

# ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

*Сборник научных трудов*

*Тематический выпуск «Системный анализ,  
управление и информационные технологии»*

39'2006

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»  
в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике Украины  
КВ № 5256 от 2.07.2001 г.

## КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

### Председатель

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

### Зам. председателя

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

### Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

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

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

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

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

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

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

А.Ф. Кириченко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

В.А. Лозовой, д-р техн. наук, проф.

А.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.

Н.И. Погорелов, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.

В.И. Таран, д-р физ.-мат. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

А.Ф. Шеховцов, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Юносова, д-р фил. наук, проф.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Ответственный редактор

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

### Зам. ответственного редактора

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

### Ответственный секретарь

Н.И. Безменов, канд. техн. наук, доц.

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

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

В.Я. Заруба, д-р экон. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Б.И. Кузнецов, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Любчик, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

Н.В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.

М.А. Ястребенецкий, д-р техн. наук, проф.

## АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

Кафедры:

«Автоматизированные системы управления»,  
«Системный анализ и управление»

Тел. (057) 707-65-20,

(057) 707-61-03

УДК 681.518

**Вестник НТУ «ХПИ».** Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 39. – 188 с.

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

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

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

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ «ХПИ»,  
протокол № 13 від 24.11.2006 р.**

*А.С. КУЦЕНКО*, д-р. техн. наук, *Чан Занг ЛЮ*, *С.В. КОНОХОВ*

## **КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СГОРАНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ**

Запропоновано квазістатичну балансову математичну модель процесу згоряння паливовітряної суміші у котельному агрегаті. Розглянуто задачу синтезу автоматизованої системи стабілізації термодинамічних параметрів, які забезпечують найкращі економічні та екологічні показники котельних агрегатів. Аналізується якість перехідних процесів в залежності від структури системи управління.

**Введение.** Настоящий период развития теплоэнергетики обусловлен двумя основными факторами, связанными со значительным ростом потребностей общества в тепловой и электрической энергии. Во-первых, это повышение цен на основные энергоносители (нефть, природный газ). Во-вторых, высокий уровень загрязнения окружающей среды выбросами продуктов сгорания теплоэнергетических комплексов в атмосферу. Перечисленные факторы ставят перед теплоэнергетиками множество проблем по совершенствованию технологических процессов, прежде всего, котельных агрегатов (КА), в которых происходят основные процессы преобразования химической энергии топливовоздушной смеси в тепловую энергию рабочего вещества.

Основу рационального проведения технологического процесса КА наряду с совершенной организацией теплообмена между дымовыми газами и рабочим веществом составляет оптимальное управление процессом сгорания топливовоздушной смеси, заключающееся в поддержании необходимых количественных и качественных характеристик последней, а также в стабилизации рациональных термодинамических параметров дымовых газов в топке КА. Эти процессы достаточно подробно рассмотрены в классической литературе [1-3]. Основным подходом к организации процесса управления КА следует считать подход, основанный на одномерных процессах управления топливом и воздухоподачей, а также отводом дымовых газов. Такой подход не требует детальной информации о математической модели процессов в КА и базируется на классической теории скалярного управления. При этом управляющие воздействия по каждому из сепаратных контуров управления являются возмущающими по отношению к другим каналам управления. Таким образом, систему управления КА следует отнести к классу многосвязных.

Более поздние работы [4-6] направлены в основном на управление процессом сгорания по поддержанию оптимального значения коэффициента избытка воздуха, главной характеристики качества сгорания.

Методы современной теории управления позволяют обеспечить высокое качество многомерных управляемых процессов в условиях различных возмущающих воздействий. Их эффективное применение возможно только при наличии адекватной математической модели объекта управления. В ряде

работ [6, 7] сделаны попытки синтеза систем управления на основе применения микропроцессорной техники на базе математических моделей. Однако там же отмечено, что сложность процессов в КА не дает гарантий адекватности динамических моделей реальным процессам. В то же время стационарная математическая модель дает достаточно точные для практики результаты.

**Постановка задачи.** Как было отмечено во введении, построение математической модели рабочего процесса в КА, состоящей из моделей процесса сгорания и теплообмена в наиболее полном виде представляет собой весьма сложную задачу математической физики, а ее численная реализация на ЭВМ также вызывает затруднения в связи с необходимостью интегрирования системы дифференциальных уравнений в частных производных. Замена же распределенной системы на систему с сосредоточенными параметрами приводит к значительным неопределенностям в назначении параметров таких систем (постоянных времени, коэффициентов теплообмена между элементами и др.). В то же время балансовая модель КА, основанная на фундаментальных физических законах сохранения, является достаточно адекватной реальным процессам при условии того, что возмущающие и управляющие воздействия достаточно «медленные». Такие процессы в классической термодинамике получили наименование квазистатических.

В настоящей работе предлагается метод синтеза системы управления КА на основе современной теории управления многосвязными системами, основанный на квазистатической балансовой модели процесса сгорания.

**Основные положения теории управления квазистатическими процессами.** В работах [8, 9] показано, что при определенных условиях на воздействующие факторы, процесс в устойчивой динамической системе с высокой степенью точности можно рассматривать как последовательность состояний равновесия, а, следовательно, как квазистатический процесс. Математическую модель такого процесса в наиболее общем виде можно представить в виде системы дифференциальных уравнений вида

$$\dot{x} = \Phi(x)u, \quad x \in R^n, \quad u \in R^m, \quad (1)$$

где  $x$  - вектор состояния,  $u$  - вектор воздействий,  $\Phi(x)$  - матрица-функция соответствующей размерности.

Условием равновесия системы (1) в некоторой точке фазового пространства  $x^* \in R^n$ , является выполнение условия

$$\Phi(x^*)u = 0. \quad (2)$$

Система линейных уравнений (2), как известно из линейной алгебры, всегда имеет тривиальное решение  $u = 0$ . Условием существования нетривиальных решений (2) является условие

$$\text{rank}\Phi(x^*) = r < m. \quad (3)$$

В этом случае множество нетривиальных решений (2) имеет структуру линейного подпространства  $U^s \subset R^n$  размерность которого  $s = m - r$ :

$$u^* = \sum_{i=1}^s c_i u^i \in U^s, \quad (4)$$

где  $(u^1, u^2, \dots, u^s)$  - некоторый базис подпространства  $U^s$ , а  $(c_1, c_2, \dots, c_s)$  - произвольные постоянные. Таким образом, условие (3) является необходимым и достаточным условием равновесия при  $u \neq 0$ . Такое равновесие можно назвать динамическим.

Условие (3) выделяет в пространстве состояний подмножество  $X^*$ , которому принадлежат все точки, удовлетворяющие (3):

$$X^* = \{x^* \mid \text{rank} \Phi(x^*) < m\}.$$

В случае  $m = n$ , т.е. квадратной матрицы  $\Phi(x)$ , условие (3) эквивалентно условию

$$\det \Phi(x^*) = 0, \quad (5)$$

определяющему некоторую гиперповерхность в  $R^n$ .

Для исследования устойчивости некоторого положения равновесия, задаваемого парой  $(x^*, u^*)$ , линеаризуем (1) относительно  $(x^*, u^*)$ . В результате получим:

$$\Delta \dot{x} = \sum_{k=1}^m u_k^* A_k(x^*) \Delta x + \Phi(x^*) \Delta u, \quad (6)$$

где  $\Delta x$  и  $\Delta u$  - векторы малых отклонений от положения равновесия, а матрицы  $A_k(x^*) = \left. \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} \right|_{x=x^*}$ ,  $(k = \overline{1, m})$ , где  $\varphi_k(x)$  -  $k$ -й столбец матрицы  $\Phi(x)$ .

