы. Рассмотрим на примере решения задачи нормализации словоформы, она заключается в следующем: заданы форма слова и окружающий ее контекст, требуется отыскать слово, соответствующее этой словоформе. Введем в поле «Предложение» такой текст «добрые, зеленая, веселого, глупую». В поле «Список прилагательных» вывелись прилагательные: «добрые», «зеленая», «веселого» и «глупую», выполним их нормализацию нажав кнопку главного окна «Нормализовать».

Окно нормализации содержит такие элементы управления (см. рис. 8):

- кнопка «Нормализовать» – приводит к нормальной форме выбранное из списка «Прилагательные исходной формы» прилагательное;
- кнопка «Нормализовать все» – приводит к нормальной форме все прилагательные из списка «Прилагательные исходной формы»;
- кнопка «Назад» – открывает главное окно программы;
- кнопка «Выход» – завершение работы программы.

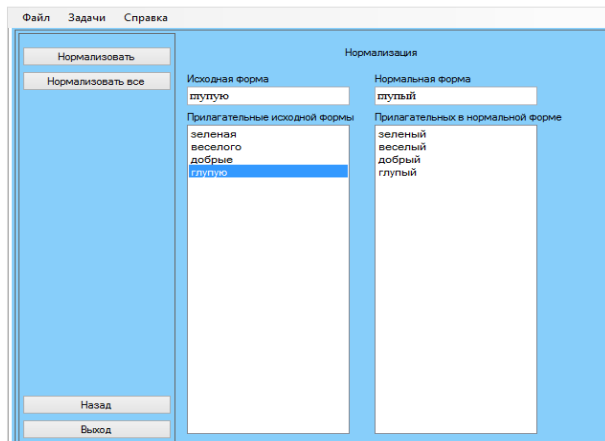


Рис. 8 – Окно нормализации

Для слова «зеленая» нормальная форма: «зеленый», для «добрые» – «добрый».

Выводы. Переход к реляционным логическим сетям в корне меняет взгляд на программирование.

В противоположность традиционному (функциональному) программированию реляционное программирование воспроизводит не поведение моделируемого объекта, а законы (отношения) определяющие это поведение.

Разработано программное приложение, которое решает задачи синтеза, анализа и нормализации словоформ, а также осуществляет фонетический анализ полных непритяжательных имен прилагательных в звуковой форме.

В перспективе возможно расширить приложение для моделей разработанных школой «бионика интеллекта», которые объединятся в общие модели для существительных, для глаголов, для наречий, что позволит автоматизировать процесс словоизменения для различных морфологических задач областей искусственного интеллекта.

Список литературы: 1. Бондаренко М. Ф. Мозгоподобные структуры / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Мозгоподобные структуры: Справочное пособие. Том первый. Под ред. НАН Украины И. В. Сергиенко – К. : Наукова думка, 2011. – 460 с. 2. Бондаренко М. Ф. Алгебра предикатов и предикатных операций / М. Ф. Бондаренко, З. В. Дударь, Н. Т. Процай, В. В. Черкашин, В. А. Чикина, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Радиотехника и информатика.– 2000. – № 4. – С. 15–23. 3. Бондаренко М. Ф. О реляционных сетях / М. Ф. Бондаренко, И. А. Лецинская, Н. П. Кругликова, Н. Е. Русакова, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Бионика интеллекта : научн.-техн. журнал. — 2010. — № 3. — С. 8–13. 4. Бондаренко М. Ф. О булевых реляционных сетях / М. Ф. Бондаренко, И. В. Каменева, И. А. Лецинская, Н. Е. Русакова, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко, И. Ю. Шубин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2011. – № 1. – С. 3–7. 5. Лецинский В. А. Модели бинарных логических сетей и их применение в искусственном интеллекте. Дис. ... канд. техн. наук. – Х. : ХНУРЭ, 2006. – 157 с. 6. Дударь З. В. Математические модели флексивной обработки словоформ и их использование в системах автоматической обработки текста русского языка. Дис. ... канд. техн. наук. – Х. : ХИРЭ, 1984. – 215 с. 7. Мельникова Р. В. Алгебраические модели морфологии и их применение в логических сетях. Дис. ... канд. техн. наук. – Х. : ХНУРЭ, 2005 – 152 с. 8. Русакова Н. Е. Дис. Моделирование мозгоподобных структур и их применение в искусственном интеллекте Дис. ... канд. техн. наук. – Х. : ХНУРЭ, 2012. – 157 с. 9. Каменева И. В. Побудова реляційної мережі коротких прикметників російської мови. / І. В. Каменева, А. С. Афанасьєв // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну: наук. фах. журнал.– 2012.– № 5 – С. 195–202. 10. Каменева И. В. Общая модель словоизменения имен прилагательных русского языка / И. В. Каменева, А. С. Афанасьев // Научно-технический журнал «АСУ и приборы автоматки» – Харьков, 2012 – С. 27–32.

Надійшла до редколегії 14.12.2012

С. Ф. ЧАЛЫЙ, д-р техн. наук, проф. ХНУРЕ, Харьков;
Е. О. БОГАТОВ, асп., каф ИУС, ХНУРЕ, Харьков;
А. Ю. КАЛЬНИЦКАЯ, асс., каф. ИУС, ХНУРЕ, Харьков;

ФОРМИРОВАНИЕ НАБОРА ОГРАНИЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЖУРНАЛОВ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ

В статье рассмотрена задача предварительной обработки журнала регистрации событий, которая решается при интеллектуальном анализе процессов. Предложен подход к формированию системы ограничений в виде набора правил при решении такой задачи. Предложена реализация подхода на основе мультиагентной системы.

Ключевые слова: мультиагентная система, интеллектуальный агент, Process mining, правила, журнальный файл.

У статті розглянута задача попередньої обробки журналу реєстрації подій, яка вирішується при інтелектуальному аналізі процесів. Запропоновано підхід до формування системи обмежень у вигляді набору правил при вирішенні такого завдання. Запропонована реалізація підходу на основі мультиагентної системи.

Ключові слова: мультиагентна система, інтелектуальний агент, Process mining, правила, журнальний файл

In this paper we consider the problem preprocessing event log, which is solved by Process mining. An approach to the formation of the system of constraints in the form of a set of rules for solving a problem. Proposed implementation of the approach based on multi-agent system.

Key words: multi-agent system, intelligent agents, Process mining, rules, log-file.