В случае тривиального положения равновесия, т.е. при  $u^* = 0$  соотношение (6) принимает исключительно простой вид

$$\Delta \dot{x} = \Phi(x^*) \Delta u.$$

В случае же динамического равновесия при  $u^* \neq 0$  исследование устойчивости квазистатической системы сводится к исследованию устойчивости однородной линейной системы

$$\Delta \dot{x} = \left( \sum_{k=1}^m u_k^* A_k(x^*) \right) \Delta x = A(x^*, u^*) \Delta x. \quad (7)$$

**Стабилизация состояния динамического равновесия.** При динамическом равновесии в точке  $(x^*, u^*)$  может оказаться, что система первого приближения (6) неустойчива. Таким образом, возникает постановка

задачи синтеза системы стабилизации некоторого положения равновесия путем введения линейной обратной связи по отклонениям:

$$\Delta u = K\Delta x, \quad (8)$$

где  $K$  - матричный коэффициент усиления.

Структурная схема системы стабилизации заданного положения равновесия  $(x^*, u^*)$  представлена на рис. 1

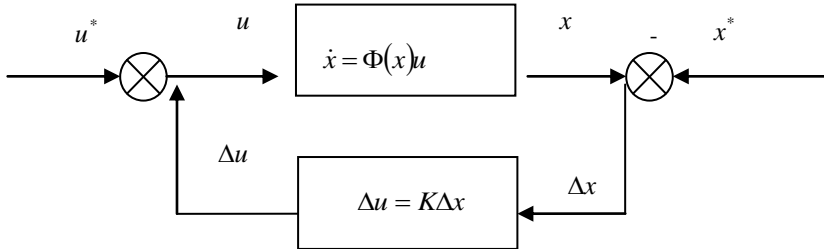


Рис. 1 – Структурная схема системы стабилизации ненулевого положения равновесия

Нетрудно видеть, что система первого приближения, соответствующая рис. 1, с учетом (4) и (8) запишется как

$$\Delta \dot{x} = \left( A(x^*, u^*) + \Phi(x^*)K \right) \Delta x. \quad (9)$$

Выбор матрицы  $K$  удобно осуществить на основе решения вспомогательной линейно-квадратичной задачи оптимального управления. Для этого зададимся квадратичным критерием качества:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\Delta x^T Q \Delta x + \Delta u^T R \Delta u) dt, \quad (10)$$

где  $Q$  и  $R$  - сивльестровы симметрические весовые матрицы. Тогда матричный коэффициент усиления  $K$ , гарантирующий устойчивость замкнутой системы, находится в виде

$$K = -R^{-1} \Phi^T(x^*)P, \quad (11)$$

где  $x^*$  - решение матричного алгебраического уравнения

$$A^T(x^*, u^*)P + PA(x^*, u^*) - P\Phi(x^*)R^{-1}\Phi^T(x^*)P + Q = 0. \quad (12)$$

Другим подходом к решению задачи стабилизации положения динамического равновесия является включение в контур регулирования интегрирующих элементов [10]. Такой подход связан так же и с тем обстоятельством, что управления  $u$  во многих случаях технически реализуются исполнительными устройствами интегрирующего типа. В этом

случае систему дифференциальных уравнений объекта (1) необходимо дополнить  $m$  дифференциальными уравнениями интегрирующих элементов

$$\dot{u} = \delta, \quad \delta \in R^m, \quad (13)$$

где  $\delta$  - вектор скорости изменения вектора управления  $u$ , представляющий по сути новое управление  $(m+n)$ -мерной системой (1), (13). Структурная схема такой системы стабилизации представлена на рис. 2

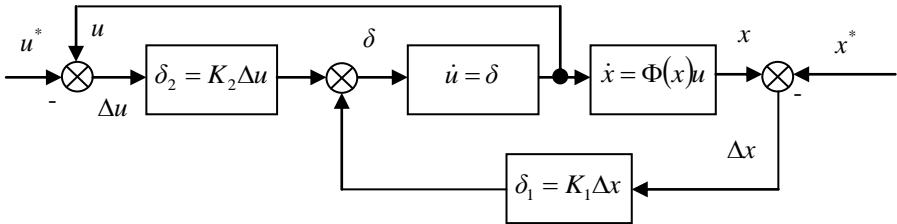


Рис. 2 – Структурная схема системы стабилизации динамического положения равновесия с интегрирующим регулятором

Приведенная на рис. 2 структурная схема полностью аналогична структурной схеме рис. 1. Матричный коэффициент усиления  $K = (K_1 \mid K_2)$  в цепи обратной связи можно найти в результате решения вспомогательной линейно-квадратичной задачи оптимального управления для линеаризованной расширенной системы (1), (13):

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= A(x^*, u^*) \Delta x + \Phi(x^*) \Delta u, \\ \Delta \dot{u} &= \delta. \end{aligned} \quad (14)$$

Соответствующие уравнения замкнутой системы относительно отклонений от положения равновесия примут вид

$$\Delta \dot{x} = A(x^*, u^*) \Delta x + \Phi(x^*) \Delta u, \quad (15a)$$

$$\Delta \dot{u} = K_1 \Delta x + K_2 \Delta u. \quad (15b)$$

Следует отметить, что системы (9) и (14) имеют место при точном выполнении условия равновесия (2). Если это условие не выполнено, то в этом случае в правой части (9) и (15a) появится дополнительное постоянное слагаемое  $\Phi(x)u \neq 0$ . В связи с этим, установившиеся значения  $\Delta u$  и  $\Delta x$  уже будут отличны от нуля. Т.е. в системе установится новое устойчивое положение равновесия, отличное от  $(x^*, u^*)$ .

**Математическая модель процесса в сгорания КА.** Рассмотрим балансовую модель процесса сгорания в КА, основанную на законах

сохранения энергии и вещества. Основными допущениями при выводе дифференциальных уравнений квазистатического процесса являются:

- топливо, воздух и продукты сгорания предполагаются идеальными газами;
- точка КА рассматривается как термодинамическая система с сосредоточенными параметрами;
- коэффициент полезного действия КА является величиной постоянной;
- тепловые потери в окружающую среду пренебрежимо малы в сравнении с тепловой мощностью КА;
- диссоциация продуктов сгорания не учитывается;
- механический и химический недожоги топлива пренебрежительно малы;
- температуры воздуха и топлива поддерживаются постоянными.

Структурная схема КА показана на рис. 3.

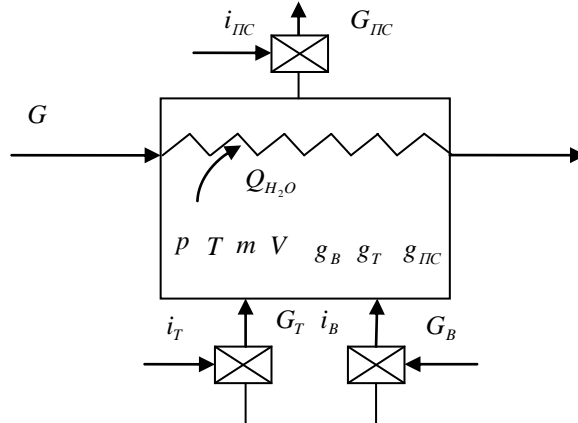


Рис. 3 - Основные компоненты энергетического и материального балансов КА

$G_T, G_B, G_{PC}, G$  - расходы топлива, воздуха, продуктов сгорания и воды;

$i_T, i_B, i_{PC}$  - энтальпии топлива, воздуха, продуктов сгорания;

$P, T, m, V$  - давление, температура, масса и объем продуктов сгорания в КА;

$g_B, g_T, g_{PC}$  - массовые доли воздуха, топлива и чистых продуктов сгорания в точке КА.

$Q_{H_2O}$  - интенсивность подвода теплоты к рабочему веществу.

Исходя из закона сохранения энергии и принятых допущений дифференциальное уравнение энергетического баланса для КА примет вид

$$\frac{dU}{dt} = i_T G_T + i_B G_B - i_{PC} G_{PC} + Q - Q_{H_2O}, \quad (16)$$



где  $U$  - внутренняя энергия КА,  $Q$  - теплота сгорания топливовоздушной смеси.

Дифференциальное уравнение массового баланса запишется как

$$\frac{dm}{dt} = G_T + G_B + G_{\text{ПС}}. \quad (17)$$

Уравнение баланса топливовоздушной смеси представим как

$$m \frac{dg}{dt} = -gG_T + (1-g)G_B,$$

где  $g$  - кажущаяся массовая доля воздуха в топке КА, т.е. при отсутствии реакции сгорания смеси.

Величина  $g$  связана с основным параметром, определяющим качество процесса сгорания и КПД КА, коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  соотношением

$$g = \frac{\alpha L_0}{\alpha L_0 + 1}, \quad (18)$$

где  $L_0$  - стехиометрическое отношение, представляющие собой количество воздуха, необходимое для сжигания единицы массы топлива и являющееся индивидуальной характеристикой конкретного вида топлива. Для природного газа  $L_0 = 17,4$ , а оптимальная величина  $\alpha \approx 1,1$ .

Уравнение (16) можно преобразовать с учетом известных взаимосвязей между температурой внутренней энергии и энтальпией для идеальных газов к виду

$$m c_v \frac{dT}{dt} + c_v T \frac{dm}{dt} = (i_T + h - \eta h)G_T + i_B G_B - c_p T G_{\text{ПС}}, \quad (19)$$

где  $h$  - низшая теплотворная способность топлива,  $\eta$  - коэффициент полезного действия КА,  $c_v$  и  $c_p$  - изохорная и изобарная теплоемкости продуктов сгорания.

Окончательно уравнение (19) с учетом (17) можно записать в виде

$$m \frac{dT}{dt} = (A - T)G_T + (B - T)G_B + (1 - \gamma)T G_{\text{ПС}}, \quad (19)$$

где  $A$  и  $B$  некоторые постоянные, зависящие от состава топлива и температуры окружающей среды,  $\gamma$  - показатель адиабаты продуктов сгорания.

Окончательно система балансовых уравнений процесса сгорания примет вид

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \frac{A-T}{m}G_T + \frac{B-T}{m}G_B + \frac{(1-\gamma)T}{m}G_{ПС}, \\ \frac{dg}{dt} &= -\frac{g}{m}G_T + \frac{1-g}{m}G_B, \\ \frac{dm}{dt} &= G_T + G_B - G_{ПС}. \end{aligned} \quad (20)$$

Как видно из (20) полученная система дифференциальных уравнений имеет структуру (1), т.е. представляет собой квазистатическую систему третьего порядка с 3 управлениями -  $G_T$ ,  $G_B$  и  $G_{ПС}$ . В соответствии с результатами, полученными ранее такая система может иметь ненулевые положения равновесия. Условия динамического равновесия найдем приравняв нулю правые части 2-го и 3-го уравнений (20). В результате получим

$$\begin{pmatrix} G_T \\ G_B \\ G_{ПС} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{g}{1-g} \\ \frac{1}{1-g} \end{pmatrix} c, \quad (21)$$

где  $c$  - произвольная постоянная, эквивалентная задаваемой тепловой мощности КА, поскольку  $c = G_T$ .

Условие вырожденности матрицы  $\Phi(x)$  для (20) получим, приравнявая нулю правую часть первого из уравнений системы (20) с учетом (21). В результате после несложных преобразований получим требуемую связь между равновесными параметрами процесса в виде

$$A(1-g) + Bg = \gamma T. \quad (22)$$

Анализируя условие (22), можно сделать вывод о том, что задание отношения топлива-воздух, определяемого величиной  $g$ , однозначно определяет температуру продуктов сгорания. При этом масса продуктов сгорания в топке КА может быть произвольной и выбираться в соответствии с требуемой величиной давления в точке КА

$$m = \frac{pV}{RT}, \quad (23)$$

где  $R$  - газовая постоянная, продуктов сгорания.

Таким образом, все переменные состояния доступны прямому или косвенному измерению. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  контролируется датчиками  $O_2$  и  $CO_2$  на выходе из КА, температура и давление в КА соответствующими датчиками в топке. Величина  $g$  определяется исходя из (18), а  $m$  в соответствии с (23).

Исследуем устойчивость квазистатической системы (20). Для этого в положении равновесия, определенном в силу (18), (21), (22), (23) тремя

параметрами  $G_T$ ,  $\alpha$ ,  $p$ , построим в соответствии с (6) систему уравнений первого приближения. В результате получим:

$$\begin{pmatrix} \Delta \dot{T} \\ \Delta \dot{g} \\ \Delta \dot{m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\gamma}{m(1-g)}G_T & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{m}G_T & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta T \\ \Delta g \\ \Delta m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A-T & B-T & (1-\gamma)T \\ m & m & m \\ -\frac{g}{m} & \frac{1-g}{m} & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta G_T \\ \Delta G_B \\ \Delta G_{ПС} \end{pmatrix} \quad (24)$$

Анализ свободных движений системы 1-го приближения (24) показывает, что последняя распадается, и может быть описана тремя независимыми дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} \Delta \dot{T} &= -\frac{\gamma}{m(1-g)}G_T \Delta T, \\ \Delta \dot{g} &= -\frac{1}{m}G_T \Delta g, \\ \Delta \dot{m} &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Первые два уравнения (25) определяют аperiodически устойчивые переходные процессы в связи с отрицательностью показателя экспоненты при любых физически обоснованных величинах параметров, входящих в правые части (25). Последнее же уравнение соответствует состоянию безразличного равновесия по координате  $\Delta m$ . Таким образом, система (24) неустойчива.

Введем относительные безразмерные координаты;

$$\begin{aligned} \overline{\Delta T} &= \frac{\Delta T}{T}; \quad \overline{\Delta g} = \frac{\Delta g}{g}; \quad \overline{\Delta m} = \frac{\Delta m}{m}; \quad \overline{\Delta G_T} = \frac{\Delta G_T}{G_T}; \\ \overline{\Delta G_B} &= \frac{\Delta G_B}{G_B}; \quad \overline{\Delta G_{ПС}} = \frac{\Delta G_{ПС}}{G_{ПС}}. \end{aligned}$$

В относительных координатах система (24) преобразуется к виду

$$\begin{pmatrix} \frac{d\overline{\Delta T}}{d\tau} \\ \frac{d\overline{\Delta g}}{d\tau} \\ \frac{d\overline{\Delta m}}{d\tau} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\gamma}{1-g} & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overline{\Delta T} \\ \overline{\Delta g} \\ \overline{\Delta m} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\gamma}{g+v(1-g)}-1 & \left(\frac{\gamma}{g+v(1-g)}-1\right)\frac{g}{1-g} & \frac{1-\gamma}{1-g} \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & \frac{g}{1-g} & -\frac{1}{1-g} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overline{\Delta G_T} \\ \overline{\Delta G_B} \\ \overline{\Delta G_{ПС}} \end{pmatrix}, \quad (26)$$

где  $v = \frac{A}{B}$ ,  $\tau = \frac{G_T}{m} t$  - безразмерное время.