Введение. В области моделирования процессов обработки ресурсов в настоящее время существует два основных направления к построению моделей. Первое, традиционное, основано на построении моделей с использованием документации, опроса сотрудников, выявления связанных с процессами экспертных знаний и т.п. Второе, технология интеллектуального анализа процессов РМ (Process mining), которое очень интенсивно развивается в последние годы, связано с построением моделей на основе анализа журнальных файлов информационных систем, которые обеспечивают поддержку этих процессов (возможно, неформализованных). В указанных журнальных файлах регистрируются события, которые происходят в информационной системе.

Важное преимущество второго направления связано с тем фактом, что на основе журналов регистрации событий можно построить модель, отражающую реальное поведение процесса, тогда как модель на основе документации не всегда учитывает последовательности действий, отражающих скрытые неформализованные знания.

В то же время технология и методы интеллектуального анализа процессов предъявляют определенные требования к исходным данным, к исходному логу журнала. Исходные данные для построения модели процесса должны быть логически структурированы таким образом, чтобы отображать фактически выполнившиеся последовательности событий, отражающие каждый конкретный процесс обработки ресурсов (в частности, бизнес-процесс). Формирование указанных структурированных журнальных файлов осуществляется только в современных процессно-ориентированных системах в автоматическом режиме.

В то же время, существует значительное количество организаций, где используются информационные системы, не поддерживающие процессы обработки событий. Текущие действия в таких системах протоколируются с метками времени.

Иными словами, регистрационные файлы в таких системах содержат информацию, необходимую для построения процессной модели и отражающей реально выполняющиеся процессы. Однако такая информация не упорядочена в соответствии с существующими требованиями интеллектуального анализа процессов. Это и обуславливает актуальность темы статьи.

Вышеизложенное определяет актуальность проблемы предварительной обработки неструктурированных журналов регистрации событий.

Анализ исследований и публикаций. Работы в области интеллектуального анализа процессов [1–3] посвящены разработке методов и технологии построения моделей процессов обработки ресурсов на основе последовательности событий, отражающих поведение реального неформализованного процесса и зафиксированных в журнале регистрации событий, обычно имеющем следующие элементы [4, 5]: временная отметка, наименование события, объект, пользователь. Наличие указанных структурных элементов является существенным ограничением разработанных методов интеллектуального анализа процессов.

В работах [4, 5] были рассмотрены ограничения на применение технологии интеллектуального анализа процессов, а также рассмотрен метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов. Данный метод предполагает формирование структурированного журнального файла из неструктурированного на основе экспертных правил, получаемых при интервьюировании экспертов в данной области [4]. Таким образом, получаемые результаты в значительной степени зависят от знаний эксперта. Однако такой подход имеет ряд недостатков: знания эксперта могут быть в значительной степени субъективными; знания предоставленные экспертом или группой экспертов могут быть противоречивыми; полученные знания могут быть неполными.

Это обуславливает актуальность разработки подходов к формированию ограничений в задаче предварительной обработки неструктурированных журналов регистрации событий.

Постановка задачи. Задача формирования набора ограничений при предварительном преобразовании журнала регистрации событий в форму, пригодную для проведения интеллектуального анализа процессов, заключается в следующем. Регистрационные файлы (регистрационные базы данных) систем коллективной работы необходимо преобразовать в структурированные журнальные файлы, аналогичные журналам регистрации событий процессно-ориентированных информационных систем.

Исходными данными задачи являются: неструктурированный регистрационный файл, содержащий в общем случае неупорядоченное описание событий с указанием метки времени. Из такого файла может быть извлечен перечень обрабатываемых объектов предметной области и их атрибутов.

Необходимо на основе анализа неструктурированного файла выявить набор ограничений, задающих возможные пути преобразования неструктурированного журнала регистрации событий в структурированный, а также обосновать возможность решения задачи предварительной обработки журнала при наличии заданных ограничений.

Основные шаги решения поставленной задачи включают в себя:

- формирование перечня объектов, с которыми оперирует процесс на основе анализа журнала регистрации событий;
- нахождение набора ограничений, отражающих возможные зависимости между объектами процесса из полученного на предыдущем шаге перечня;
- проверка возможности получения решения задачи предварительной обработки, удовлетворяющего системе полученных ограничений; в случае невозможности выполнить ограничения они должны быть изменены (ослаблены);
- разработка мультиагентной системы, реализующей преобразование журнала согласно полученной системе ограничений.

В данной статье рассматриваются следующие шаги решения поставленной задачи:

- нахождение набора ограничений, отражающих возможные зависимости между объектами процесса из полученного на предыдущем шаге перечня;
- разработка мультиагентной системы, реализующей преобразование журнала согласно полученной системе ограничений.

Нахождение набора ограничений, отражающих возможные зависимости между группами объектов процесса. Выявление перечня объектов процесса осуществляется на первых этапах метода предварительной

обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов, путем выделения списка объектов над, которыми совершаются действия в системе.

Отметим, что объекты и группы объектов процесса могут служить основанием для выделения процедур процессов, что в свою очередь позволяет строить многоуровневое описание процесса предприятия. Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы кластеризации, технологии интеллектуального анализа данных.

Проблема удовлетворения ограничений (CSP) состоит в нахождении решений для заданных ограничений, то есть определение допустимой области значений переменных в объектах, которые смогут удовлетворить всем ранее заданным ограничениям. Таким образом ограничения задают множества допустимых значений [7].

На сегодняшний день активно развивается направление программирования ограничений, основанная на теории проблемы покрытия/удовлетворения заданных ограничений. Согласно данной теории [7, 8] формальное представление задачи удовлетворяющих ограничений описывается представленным далее образом.

Пусть имеется, конечный алфавит переменных, который определяется, как множество переменных $K = \langle k_1, k_2, \dots, k_n \rangle$.

Пусть имеется множество объектов $T = \langle t_1, t_2, \dots, t_n \rangle$ и каждый объект может принимать одно из множества значений K , определяемых как $k_i \in t_i$, содержимое ячейки в таком случае обозначим как $k(t)$. Множество всех возможных состояний, которые могут принимать объекты представляется через $T \rightarrow K$, обозначим как k^T . Для формирования ограничений на группы объектов выделяют понятие домена/группы объектов, которое определим как T' , $T' \subset T$, таким образом, значения, принимаемые в данном подмножестве, определяются как $k(T')$. Данное обозначение $k(T')$ следует понимать как функцию формата $T' \rightarrow K$, являющуюся сужением функции $\bar{k}: T \rightarrow K$, на подмножество $T' \subset T$.

Функция, описывающая допустимость выбранного набора ограничений, определяется как $G: K^T \rightarrow \{0, 1\}$. Которая для каждого набора $\bar{k}: T \rightarrow K$ определяет его допустимость $G(\bar{k}) = 1$, или недопустимость $G(\bar{k}) = 0$. Пусть задано условие $g_{(T')}(k(T'))$, которое является ограничением на существование объекта с заданной переменной.