**Синтез системы стабилизации процесса сгорания КА.** Рассмотрены следующие структурные схемы систем обеспечения устойчивости КА.

1. Система с пропорциональным регулятором (структурная схема рис. 1).
2. Система с интегрирующим регулятором (структурная схема рис. 2).

3. Система с интегрирующим регулятором и наблюдателем вектора относительных расходов по координатам  $\overline{\Delta T}$ ,  $\overline{\Delta g}$  и  $\overline{\Delta m}$ .

Матричный коэффициент усиления  $K$  находился исходя из квадратичного критерия качества (10) при  $Q = E$  и  $R = E$ . Решение уравнения (12) находилось путем интегрирования соответствующего дифференциального уравнения Риккати в обратном времени при нулевых начальных условиях [10].

Результаты численного моделирования переходных процессов, вызванных нормированным отклонением величиной 0,1 от равновесных значений некоторых фазовых и управляющих координат представлены на рис. 4.

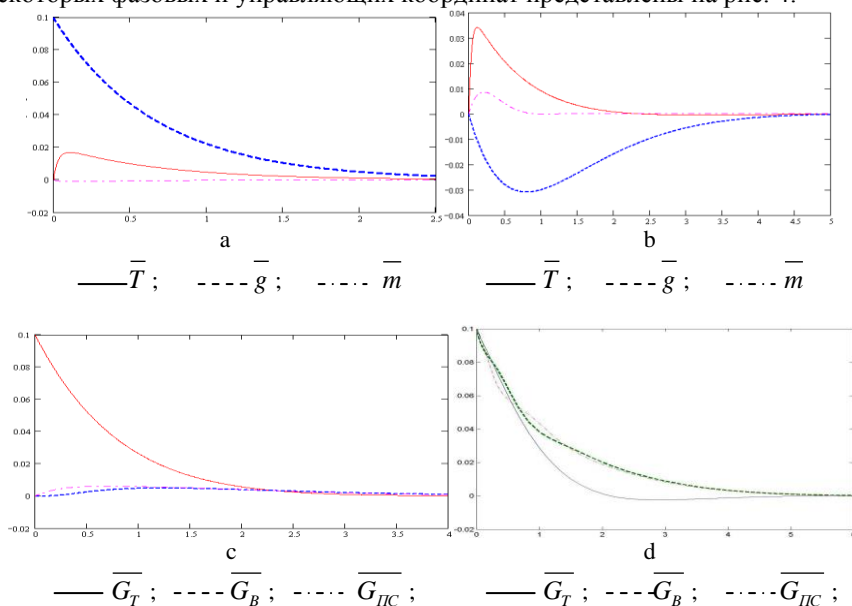


Рис. 4 - Переходные процессы в системе стабилизации режимов КА.

- a – пропорциональный регулятор
- b – интегрирующий регулятор (фазовые координаты)
- c – интегрирующий регулятор (управляющие координаты)
- d – наблюдатель расходов

**Заклучение.** Разработанная квазистатическая балансовая модель управляемого процесса сгорания в КА позволяет производить имитационное моделирование различных структур систем управления и их параметрический синтез. К числу важнейших результатов проведенного исследования можно отнести тот факт, что на множестве равновесных режимов, соответствующих множеству тепловых нагрузок КА, предложенная система стабилизации с высокой степенью точности поддерживает заданные значения температуры, давления и коэффициента избытка воздуха. Дальнейшее развитие настоящего исследования связано, прежде всего, с интервальными оценками параметров математической модели КА и синтезом системы управления в условиях неопределенности последних.

**Список литературы:** 1. *Продюс П.* Регулирование паросиловых установок. – М.: Энергия, 1967. – 368с. 2. *Герасимов С.Г., Дудников Е.Г., Чистяков С.Ф.* Автоматическое регулирование котельных установок. – М.: Энергоиздат, 1967. – 424с. 3. *Плетнев Г.П.* Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. – М.: Энергоиздат, 1981. – 368с. 4. *Penson R.P.* Improving boiler efficiency// FEN. – 1988. – 13, № 9. – P.68-69. 5. *Richardson Ron.* Improving small boiler combustion control// Contr. and Instrum. – 1987. – 19, № 3. – P. 33-35. 6. *Allen Chris* Application of control to steam boilers// Contr. and Instrum. – 1983. – 15, № 11. – P. 43, 45, 47, 49. 7. *Lebrun J.J., Hannay J., Dols J.M.* Research of good boiler model for HVAC energy simulation. “ASHRAE Transact. Vol. 91.Pt1B: Symp. Pap. Winter Meet., Chocago, Ill. 1985”. Atlanta, Ga, 1985. – P. 60-85. 8. *Петров Б.Н., Уланов Г.М., Гольденблат И.И., Ульянов С.В.* Теория моделей в процессах управления. – М.: Наука, 1978. – 223с. 9. *Куценко А.С., Чан Занг Лю* Критерии адекватности динамических и статистических математических моделей технологических процессов // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. - № 18. – С. 23 – 28. 10. *Андреев Ю.Н.* Управление конечномерными линейными объектами. – М.: Наука, 1976. – 424с.

*Поступила в редколлегию 22.09.06*

**УДК 681.518**

***А.В. ПАЛЬЧИК***

## **МИНИМАКСНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА СИСТЕМ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПО КВАДРАТИЧНОМУ КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА**

Ця робота присвячена одному з етапів вирішення задачі синтезу системи автоматичного керування, а саме проблемі вибору параметрів керуючого пристрою за умови забезпечення необхідної якості процесу управління. Вибір параметрів здійснюється за умови наявності невизначеності цілі, що виражається у відсутності інформації о параметрах подінтервальної функції квадратичного критерію якості.

**Введение.** Задача оптимизации системы автоматического управления невозможна без методов оценки качества процесса управления. Наиболее полно оно отражается видом переходного процесса в системе [1], т.е. изменением состояния системы под действием ступенчатого возмущения. Описание переходного процесса вектором характеристик, а также

ограничения, накладываемые на вид переходного процесса физической природой исследуемой системы и требованиями качества, порождают задачу нелинейного программирования [2], а именно – многокритериальную оптимизацию нелинейных функций при линейных и нелинейных ограничениях.

**Цель работы.** Данная работа преследует цель провести исследования влияния параметров линейного звена обратной связи на качество переходного процесса и решить многокритериальную оптимизационную задачу их нахождения, в условиях неопределенности целей, выраженной в отсутствии информации о значениях параметров квадратичного критерия качества, используя игровой подход или, так называемый, принцип наилучшего гарантированного результата.

**Постановка задачи.** В данной работе рассматривается случай стационарной системы[3], общий вид которой, можно представить так:

$$\begin{aligned} x'(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ x(t_0) &= x_0. \end{aligned} \quad (1)$$

В качестве критерия качества переходных процессов рассматривается квадратичный критерий вида:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} \{u^T(t)u(t) + x^T(t)Qx(t)\}dt, \quad (2)$$

где  $Q = \{q_{ij}\}_{n \times n}$  - положительно определенная симметрическая матрица,  $q_{ij} \in [0, 1]$ .

Решение многокритериальной оптимизационной проводится в условиях неопределенности коэффициентов подынтегральной функции  $Q$ .

В качестве регулируемых параметров будут выступать коэффициенты линейного звена обратной связи замкнутой системы. Допустимая область значений этих коэффициентов задается в виде ограничений, реализующих следующий физический смысл:

- 1) переходный процесс должен быть устойчивым;
- 2) переход системы в новое установившееся состояние должен осуществляться за ограниченный, заранее заданный интервал времени, равный времени проведения эксперимента.

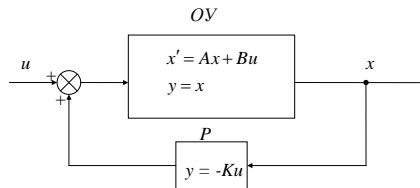


Рисунок 1. Схема исследуемой замкнутой системы.

С учетом обратной связи по линейному закону систему уравнений можно записать в виде:

$$\begin{aligned}x'(t) &= [A - BK] \cdot x(t) + Bu(t), \\y(t) &= x(t).\end{aligned}\tag{3}$$

Таким образом, задача оптимизации качества переходных процессов состоит в подборе лучших параметров матрицы  $K$ , обеспечивающих оптимальное значение квадратичного критерия качества (2)

**Решение задачи.** Для каждой стационарной системы (1), заданной матрицами  $\{A, B\}$ , которая является управляемой, существует управление, которое минимизирует квадратичный критерий качества (2) на положительной полуоси [4]:

$$J = \int_0^{\infty} \{u^T(t)u(t) + x^T(t)Qx(t)\}dt,\tag{4}$$

причем оптимальное управление в виде обратной связи имеет вид:

$$u(t) = -B^T \cdot V \cdot x(t),\tag{5}$$

где  $V$  - положительно определенное решение уравнения Риккати:

$$A'V + VA - VBB'V + Q = 0\tag{6}$$

Для каждого набора параметров критерия качества, заданного матрицей  $Q$ , можно однозначно найти точку в пространстве коэффициентов линейного звена обратной связи

$$K = B^T \cdot V\tag{7}$$

и построить область компромиссов.

Аналитическое решение матричного уравнения Риккати в общем случае найти невозможно, поэтому необходимо применять численные методы [5], реализующие нахождение решения с заданной точностью с помощью итерационного алгоритма.

Если разомкнутая система неуправляема, нужно рассматривать замкнутую систему (3), предварительно проведя расчет матрицы  $K$ , которая обеспечит свойство управляемости.

С точки зрения игрового подхода математическое описание квадратичной задачи оптимизации закона управления замкнутой линейной стационарной системой в условиях неопределенности цели, выраженной в отсутствии четко заданных коэффициентов подынтегральной функции, выглядит следующим образом:

$$K = \min_K \left( \max_{Q \in D_Q} \left( \min_K \left( \int_0^{\infty} \{u^T(t)u(t) + x^T(t)Qx(t)\}dt \right) \right) \right)\tag{8}$$

Данная постановка задачи имеет 3 уровня оптимизации, каждый из которых необходимо решать с помощью нелинейного программирования. Это приводит к большому количеству вычислений функции квадратичного критерия, а значит и вычислению выхода системы по различным входам.

Пространство параметров линейного звена обратной связи имеет размерность  $m \times n$ . Отсутствие ограничений на допустимую область порождает нетривиальную задачу выбора начальной точки алгоритма оптимизации [4].

Предлагается перевести процесс оптимизации из пространства параметров обратной связи замкнутой системы размерностью  $m \times n$  в пространство параметров подынтегральной функции квадратичного критерия качества размерностью  $n \times (n+1) / 2$ .

Преимуществом такого перевода является то, что допустимая область значений параметров подынтегральной функции  $D_Q$  ограничена:

$$D_Q = \left\{ \begin{array}{l} q_{ij} \in [0,1], \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} = 1 \\ q_{ij} = q_{ji}, \end{array} \right. , \quad (9)$$

где  $q_{ij}$  - соответствующий элемент матрицы весов функционала качества  $Q$ .

Первое и второе ограничения задаются нормированием коэффициентов матрицы на единичном отрезке, третье ограничение указывает симметричность матрицы.

Тогда по точкам из данной области можно построить Парето-множество точек, однозначно определенное в пространстве параметров обратной связи замкнутой системы. Фактически пространство возможных векторов коэффициентов матрицы  $K$  сужается к области компромиссов.

Математическое описание такой задачи выглядит так:

$$\{Q, K\} = \min \left( \max_{Q \in D_Q} \left( \int_0^{\infty} \{u^T(t)u(t) + x^T(t)Qx(t)\} dt \right) \right), \quad (10)$$

т.е. необходимо найти такой набор параметров подынтегральной функции квадратичного критерия качества и соответствующий ему оптимальный закон управления, заданный матрицей коэффициентов линейного звена обратной связи замкнутой системы, однозначно определяемый решением алгебраического уравнения Риккати, которые бы давали минимум максимума квадратичного критерия для данного закона управления.

Подынтегральная функция представляет собой взвешенную сумму интегралов переходных процессов по каждой переменной вектора состояния, и всех перестановок их пар:

$$\int_0^{\infty} \{x^T(t)Qx(t)\} dt = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot \int_0^{\infty} \{x_i^T(t) \cdot x_j(t)\} dt \quad (11)$$

Тогда, для любого управления  $u(t)$ , заданного матрицей  $K$ , найдется такой набор  $\{j_{\max}, i_{\max}\}$ , что будут выполняться соотношение:



$$\int_0^{\infty} \{x_{i_{\max}}^T(t) \cdot x_{j_{\max}}(t)\} dt \geq \int_0^{\infty} \{x_i^T(t) \cdot x_j(t)\} dt, \quad (12)$$

$$i \neq i_{\max}, j \neq j_{\max}.$$

В таком случае, с учетом того, что допустимая область весовых коэффициентов  $q_{ij}$  ограничена соотношениями (9), можно сделать вывод, что для каждого набора матриц  $\{Q, K\}$  верно равенство:

$$\max_{Q \in D_Q} \left( \int_0^{\infty} \{u^T(t)u(t) + x^T(t)Qx(t)\} dt \right) = \int_0^{\infty} \{u^T(t) \cdot u(t)\} dt + \max_{\substack{i=1..n \\ j=1..n}} \int_0^{\infty} \{x_i^T(t) \cdot x_j(t)\} dt \quad (13)$$

Таким образом, оптимизационная задача формулируется в виде:

$$\{Q, K\} = \min_{Q \in D_Q} \left( \int_0^{\infty} \{u'(t) \cdot u(t)\} dt + \max_{\substack{i=1..n \\ j=1..n}} \int_0^{\infty} \{x_i'(t) \cdot x_j(t)\} dt \right), \quad (14)$$

$$D_Q = \begin{cases} q_{ij} \in [0,1], \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} = 1 \\ q_{ij} = q_{ji} \end{cases}$$

**Выводы.** На основании проведенных исследований, были выявлены зависимости параметров подынтегральной функции квадратичного критерия качества и коэффициентов линейного регулятора замкнутой системы. Используя результаты исследований и игровой подход, был предложен метод построения обобщенного критерия качества и получена формализация оптимизационной задачи. Основным преимуществом разработанного подхода является существенное упрощение применения принципа минимакса, которое заключается в отсутствии вложенной оптимизации на этапе исключения влияния неопределенностей на результат. Таким образом, применение данного подхода сокращает время и ресурсоемкость решения оптимизационной задачи.