Таки образом, формально задача имеет следующий вид:

$$G(\bar{k}) = \bigg\&_{T' \in T} g_{(T')}(k(T')) = 1. \quad (1)$$

В качестве ограничения могут выступать функции, характеризующие как ограничения на принимаемые значения, так и допустимые структурные

взаимосвязи между значениями. Функции второго вида представляют типовые шаблоны взаимодействия элементов.

Каждая запись в неструктурированном журнале регистрации событий характеризуется следующим набором параметров [4]:

$$S = \langle T, A, U, O \rangle, \quad (2)$$

где S – журнальный файл;

T – временной параметр;

A – действие (событие);

U – исполнитель;

O – объект процесса, над которым совершаются действия.

Для описания шаблона посредством набора ограничений в качестве объектов T , были взяты события, записанные в журнальном файле. В качестве переменных k , которые могут содержать объекты, был выбран параметр времени. Данный выбор был связан с тем, что все объекты журнального файла синхронизированы и структурированы по временному параметру, а также следует отметить, что данный параметр позволяет выстроить последовательность наступления того или иного события при исполнении рассматриваемого процесса.

В качестве переменных, которые принимают рассматриваемые нами объекты, целесообразно использовать параметр времени наступления события. Следует отметить, что для описания структурных шаблонов достаточно представить свойства и отношения переменной одного объекта относительно другого.

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к определению допустимого набора ограничений на значения переменных, которые характеризуют свойства объектов из рассматриваемого множества.

В основе задач моделирования процессов лежат знания о структурных шаблонах процессов. Следует отметить, что любой шаблон, применяемый при построении модели процесса, можно представить как набор ограничений.

Выделяют следующие базовые структурные шаблоны:

- последовательность;
- параллельное разбиение;
- синхронизация;
- эксклюзивный выбор;
- простое слияние.

Каждый структурный шаблон является последовательностью событий, либо подпроцессов, что в свою очередь зависит от рассматриваемого нами уровня представления процесса. Структурные шаблоны можно описать как систему из 3 объектов.

$$P = \langle O, O, O \rangle, \quad (3)$$

где P – шаблон;

O – рассматриваемый объект.

Последовательность определяет безусловный переход от одной процедуры бизнес-процесса к другой, представлена на рис. 1. Таким образом, ограничением на отнесение последовательности событий к данным шаблонам является следующее выражение:

$$k_{(t_1)} < k_{(t_2)} < k_{(t_3)}. \quad (4)$$

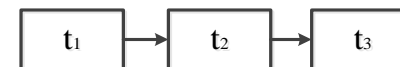


Рис. 1 – Шаблон «Последовательность»

Параллельное ветвление (AND – ветвление) – определяет разбиение единого потока управления на множество параллельных потоков, представлена на рис. 2.

Каждый параллельный поток реализуется в виде одной или нескольких последовательно выполняющихся процедур бизнес-процесса. Инициализация следующих за ветвлением событий происходит одновременно и оба события следуют за одним и тем же объектом, следовательно, данный шаблон описывается следующим набором ограничений:

$$k_{(t_1)} < k_{(t_2)} \ \& \ k_{(t_1)} < k_{(t_3)} \ | \ k_{(t_2)} = k_{(t_3)}. \quad (5)$$

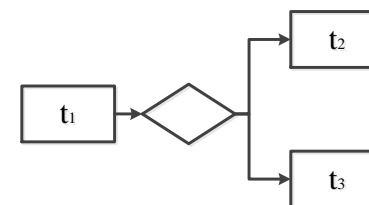


Рис. 2 – Шаблон «Параллельное ветвление»

Синхронизация (AND – объединение) – определяет синхронизируемое слияние множества параллельных процессов (последовательностей процедур) в один поток управления, причем предполагается, что каждая входная ветвь синхронизатора выполняется только один раз, представлена на рис. 3.

Инициализация предшествующих ветвлению событий происходит одновременно и оба события предшествуют последующему, следовательно, данный шаблон описывается следующим набором ограничений:

$$k_{(t_1)} > k_{(t_3)} \ \& \ k_{(t_2)} > k_{(t_3)} \ | \ k_{(t_1)} = k_{(t_2)}. \quad (6)$$

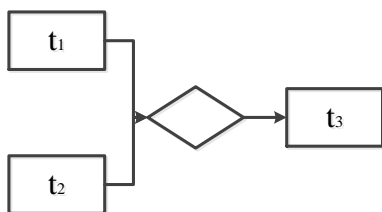


Рис. 3 – Шаблон «Синхронизация»

Эксклюзивный выбор (XOR – разделение) – определяет выбор, в зависимости от управляющих данных, одной из нескольких ветвей реализации процесса, представлена на рис. 4.

Следующие за ветвлением события t_2 , t_3 наступают в разный момент времени, каждый из объектов попеременно следуют за одним и тем же объектом t_1 ; следовательно, данный шаблон описывается следующим набором ограничений:

$$(k_{(t_1)} < k_{(t_2)} \parallel k_{(t_1)} < k_{(t_3)}) \mid$$

$$\mid k_{(t_2)} = \text{true} \ \& \ k_{(t_3)} = \text{false} \parallel k_{(t_2)} = \text{false} \ \& \ k_{(t_3)} = \text{true} . \quad (7)$$

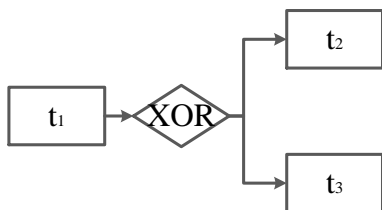


Рис. 4 – Шаблон исключающее «ИЛИ»

Простое слияние (OR – объединение) – определяет схождение нескольких альтернативных ветвей без синхронизации при условии, что ни одна из процедур, принадлежащих альтернативным ветвям, не выполнялась параллельно, представлена на рис. 5.

События, предшествующие ветвлению t_1 и t_2 наступают попеременно, оба события t_1 и t_2 предшествуют событию t_3 ; следовательно, данный шаблон описывается следующим набором ограничений.

$$(k_{(t_1)} > k_{(t_3)} \parallel k_{(t_2)} > k_{(t_3)}) \mid$$

$$\mid k_{(t_1)} = \text{false} \ \& \ k_{(t_2)} = \text{true} \parallel k_{(t_1)} = \text{true} \ \& \ k_{(t_2)} = \text{false} . \quad (8)$$

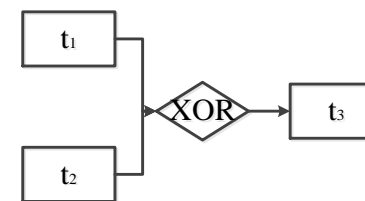


Рис. 5 – Шаблон «Простое слияние»

Для реализации представленных ограничений используется мульти-агентный подход, как рассмотрено далее. Указанный набор ограничений в форме структурных шаблонов построения модели является базовым, однако, даже данный минимальный набор ограничений, при построении модели, может вызвать противоречивость при исполнении модели. Противоречивость при построении модели может быть связана с тем, что принятие решения о отнесении последовательности из нескольких объектов к какому-либо шаблону осуществляется на основе информации о частоте повторения данной последовательности во всем анализируемом файле регистрации событий. Очевидно, что могут возникать ситуации, при которых невозможно однозначно отнести рассматриваемую последовательность к имеющимся в базе знаний шаблонам, либо в базе знаний может отсутствовать информация о данном шаблоне, для разрешения таких проблем предлагается использовать алгоритмы, которые рассмотрены в работах по формальным моделям образного мышления [7, 8].

Мультиагентный подход к реализации системы ограничений. Агент (интеллектуальный агент) определяется как автономная сущность, которая ведет наблюдение за внешней средой (получает информацию) по средствам сенсоров, оказывает на неё воздействие с помощью имеющихся механизмов и направляет свою деятельность для достижения поставленных целей [6].

Типовая структура интеллектуального агента содержит следующие элементы:

- сенсоры;
- блок обработки текущего состояния внешней среды/ состояние наблюдаемого объекта;
- множество продукционных правил (если – то);
- блок выбора действия согласно исполняемому правилу;
- механизмы агента.

Для принятия решений интеллектуальные агенты (ИА) могут использовать как алгоритм, так и базу знаний, а так же поддерживать самообучение. Для мультиагентной системы разрабатываемой, для реализации преобразования журнала на основе системы ограничений, используется база знаний. Данный выбор связан с тем, что базовые структурные шаблоны, которые предполагается хранить в базе знаний системы, могут быть дополнены другими

шаблонами моделирования процессов, либо базироваться на уже имеющихся в базе знаний шаблонах.

Интеллектуальные агенты, функционирующие в рамках разрабатываемой системы должны удовлетворять следующим требованиям:

- автономность – агенты являются частично или полностью автономными;
- локальность – каждый агент располагает лишь частичной информацией об объекте/окружении;
- децентрализация – процесс управления поиском решений распределен между ИА.

Таким образом, следует выделить группу агентов распознавания и группу ИА управления. Агенты группы распознавания по типу взаимодействия относятся к агентам групповой коммуникации.

Взаимодействие между такими агентами осуществляется следующим образом:

- каждый агент группы знает о существовании другого агента группы, а также о совершаемых им в данный момент действиях, такого рода информацию можно получить при запросе состояния другого агента;
- решение задачи зависит от результатов участия каждого из агентов, агенты по отдельности выполняют лишь части задачи, т.е. распознают в выявленных последовательностях шаблон.

Агенты управления соответствуют типу агентов-сервисов/ агентов взаимодействия. Данный тип агентов, по сути, представляет определенные функции, в которых могут нуждаться другие агенты, входящие в мультиагентную систему. К таким методам разработанной системы следует отнести: формирование списка часто встречающихся последовательностей, проверка на допустимость заданного набора правил. Под формированием часто встречающихся последовательностей подразумевается решение типовой задачи Data mining, которая позволяет выявить частоту вхождения в журнальный файл последовательностей заданной длины в определенную цепочку событий. Следует отметить, что для решения поставленной задачи – выявления шаблонов проектирования достаточно знать о последовательностях с размерностью в 3 элемента, согласно правилами формирования отношений порядка [7] и работам по формальному описанию образного мышления [8]. Общая схема разработанной мультиагентной системы представлена на рис. 6. Для принятия решений в агентной системе используются: база знаний, механизмы вывода, наблюдения (информация, поступающая с датчиков/сенсоров), механизмы / методы воздействия на внешнюю среду.

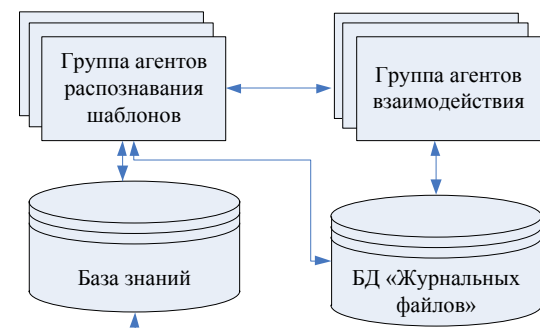


Рис. 6 – Структурная схема разработанной мультиагентной системы

Выводы. В работе выполнена постановка задачи предварительной обработки неструктурированных журналов регистрации событий на основе системы формализованных ограничений.

Представлен подход к заданию ограничений на основе шаблонов структурных взаимосвязей между объектами процессов в неструктурированных журналах регистрации событий, а также подход к предварительной обработке таких журналов на основе мультиагентных технологий. Сформированные ограничения на базовые структурные шаблоны в дальнейшем могут быть дополнены и расширены более специализированными шаблонами процесса.

Список литературы: 1. *W. M. P. van der Aalst*. Process-Aware Information Systems: Lessons to be Learned from Process Mining / *W. M. P. van der Aalst* // Department of Mathematics and Computer Science Eindhoven University of Technology. – Eindhoven, 2000. – 26 p. 2. *W. M. P. van der Aalst*. Business Process Management Demystified : A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management / *W. M. P. van der Aalst* // Department of Mathematics and Computer Science Eindhoven University of Technology. – Eindhoven, 2004. – 68 p. 3. *W. M. P. van der Aalst*. Process Mining : Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / *W. M. P. van der Aalst*. – N.–Y.: Springer Verlag. – 2011. – 370. 4. *Левыкин В. М.* Метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов / *В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов, М. И. Дикусар* // Сборник статей № 7 (88). – К., 2011. – ДП «ЦНДИНУ». – С. 203–207. 5. *Чалый С. Ф.* Предварительное преобразование журнальных файлов в задачах Process mining / *С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов* // Збірка матеріалів другої міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні напрями розвитку інформаційно- комунікаційних технологій та засобів управління”. – Київ, 2012. – ДП «ЦНДИНУ», 2011. – 51 с. 6. *Stuart Russell*. Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Edition) [Hardcover] / *Stuart Russell, Peter Norvig* // Publication Date : December 11, 2009 | ISBN-10 : 0136042597 | ISBN-13 : 978-0136042594 | Edition : 3. 7. *Schlesinger M. I.* Solution to Structural Recognition (MAX,+)-problems by their Equivalent Transformations. Part 1. In Russian: Решение (MAX,+)-задач структурного распознавания с помощью их эквивалентных преобразований. Часть 1. Control Systems and Computers, 2007(1), Kiev. – P. 3–15. 8. *Schlesinger M. I., Giginyak V. V.* Solution to Structural Recognition (MAX,+)-problems by their Equivalent Transformations. Part 2. In Russian : Решение (MAX,+)-задач структурного распознавания при помощи их эквивалентных преобразований. Часть 2.