**Список литературы:** 1. Куценко А.С., Пальчик А.В., Литвинова Л.В. Векторная оптимизация прямых показателей качества переходных процессов систем автоматического управления в условиях неопределенности – Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. 2. Чинаев П.И., Чумаков Н.М. Теория автоматического управления - Киев: Тип. КВИАВУ ВВС, 1969. 3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 4. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. 5. Демьянов В.Ф., Малоземов В.Н. Введение в минимакс – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972.

Поступила в редколлегию 01.11.06

**В.В. СЕБКО**, канд. техн. наук

## **ЭКРАННОЕ ТРУБЧАТОЕ МНОГОПАРАМЕТРОВОЕ ВИХРЕТОКОВОЕ УСТРОЙСТВО**

Розглянуто екранний трубчастий багатопараметровий вихорострумований пристрій, за допомогою якого було визначено чотири параметри ферромагнітної труби: відносна магнітна проникність  $\mu_r$ , питомий електричний опір  $\rho_s$ , температуру труби  $t$  і коефіцієнт згасання магнітного поля у трубчастому виробі  $h_s$ .

Рассмотрено экранное трубчатое многопараметровое устройство, с помощью которого определяются четыре параметра ферромагнитной трубы: относительная магнитная проницаемость  $\mu_r$ , удельное электрическое сопротивление  $\rho_s$ , температура трубы  $t$  и коэффициент затухания магнитного поля в трубчатом изделии  $h_s$ .

The screen tubular mnogoparametrovooe device is considered, which four parameters of ferromagnetic pipe are determined by: relative permeance  $\mu_r$ , specific electric resistance  $\rho_s$ , temperature of pipe of  $t$  and coefficient of fading of the magnetic field in tubular good of  $h_s$ .

### 1. Введение

На сегодняшний день известны научные работы, связанные с исследованием экранного действия различных металлических изделий, так, например, работа [1] посвящена созданию экранных устройств и приборов, предназначенных для уменьшения влияния внешних магнитных полей на результаты измерений. В свою очередь работа [5] связана с экранным действием труб в поперечных магнитных полях, так как ферромагнитные трубы, находящиеся в поперечном поле, имеют большой коэффициент размагничивания, и поэтому происходит существенное уменьшение магнитного поля внутри трубы. Работа [6] рассматривает затухание импульсного магнитного поля внутри трубчатого изделия весьма простым способом на основе эквивалентной схемы. В настоящее время разработано много методов и устройств контактных и бесконтактных для измерения магнитных и электрических параметров трубчатых изделий [3, 4, 7-11].

Так, например, в работах [3, 4, 7, 8, 11] рассмотрены двух- и трёхпараметровые электромагнитные бесконтактные методы контроля геометрических, магнитных и электрических параметров при исследовании различных диапазонов изменения магнитной проницаемости  $\mu$ . Все методы в работах [3, 4, 7, 8, 11] реализуются с помощью трансформаторного вихретокового датчика (ГВД).

В работе [10] предложены двухпараметровые бесконтактные электромагнитные методы контроля параметров  $\mu$  и  $\sigma$  трубчатых изделий, а также контроля электрических и геометрических параметров немагнитных труб. Эти методы реализуются на базе параметрического вихретокового датчика (ПВД).

Контактные двух- и трёхпараметровые методы контроля параметров магнитных и немагнитных трубчатых изделий, реализуемые с помощью контактного рабочего преобразователя (КРП) рассмотрены в работах [19, 20].

Экстремальный четырёхпараметровый метод контроля геометрических, электрических, магнитных и температурных параметров ферромагнитных цилиндрических стержней на базе ТВД рассмотрен в работе [16]. Следует отметить, что достоинством метода [16] является то, что он оговаривает температуру, при которой измерялись  $\mu_r$  и  $\sigma$ .

Однако, эти методы [3, 4, 7, 8, 10, 11, 16, 19, 20] и устройства существенно затрудняют исследование экранных свойств трубы, так как не исследуют коэффициент затухания магнитного поля в трубе по отношению к наружному полю.

В работе [18] предложено экранное устройство для плоских изделий, которое состоит из двух накладных электромагнитных датчиков, между которыми находится ферромагнитный лист, причем перемещение в небольших пределах этого листа не влияет на результат измерений магнитных и электрических параметров, так как удаление листа от одного датчика приводит к уменьшению расстояния до другого датчика. Таким образом, оба эффекта работают так, что суммарный результат измерения не влияет на определение электромагнитных параметров и зависимых от них физико-механических величин. Однако до настоящего времени не рассматривалось экранное трубчатое устройство и многопараметровые вихретоковые экранные методы для контроля параметров ферромагнитных труб.

Целью настоящей работы является: совместное определение численных значений относительной магнитной проницаемости  $\mu_r$ , удельной электрической проводимости  $\sigma_r$ , температуры трубы  $t$  и коэффициента затухания  $h_t$  магнитного поля в трубе при реализации экранного четырёхпараметрового вихретокового метода.

В отличие от известных методов контроля параметров трубчатых изделий, рассматриваемый метод основан на том, что магнитная проницаемость  $\mu_r$ , удельное электрическое сопротивление  $\rho_r$ , температура изделия  $t$  и коэффициента затухания  $h_t$  определяется по индукции магнитного потока, прошедшего через стенку трубы и пронизывающего измерительную обмотку электромагнитного датчика в середине трубы, причем измеряются ЭДС  $E_d$  и ее фазовый угол  $\varphi_{zr}$ , а известные методы определяют два и три параметра с помощью ТВД, расположенного снаружи трубы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) исследовать экранное трубчатое четырёхпараметровое вихретоковое устройство, работающее на низких частотах;
- 2) создать алгоритм совместного определения относительной магнитной проницаемости  $\mu_r$ , удельной электрической проводимости  $\sigma_r$ , температуры

трубы  $t$  и коэффициента затухания  $h_t$  магнитного поля в трубе при реализации экранного четырёхпараметрового вихретокового метода;

3) определить численные значения четырех параметров  $\mu_{rt}$ ,  $\sigma_t$ ,  $t$ ,  $h_t$ .

## 2. Экранное трубчатое четырёхпараметровое устройство

Воспользовавшись результатами работ [3, 4, 7-11], запишем формулу для определения магнитного потока  $\Phi_{3t}$

$$\Phi_{3t} = \pi \cdot a \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot (1 + 2 \cdot (\mu_{rt} - 1)) \cdot d, \quad (1)$$

$a$  – наружный радиус трубы;  $d$  - толщина стенки трубы;  $H_0$  - напряженность магнитного поля вне трубы; индекс  $t$  - означает, что данная величина берется с учетом температуры.

Следует отметить, что  $\Phi_{3t}$  - это магнитный поток в стенке и внутри трубы при условии ее тонкостенности  $d/a \ll 1$ , где  $d$  - толщина стенки;  $a$  – внешний радиус трубы. Поскольку в данном случае рассматриваются низкие частоты, необходимо учесть, что  $d/\delta \ll 1$ , где  $\delta$  - глубина проникновения магнитного поля в стенку трубы. При этом берется длинный преобразователь соленоидального типа ( $l/a \ll 1$ , где  $l$  - длина намагничивающей катушки). В данном случае для определения параметров ферромагнитной трубы будем использовать экранное трубчатое вихретоковое устройство, включающее в себя трубу на которой находится намагничивающая обмотка, а в середине трубы находится электромагнитный вихретоковый датчик ЭВД с измерительной обмоткой.

Фазовый угол  $\varphi_{3t}$  потока  $\Phi_{3t}$  с учетом [3, 4, 7- 11] находят по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_{3t} = \frac{d \cdot b}{\delta^2 \cdot \mu_{rt}}, \quad (2)$$

где  $b$  – внутренний радиус трубы.