Надійшла до редколегії 06.12.2012

И. В. ТЕРЕЩУК, аспирант ДонНТУ, Донецк

ЗАДАЧИ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ФИНАНСОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

В данной работе рассматривается процесс формирования и движения материальных и соответствующих денежных потоков на предприятии. Основу плана предприятия составляет портфель заказов (ПЗ), сформированный на планируемый период. На основании сформированного портфеля заказов и плана будущей деятельности предприятия формируется постановка задачи бюджетирования.

Ключевые слова: бюджетирование, оптимальное планирование, портфель заказов.

У цій роботі розглядається процес формування і руху матеріальних і грошових потоків на підприємстві. Основу плану підприємства складає портфель замовлень (ПЗ), сформований на планований період. На підставі сформованого портфеля замовлень і плану майбутньої діяльності підприємства формується постановка завдання бюджетування.

Ключові слова: бюджетування, оптимальне планування, портфель замовлень.

In given work is considered the process of forming and motion of material and money streams on an enterprise. Basis of plan of enterprise is made by the order book, formed on the planned period. On the basis of the order book and plan of future activity of enterprise raising of task of budgeting is formulated.

Keywords: budgeting, optimal planning, order book.

Введение. В настоящее время все большее внимание руководителей предприятий привлекают пути и средства повышения эффективности деятельности предприятия. Планирование и организация хозяйственной деятельности, выявление и использование резервов производства становятся основными конкурентными преимуществами предприятия на рынке. Эффективным методом планирования производственной и финансовой деятельностью предприятия является бюджетирование. Процесс бюджетирования позволяет более обоснованно определить будущие возможности предприятия по формированию и использованию финансовых результатов.

Анализ исследований и публикаций. Общетеоретические аспекты планирования на предприятии изложены в работе [1]. Материал, изложенный в ней, представляет собой методiku подхода к вопросам планирования деятельности предприятия. В работе [2] предлагаются модели оптимального планирования, на основании которых возможна постановка задач. В работах [3, 4] рассматриваются методологические проблемы бюджетного планирования деятельности предприятия, включая элементы, этапы и виды. Методика, предложенная в [4], принята за основу данной работы.

Цель исследования, постановка задачи. Для постановки задачи бюджетирования необходимо провести анализ и формализацию характеристик

объектов управления, исследовать функциональную взаимозависимость показателей, выполнить физическую постановку задачи финансового планирования, формализовать задачу оптимального планирования, сформировать ограничения задачи.

Материалы исследований. Планирование на предприятии организовано таким образом, что предусматривает прохождение трех этапов: 1-й этап – производственный отдел, 2-й этап – плановый отдел, 3-й этап – финансовый отдел.

Работа предприятия основывается на портфеле заказов потребителей. Портфель заказов содержит заказы на производство разноплановой продукции. Каждый заказ содержит информацию: о виде продукции, ее количестве, стоимости, сроках выпуска продукции.

$$Z_i = \sum_{j=1}^J GP_{ij}, i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

$$PZ = \sum_{i=1}^I Z_i, \quad (2)$$

где Z_i – объем продукции всего i -го заказа, PZ – общий объем продукции портфеля заказов, GP_{ij} – количество j -го вида продукции в i -м заказе, i – номер заказа на производство продукции, I – количество заказов, j – номер вида продукции, J – количество видов продукции в заказах.

Для определения количества каждого вида продукции в портфеле заказов выделяют группы однородной продукции. Совокупность групп образует портфель заказов.

$$G_j = \sum_{i=1}^I GP_{ij}, j = \overline{1, J}, \quad (3)$$

$$PZ = \sum_{j=1}^J G_j, \quad (4)$$

где G_j – количество группы однородной продукции в портфеле заказов, PZ – общий объем продукции портфеля заказов, GP_{ij} – количество j -го вида продукции в i -м заказе, i – номер заказа на производство продукции, I – количество заказов, j – номер вида продукции, J – количество видов продукции в заказах.

Планируемый объем выпуска продукции в натуральном выражении определяется в денежном выражении. При этом необходимо обеспечить полное соответствие плана в стоимостном выражении запланированному выпуску продукции в натуральном выражении.

$$SP_{G_j} = ZP_j * G_j, j = \overline{1, J}, \quad (5)$$

$$D = \sum_{j=1}^J SP_{G_j}, \quad (6)$$

где SP_{G_j} – стоимость группы, ZP_j – цена j продукции за единицу, D – доход портфеля заказов, j – номер вида продукции, J – количество видов продукции в заказах.

Важным критерием увеличения прибыли предприятия является формирование эффективного портфеля заказов, обеспечивающего максимально возможную рентабельность каждого заказа. Для этого необходимо определить доход каждого заказа.

$$DZ_i = \sum_{j=1}^J GP_{ij} * ZP_j, i = \overline{1, I}, \quad (7)$$

где DZ_i – доход i -го заказа, GP_{ij} – количество j -го вида продукции в i -м заказе, ZP_j – цена j продукции за единицу, i – номер заказа на производство продукции, I – количество заказов, j – номер вида продукции, J – количество видов продукции в заказах.

Исходными данными для составления плана предприятия являются данные портфеля заказов (ПЗ), сформированного на планируемый период.

Физическая постановка задачи для 1-го этапа планирования: составить производственную программу таким образом, чтобы выполнить все заказы в минимальные сроки, т. е. для групп однородной продукции портфеля заказов определить виды оборудования, технологические операции, вид и количество сырья и комплектующих, при которых сроки выполнения всех заказов будут минимальными. При этом сроки выполнения производственной программы должны быть не больше сроков, указанных в договорах, общее количество выпускаемой продукции должно быть не меньше количества, указанного в договорах, суммарный коэффициент загрузки оборудования не должен превышать расчетной производственной мощности предприятия на период планирования.

Формальная постановка задачи для 1-го этапа:

$$I_1 = F_1(X_1) \rightarrow \min_{X_1}, \quad (8)$$

где $X_1 = \{G_{j1}, TO_{j1}, TU_{j1}, VC_{j1}, KC_{cG,1}, t_{G,1}\}$, TO_{j1} – матрица возможности обработки прод. на $q1$ -м оборудовании, TU_{j1} – матрица возможных технологических операций VC_{j1} – вид сырья, $KC_{cG,1}$ – количество сырья, c – номер вида сырья, $c = \overline{1, C}$, C – количество видов сырья и комплектующих.

$$\begin{aligned} t_{G,1} &\leq t_{G,j}^d, j = \overline{1, J} \\ G_{j1} &= G_j^d, j = \overline{1, J}, \\ \sum_{q1=1}^Q Kz_{q1} &\leq Mp, \end{aligned} \quad (9)$$

где $t_{G,1}$ – сроки выпуска, $t_{G,j}^d$ – сроки поставок, указанные в договорах, G_{jd} – количество, указанное в договорах, Kz_{q1} – коэффициент загрузки $q1$ -го оборудования, $q1$ – вид оборудования, Mp – производственная мощность предприятия.

В результате решения задачи 1-го этапа (6)–(7) получено:

$$X_1^* = (G_{j1}^*, TO_{j1}^*, TU_{j1}^*, VC_{j1}^*, KC_{cG,1}^*, t_1^*) : F(X_1^*) = t_1^*, \quad (10)$$

На основании результатов, полученных производственным отделом, плановому отделу необходимо рассчитать технологическую себестоимость выпускаемых групп продукции, которая включает в себя прямые затраты на сырье и комплектующие, энергозатраты, прямые затраты на оплату труда.

Физическая постановка задачи планирования для 2-го этапа: в соответствии с разбиением портфеля заказов на группы однородной продукции определить для каждой группы виды оборудования, технологические операции, вид и количество сырья и комплектующих, затраты на производство в стоимостном выражении, при которых технологическая себестоимость портфеля заказов будет минимальной. При этом сроки выполнения производственной программы должны быть не больше сроков, указанных в договорах, общее количество выпускаемой продукции должно быть равным количеству, указанному в договорах, суммарный коэффициент загрузки оборудования не должен превышать расчетной производственной мощности предприятия на период планирования.

Физическая постановка задачи для 2-го этапа может быть формализована в виде задачи оптимального планирования. Формальная постановка задачи представлена в виде функционала:

$$I_2 = F_2(X_2) \rightarrow \min_{X_2}, \quad (11)$$

где $X_2 = \{G_{j2}, TO_{j2}, TU_{j2}, VC_{j2}, KC_{cG,2}, t_{G,2}, CCT_{G,2}\}$.

Решение задачи осуществляется в условиях ограничений, представленных неравенствами:

$$\begin{aligned}
t_{G_j,2} &\leq t_{G_j}^d, j = \overline{1, J} \\
G_{j,2} &= G_j^d, j = \overline{1, J}, \\
\sum_{q2=1}^Q Kz_{q2} &\leq Mp
\end{aligned}
\quad (12)$$

где $t_{G_j,2}$ – сроки выпуска, $t_{G_j}^d$ – сроки поставок, указанные в договорах, G_{jd} – количество, указанное в договорах, Kz_{q2} – коэффициент загрузки $q2$ -го оборудования, $q2$ – вид оборудования, Mp – производственная мощность предприятия.

В результате решения задачи (9)-(10) получено решение, которое обеспечивает получение минимального значения технологической себестоимости всех заказов:

$$X_2^* = (G_{j,2}^*, TO_{j,2}^*, TU_{j,2}^*, VC_{j,2}^*, KC_{cG_j,2}^*, t_{G_j,2}^*, CCT_{G_j,2}^*): F(X_2^*) = CCT_2^* \quad (13)$$

Показатели, полученные в результате решения задач 1-го и 2-го этапов, используются при постановке задачи 3-го этапа планирования. Для постановки задачи необходимо определить значения расходов, доходов, выплат и поступлений денежных средств.

$$CCP_{G_j} = CCT_{G_j} + RR_{G_j} + RT_{G_j} + RB_{G_j} + \alpha 1_{G_j} * OPR + \alpha 2_{G_j} * Am, j = \overline{1, J}, \quad (14)$$

$$CCP = \sum_{j=1}^J CCP_{G_j}, \quad (15)$$

где CCP_{G_j} – производственная себестоимость, RR_{G_j} – стоимость ремонта, RT_{G_j} – транспортные расходы, RB_{G_j} – потери от брака, OPR – общепроизводственные расходы, $\alpha 1_{G_j}$ – доля общепроизводственных расходов для G_j в общепроизводственных расходах предприятия согласно выбранной базе распределения, Am – амортизация, $\alpha 2_{G_j}$ – доля амортизационных отчислений для G_j в амортизационных отчислениях предприятия согласно выбранной базе распределения, CCP – производственная себестоимость всего объема выпускаемой продукции, j – номер вида продукции, J – количество видов продукции в заказах.

$$CCP + RAD + RSB + RO_{dr} = RMT + ROT + RCO + Am + RO_{dr}, \quad (16)$$

где RAD – административные расходы, RSB – расходы на сбыт, RO_{dr} – прочие операционные расходы, возникающие в процессе операционной де-

ятельности предприятия (кроме расходов, включаемых в состав себестоимости продукции), RMT – материальные затраты, ROT – расходы на оплату труда, RCO – социальные отчисления, Am – амортизация.

Валовые расходы:

$$VR = RMT + ROT + RCO + RO_{dr} + RK_{pz} + VR_{dr}, \quad (17)$$

где RMT – материальные затраты, ROT – расходы на оплату труда, RCO – социальные отчисления, RO_{dr} – прочие операционные расходы, RK_{pz} – размер кредитных платежей в погашение процентов по кредиту, VR_{dr} – прочие расходы, входящие в состав валовых расходов.