Магнитная индукция трубы с учетом [2] выражается формулой

$$B_{3t} = \mu_0 \cdot H_0 \cdot [1 - 2 \cdot (\mu_{rt} - 1) \cdot d]. \quad (3)$$

Тогда запишем формулу для ЭДС  $E_{3t}$  малогабаритного электромагнитного вихретокового датчика ЭВД, который находится внутри трубы

$$E_{3t} = 4,44 \cdot f_t \cdot \pi \cdot a_d^2 \cdot W_d \cdot B_{3t}, \quad (4)$$

где  $a_d$  – радиус ЭВД;  $W_d$  – число витков ЭВД.

С учетом (4) найдем значение  $\mu_{rt}$  в виде

$$\mu_{rt} = \frac{E_{3t} \cdot a}{2 \cdot 4,44 \cdot f_t \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot S_d \cdot W_d \cdot d} - \frac{b}{2d} + 1, \quad (5)$$

где  $S_d$  – площадь поперечного сечения ЭВД.

Формула (2) дает возможность определить величину  $\sigma_t$

$$\sigma_t = \frac{tg \varphi_{3t}}{\pi \cdot d \cdot b \cdot f_t \cdot \mu_0} \cdot \quad (6)$$

Выражение для  $\rho_t$  можно записать

$$\rho_t = \frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot f_t \cdot \mu_0}{tg \varphi_{3t}} \cdot \quad (7)$$

$$t = \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \cdot \left[ \frac{\sigma_1 \cdot \pi \cdot d \cdot b \cdot \mu_0 \cdot f_t}{tg \varphi_{3t}} - 1 \right] + t_1 \cdot \quad (8)$$

При этом для определения температуры трубы впервые предлагается использовать условия постоянного значения глубины проникновения магнитного поля  $\delta$ , а изменение температуры приводит к изменению величин  $\mu_r$  и  $\rho$ , которые являются зависимыми от температуры, а изменение электромагнитных параметров, в свою очередь, компенсируется изменением частоты магнитного поля  $f_t$ , которая также зависит от температуры трубы и является выходной величиной.

Запишем формулу для определения температуры ферромагнитной трубы через величину  $\rho_t$

$$t_\rho = \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \cdot \left[ \frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot \mu_0 \cdot f_t}{\rho_t \cdot tg \varphi_{3t}} - 1 \right] + t_1 \cdot \quad (9)$$

Формулу для температуры через величину  $\mu_r$  можно записать

$$t_\mu = \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \cdot \left( \frac{E \cdot a_d}{4,44 \cdot f_t \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot S_d \cdot W_d \cdot d \cdot \mu_{r1}} - \frac{b}{2d} \right) + t_1 \cdot \quad (10)$$

Коэффициент затухания синусоидального продольного поля  $h_t$  внутри трубы с учетом [2] можно найти по формуле

$$h_t = \frac{B_{3t}}{B_0}, \quad (11)$$

где  $B_0$  - магнитная индукция в воздушном зазоре между обмоткой и трубой на поверхности изделия [2].

На основании (3) и (10) можно записать

$$h_t = b \cdot \left[ \frac{1 + 2 \cdot (\mu_r - 1) \cdot \frac{d}{b}}{\mu_r \cdot a} \right], \quad (12)$$

Коэффициенты затухания можно также определить через величину напряженности магнитного поля  $H_{3t}$

$$h_t = \frac{H_{3t}}{H_0} \cdot \quad (13)$$

Используя (3) и считая, что  $H_{3r} = B_{3r}$  запишем формулу для определения коэффициента затухания в виде

$$h_i = \frac{H_0 \cdot b \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (\mu_r - 1) \cdot \frac{d}{b} \right] \cdot l}{\sqrt{2} \cdot I_n \cdot W_n \cdot \mu_r \cdot a}, \quad (14)$$

где  $I_n$  - намагничивающий ток;  $l$  - длина соленоида.

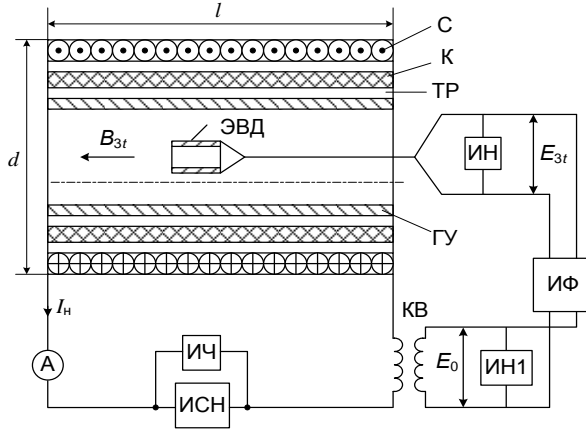
Схема включения экранного трубчатого многопараметрового вихретокового устройства представлена на рисунке. Схема включает в себя: К – каркас с намагничивающей обмоткой; С – соленоид; ГУ – греющее устройство для изменения температуры ферромагнитной трубы; ЭВД – экранный вихретоковый датчик, который находится в середине трубы; ИСН – источник синусоидального напряжения; ИЧ – измеритель частоты; КВ – катушка взаимоиנדуктивности; ТР – ферромагнитный трубчатый образец, измерители напряжения ИН и ИН1; А – амперметр.

В данном случае намагничивающая обмотка наматывается на трубу через каркас К (сам каркас выполнен из жаропрочных материалов: фарфора или стеклотекстолита).

Во время работы устройства измеритель напряжения ИН измеряет ЭДС, снимаемую с ЭВД, т.е. ЭДС  $E_{3r}$ . ЭДС  $E_0$  снимается со вторичной обмотки катушки взаимоиנדуктивности КВ и регистрируется измерителем напряжения ИН1, а затем подается на измеритель фазового угла ИФ. При этом катушка взаимоиנדуктивности КВ дает возможность измерять фазовый угол  $\varphi_{3r}$  между ЭДС  $E_0$  и  $E_{3r}$ , который регистрируется ИФ. Для изменения температуры ферромагнитной трубы ТР используется греющее устройство ГУ.

Приведем численные примеры определения параметров трубы и экранного датчика.

Примем исходные данные: число витков намагничивающей обмотки  $W_i = 289$ ; внешний радиус трубы  $a=55$  мм; внутренний радиус  $b=52$  мм; длина трубы  $l=1$  м; напряженность магнитного поля  $H_0$ ; магнитная проницаемость трубы  $\mu_r=110$ ; удельная электрическая проводимость трубы  $\sigma_1=0,5 \cdot 10^7$  См/м; частота изменения магнитного поля  $f=1000$  Гц; температурный коэффициент сопротивления материала трубы  $\alpha_p=3,6 \cdot 10^{-3}$  1/К; температурный коэффициент магнитной проницаемости  $\alpha_\mu=1,2 \cdot 10^{-3}$  1/К.



Электрическая схема включения вихретокового экранного устройства для определения четырех параметров ферромагнитной трубы

Параметры ЭВД: диаметр  $d_d = 3 \cdot 10^{-3}$  м,  $l_d = 10 \cdot 10^{-3}$  м, число витков измерительной обмотки  $W_{и} = 1050$ .