Выплаты денежных средств предприятия представлены выражениями (18)–(21):

$$R_{od} = CCP - Am - \sum_{k_4=1}^{K_4} \delta P_{k_4,4}^{od} + RAD + RSB + RO_{dr} + RK_{pz} + \delta A_3 + N + RCH_{od}, \quad (18)$$

где R_{od} – выплаты предприятия по операционной деятельности, CCP – себестоимость ПЗ, Am – амортизация, $\delta P_{k_4,4}^{od}$ – изменения статей в разделе баланса $P4$ «Текущие обязательства», связанных с операционной деятельностью, RK_{pz} – выплата процентов по операционным кредитам, RO_{dr} – прочие операционные расходы, δA_3 – изменение раздела баланса «Расходы будущих периодов», N – налог на прибыль, RCH_{od} – денежные выплаты, связанные с чрезвычайными событиями в процессе операционной деятельности.

$$R_{inv} = RFI + RNA + RHZ + RD_{inv} + RCH_{inv}, \quad (19)$$

где R_{inv} – выплаты по инвестиционной деятельности, RFI – выплаты на приобретение финансовых инвестиций, RNA – выплаты на приобретение оборотных активов, RHZ – выплаты на приобретение хоз. комплексов, RD_{inv} – денежные выплаты по фьючерсным контрактам, форвардным контрактам, опционам и договорам «своп», RCH_{inv} – денежные выплаты, связанные с чрезвычайными событиями в процессе инвестиционной деятельности.

$$R_{fin} = RKR + RDIV_{fin} + RD_{fin} + RCH_{fin}, \quad (20)$$

где R_{fin} – выплаты по финансовой деятельности, RKR – денежные выплаты для погашения полученных займов, $RDIV_{fin}$ – суммы дивидендов, выплаченные денежными средствами, RD_{fin} – другие денежные выплаты, связанные с финансовой деятельностью, RCH_{fin} – денежные выплаты, связанные с чрезвычайными событиями в процессе финансовой деятельности.

$$R = R_{od} + R_{inv} + R_{fin}, \quad (21)$$

где R – все выплаты денежных средств, R_{od} – выплаты предприятия по операционной деятельности, R_{inv} – выплаты по инвестиционной деятельности, R_{fin} – выплаты по финансовой деятельности.

Доходы предприятия определяются выражениями (22)–(26):

$$VD = D_{od} + D_{inv}^v + D_{fin}^v, \quad (22)$$

где VD – валовый доход, D_{od} – поступления от операционной деятельности, D_{inv}^v – поступления от инвестиционной деятельности, D_{fin}^v – поступления от финансовой деятельности.

$$PR1 = VD - VR - Am, \quad (23)$$

где VD – валовый доход, VR – валовый расход, Am – амортизация, $PR1$ – прибыль предприятия от обычной деятельности.

$$PR2 = PR1(1 - N), \quad (24)$$

где $PR2$ – чистая прибыль от обычной деятельности, $PR1$ – прибыль предприятия от обычной деятельности, N – налог на прибыль.

$$PR3 = DCH - RCH, \quad (25)$$

где $PR3$ – чрезвычайная прибыль, DCH – чрезвычайные доходы, RCH – чрезвычайные расходы.

$$PRC = PR2 + PR3(1 - N3), \quad (26)$$

где PRC – чистая прибыль предприятия, $PR2$ – чистая прибыль от обычной деятельности, $PR3$ – чрезвычайная прибыль, $N3$ – налог на чрезвычайную прибыль.

Поступления денежных средств предприятия определяются выражениями (27)–(30):

$$D_{od} = D + DO_{dr} - \sum_{k_2=1}^{K_2} \delta A_{k_2,2}^{od} + DCH_{od}, \quad (27)$$

где D_{od} – поступления предприятия по операционной деятельности, D – доход предприятия от производственной деятельности, DO_{dr} – прочие операционные доходы (в том числе денежные поступления от производства или приобретения активов, удерживаемых для сдачи в аренду другим лицам, а впоследствии удерживаемых для продажи, получение процентов, денежные поступления, связанные с продажей коммерческих или торговых ценных бумаг, суммы полученных дивидендов и др.), $\delta A_{k_2,2}^{od}$ – изменения статей в разделе баланса $A2$ «Оборотные активы», связанных с операционной деятель-

ностью, DCH_{od} – доход от чрезвычайных событий в процессе операционной деятельности.

$$D_{inv} = DFI + DNA + DHZ + DD_{inv} + DCH_{inv}, \quad (28)$$

где D_{inv} – поступления по инвестиционной деятельности, DFI – продажа финансовых инвестиций, DNA – продажа необоротных активов, DHZ – продажа хозяйственных комплексов, DD_{inv} – денежные поступления по фьючерсным контрактам, форвардным контрактам, опционам и договорам «своп», DCH_{inv} – доход от чрезвычайных событий в процессе инвестиционной деятельности.

$$D_{fin} = DCK + DKR + DD_{fin} + DCH_{fin}, \quad (29)$$

где D_{fin} – поступления по финансовой деятельности, DCK – увеличение собственного капитала (от размещения акций и других операций), DKR – получение денежных средств в результате образования долговых обязательств (займов, векселей, облигаций и др.), DD_{fin} – другие денежные поступления от финансовой деятельности, DCH_{fin} – доходы, связанные с чрезвычайными событиями в процессе финансовой деятельности.

$$D = D_{od} + D_{inv} + D_{fin}, \quad (30)$$

где D – все поступления денежных средств, D_{od} – поступления по операционной деятельности, D_{inv} – поступления по инвестиционной деятельности, D_{fin} – поступления по финансовой деятельности.

Чистые денежные потоки предприятия описываются равенствами (31)–(38):

$$CDP_{od} = D_{od} - R_{od}, \quad (31)$$

$$CDP_{inv} = D_{inv} - R_{inv}, \quad (32)$$

$$CDP_{inv} = \sum_{k_1=1}^{K_1} \delta A_{k_1,1} + \sum_{k_2=1}^{K_2} \delta A_{k_2,2}^{inv}, \quad (33)$$

$$CDP_{fin} = D_{fin} - R_{fin}, \quad (34)$$

$$CDP_{fin} = \sum_{k_1=1}^{K_1} \delta P_{k_1,1} + \sum_{k_2=1}^{K_2} \delta P_{k_2,2} + \sum_{k_3=1}^{K_3} \delta P_{k_3,3} + \sum_{k_4=1}^{K_4} \delta P_{k_4,4}^{fin}, \quad (35)$$

$$CDP = CDP_{od} + CDP_{inv} + CDP_{fin}, \quad (36)$$

$$SL = SL_p + CDP - vk, \quad (37)$$

$$A_{23} = SL, \quad (38)$$

где SL – сальдо денежных средств, SL_p – сальдо предыдущего периода, CDP – чистый денежный поток по предприятию, νk – влияние изменения валютных курсов, A_{23} – показатель статьи «Денежные средства и их эквиваленты».

$$Res = 1,2 * (SL_p + CDP - \nu k), \quad (39)$$

где Res – минимальная денежная сумма сальдо.

Формализация характеристик финансовой программы позволяет перейти к физической постановке задачи оптимального планирования для 3-го этапа.

Физическая постановка задачи для 3-го этапа: необходимо обеспечить реализуемость производственной программы, т. е. для групп однородной продукции портфеля заказов определить виды оборудования, технологические операции, вид и количество сырья и комплектующих, сроки выпуска и себестоимость таким образом, чтобы получить величину сальдо, соответствующую минимальному значению при выполнении условия балансового равенства.

Формальная постановка задачи для 3-го этапа представлена в виде функционала:

$$I_3 = F(X_3) \rightarrow \min_{X_3}, \quad (40)$$

где $F(X_3^*) = SL_3^*$, $X_3 = \{G_{j3}, TO_{j3}, TU_{j3}, VC_{j3}, KC_{cG_{j3}}, t_{G_{j3}}, CCT_{G_{j3}}\}$ – решение задачи планового отдела, j – номер вида продукции, $j = \overline{1, J}$, J – количество видов продукции в заказах.

$$A = P, \quad (41)$$

где A – актив предприятия, P – пассив предприятия.

$$A_k = \sum_{i_k=1}^{I_k} A_{i_k k}, k = \overline{1, 3}, \quad (42)$$

где A_k – показатель (в денежном выражении) k -го раздела актива баланса, $A_{i_k k}$ – показатель i_k -й статьи k -го раздела актива баланса, i_k – номер статьи k -го раздела актива баланса, $i_k = \overline{1, I_k}$, I_k – количество статей в k -м разделе актива баланса.

$$P_n = \sum_{i_n=1}^{I_n} P_{i_n n}, n = \overline{1, 5}, \quad (43)$$

где P_n – показатель (в денежном выражении) n -го раздела пассива баланса, $P_{i_n n}$ – показатель i_n -й статьи n -го раздела пассива баланса, i_n – номер статьи n -го раздела пассива баланса, $i_n = \overline{1, I_n}$, I_n – количество статей в n -м разделе пассива баланса.

$$X_3^* = \{G_{j3}^*, TO_{j3}^*, TU_{j3}^*, VC_{j3}^*, KC_{cG_{j3}}^*, t_{G_{j3}}^*, CCT_{G_{j3}}^*\}, \quad (44)$$

В результате решения задачи (40)-(41) получено решение (44), которое обеспечивает получение сальдо, соответствующего минимальному значению.

Выводы. Таким образом, в ходе данной работы проведен анализ и формализация характеристик объекта управления.

Научная новизна работы заключается в выполнении физической постановки задачи бюджетирования, формализации задачи бюджетирования, формировании ограничений задачи, а также исследовании функциональной взаимозависимости показателей объекта управления.

Практическая значимость работы включает в себя учет совокупности показателей техпромфинплана, формализация которых формируется для каждого этапа планирования. Это позволяет принимать оптимальные решения при планировании на предприятии.

В соответствии с анализом характеристик объекта управления в последующем необходимо сформулировать математическую модель формирования бюджета предприятия и представить в виде системы уравнений.

Список литературы: 1. Табурчак П. П. Планирование деятельности предприятия / П. П. Табурчак. – СПб. : Химия, 1997. – 364 с. 2. Феофанов А. Н. Планирование многономенклатурного машиностроительного предприятия / А. Н. Феофанов, Ю. А. Милкина // Экономика и управление в машиностроении. – 2011. – №1. – С. 5–7. 3. Щиборщ К. В. Бюджетное планирование деятельности промышленного предприятия / К. В. Щиборщ // Аудитор. – 2003. – № 3. – С. 22–23. 4. Щиборщ К. В. Бюджетное планирование деятельности промышленного предприятия / К. В. Щиборщ // Аудитор. – 2003. – № 4. – С. 42–46.

Надійшла до редколегії 10.12.2012

<i>Куценко А. С., Марченко И. И.</i> Математическое моделирование процессов структурообразования тонких пленок при низких температурах	3
<i>Северин В. П., Никулина Е. Н., Реуцкая М. В.</i> Модель для параметрического синтеза электронной части следящего привода	7
<i>Криводубский О. А., Косилов С. А.</i> Решение задачи оптимального планирования выполнения заказов на листопрокатном производстве	13
<i>Азаренко В. И., Куценко А. С.</i> Методика и алгоритм инженерного расчета температурного режима радиоэлектронной аппаратуры	22
<i>Орловський Д. Л., Пилипець М. С.</i> Інформаційно-технологічна підтримка процедури вибору та контролю показників діяльності торговельного підприємства	29
<i>Танянский С. С.</i> Метод построения семантически эквивалентных состояний неоднородных баз данных	39
<i>Гамзасв Р. О., Ткачук М. В.</i> Модель та інформаційна технологія побудови адаптивної матриці трасування вимог у гнучких процесах розробки програмного забезпечення	49
<i>Бескорвайный В. В., Соболева Е. В.</i> Композиционная модель динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных объектов	60
<i>Пуяткина А. Е.</i> Оптимизация портфеля ценных бумаг для модели Хестона	77
<i>Власенко Н. В., Канунников А. С., Маиталир С. В.</i> Компрессирование описания визуальных объектов путем фильтрации его компонент по критерию стабильности	91
<i>Полякова Т. В., Куликов Ю. А., Гороховатский В. А.</i> Классификация изображений на основе признаков пространственных структур	101
<i>Сидоренко А. Ю., Мазманишвили А. С.</i> Применение методов статистического анализа при обработке опытных данных	110
<i>Михнов Д. К., Михнова А. В., Саиф К. Мухамед.</i> Метод выбора технических средств для систем технического учета энергоресурсов	118
<i>Земляной А. А.</i> Экспериментальное применение моделей и технологий обеспечения качества для разработки компонентного программного решения реального времени	124
<i>Каменева И. В., Афанасьев А. С.</i> Практическое применение разработанного приложения AdjNet в морфологических задачах	129
<i>Чалый С. Ф., Богатов Е. О., Кальницкая А. Ю.</i> Формирование набора ограничений в задаче предварительной обработки неструктурированных журналов регистрации событий	139
<i>Терещук И. В.</i> Задачи бюджетирования в управлении финансовой деятельностью предприятия	149

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Системний аналіз, управління
та інформаційні технології

№ 2 (976)

Наукові редактори д-р техн. наук, проф. М. Д. Годлевський,
д-р техн. наук, проф. О. С. Куценко
Технічний редактор канд. техн. наук, проф. М. І. Безменов

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра системного аналізу і управління.
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 20–13.

Підп. до друку 09.01.2013 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,3. Облік.-вид. арк. 10,2.
Тираж 300 пр. Зам. № 1–182. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня «ФОП Стеценко І. І.»
Свідоцтво про державну реєстрацію ХК № 82 від 22.04.2003 р.
61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21, тел. (057) 758-17-35