Найдем площадь  $S_d$  поперечного сечения датчика:

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi (3 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,707 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Толщина стенки трубы:

$$d = a - b = (55 - 52) \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Определим численное значение магнитного потока в середине трубы

$$\begin{aligned} \Phi_{3t} &= \pi \cdot a \cdot b \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (\mu_r - 1) \cdot \frac{d}{b} \right] = \pi \cdot 55 \cdot 10^{-3} \times \\ &\times 52 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60 \times \left[ 1 + 2 \cdot (110 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right] = 0,92 \cdot 10^{-5} \text{ Вб}. \end{aligned}$$

Воспользовавшись формулой для определения глубины проникновения  $\delta$  [5-11], определим глубину проникновения магнитного поля в стенку трубы:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi \cdot 1000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 110 \cdot 0,5 \cdot 10^7}} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Определим ЭДС  $E_{3t}$ , которая создается магнитным потоком  $\Phi_{23}$ :

$$E_{3t} = 4,44 \cdot 1000 \cdot 1050 \cdot 0,92 \cdot 10^{-5} = 42,9 \cdot 10^{-5} \text{ В}.$$

Величина ЭДС без трубы внутри измерительной обмотки с учетом [7- 11]

$$E_0 = 4,44 \cdot 1000 \cdot 1050 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60 = 3 \text{ В}.$$

Магнитная индукция внутри трубы вычисляется:

$$B_{3t} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 52 \cdot 10^{-3} \left[ 1 + 2(110-1) \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{55 \cdot 10^{-3}} = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$$

Определим  $\mu_{rt}$ , как

$$\mu_{rt} = \frac{42,9 \cdot 55 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 4,44 \cdot 1000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 0,707 \cdot 10^{-5} \cdot 1050 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} - \frac{52 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} + 1 = 110,37.$$

Определим  $tg\varphi_{3t}$ , как

$$tg\varphi_{3t} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 52 \cdot 10^{-3}}{(0,68 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 110} = 3,067.$$

Рассчитаем численное значение удельной электрической проводимости

$$\sigma_t = \frac{3,067}{\pi \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 52 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,498 \cdot 10^7 \text{ См/м.}$$

С учетом [5- 11] запишем глубину проникновения  $\delta$ , как

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_t}{\mu_0 \cdot \mu_{rt} \cdot \omega_t}} = \sqrt{\frac{\rho_t}{\mu_0 \cdot \mu_{rt} \cdot \pi \cdot f_t}}, \quad (15)$$

где  $\mu_{rt}$ ,  $\rho_t$  и  $f_t$  зависят от температуры  $t$ .

Примем условие, что  $\delta = \delta_1 = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , которое характеризуется  $\delta = const = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

В таком случае частота  $f$  будет компенсировать изменение величин  $\mu_{rt}$ ,  $\rho_t$  для того, чтобы поддерживать значение глубины проникновения магнитного поля в трубчатый образец постоянным  $\delta = const = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

То есть  $f_t$  запишется как

$$f_t = \frac{\rho_t}{\mu_0 \cdot \mu_{rt} \cdot \delta_1^2}. \quad (16)$$

Определим температуру  $t_p$  и  $t_\mu$  по формулам (9) и (10).

Приведем расчет четырех параметров ферромагнитного трубчатого изделия:  $\mu_{rt}$ ,  $\rho_t$ ,  $t$ ,  $h_t$ . При этом электромагнитные параметры и коэффициенты затухания  $h_t$  определяем при различных температурах.

При  $t=20^\circ\text{C}$  имеем  $\rho_1=2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $f=1000 \text{ Гц}$ ;  $\mu_{r1}=110$ .

При  $t=40^\circ\text{C}$

$$\rho_{40} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( 1 + \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (40 - 20)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 2,13 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\mu_{r40} = 110 \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (40 - 20)}{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 112,6;$$



$$f_{40} = \frac{2,13 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 112,6 \cdot \pi (0,68 \cdot 10^{-3})^2} = 1036 \text{ Гц};$$

$$t_p = \frac{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{2,13 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}} - 1 \right] + 20 = 39,36 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\mu = \frac{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{1,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{112,6}{110} - 1 \right] + 20 = 40,17 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $t=80^\circ\text{C}$

$$\rho_{80} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( 1 + \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 20)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\mu_{r80} = 110 \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 20)}{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 117,7;$$

$$f_{80} = \frac{2,4 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 117,7 \cdot \pi (0,68 \cdot 10^{-3})^2} = 1117 \text{ Гц};$$

$$t_p = \frac{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{2,4 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}} - 1 \right] + 20 = 79,56 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\mu = \frac{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{1,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{117,7}{110} - 1 \right] + 20 = 79,73 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $t=100^\circ\text{C}$

$$\rho_{100} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( 1 + \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 2,54 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\mu_{r100} = 110 \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20)}{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 120,3;$$

$$f_{100} = \frac{2,54 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 120,3 \cdot \pi (0,68 \cdot 10^{-3})^2} = 1156 \text{ Гц};$$

$$t_p = \frac{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{2,54 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}} - 1 \right] + 20 = 100,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\mu = \frac{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{1,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{120,3}{110} - 1 \right] + 20 = 99,9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $t=150^\circ\text{C}$

$$\rho_{150} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( 1 + \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (150 - 20)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 2,87 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\mu_{r150} = 110 \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (150 - 20)}{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 126,8;$$

$$f_{150} = \frac{2,87 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 126,8 \cdot \pi (0,68 \cdot 10^{-3})^2} = 1240 \text{ Гц};$$

$$t_p = \frac{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{2,87 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}} - 1 \right] + 20 = 149,53 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\mu = \frac{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{1,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{126,8}{110} - 1 \right] + 20 = 150,33 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $t=180^\circ\text{C}$

$$\rho_{180} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( 1 + \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (180 - 20)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 3,07 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\mu_{r180} = 110 \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (180 - 20)}{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \right) = 130,6;$$

$$f_{180} = \frac{2,54 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 130,6 \cdot \pi (0,68 \cdot 10^{-3})^2} = 1287 \text{ Гц};$$

$$t_p = \frac{1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{3,07 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}} - 1 \right] + 20 = 179,31 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\mu = \frac{1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{1,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ \frac{130,6}{110} - 1 \right] + 20 = 179,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $t=20^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (110 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{110 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1167.$$

При  $t=40^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (112,6 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{112,6 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1165.$$

При  $t=80^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (117,7 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{117,7 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1162.$$

При  $t=100^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (120,3 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{120,3 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1158.$$

При  $t=150^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (126,8 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{126,8 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1157.$$

При  $t=180^\circ\text{C}$

$$h_t = \frac{52 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 1 + 2 \cdot (130,6 - 1) \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{52 \cdot 10^{-3}} \right]}{130,6 \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 0,1155.$$

Определим ток в намагничивающей обмотке

$$I_n = \frac{H_0 \cdot l}{\sqrt{2} \cdot W_n} = \frac{60 \cdot 1}{\sqrt{2} \cdot 289} = 0,147 \text{ A.}$$

Определим относительные погрешности измерения величин температур  $t_p$  и  $t_\mu$ , используя известные формулы для расчета погрешностей [17] и с учетом [14, 15].

Так, например, при  $t=80^\circ\text{C}$

$$\gamma_{t_p} = \frac{t_p - t}{t} \cdot 100\% = \frac{79,56 - 80}{80} \cdot 100\% = -0,55\% ;$$

$$\gamma_{t_\mu} = \frac{t_\mu - t}{t} \cdot 100\% = \frac{79,73 - 80}{80} \cdot 100\% = -0,3375\%$$

Результаты расчетов  $\gamma_{t_p}$  и  $\gamma_{t_\mu}$  для этой и других температур приведены в таблице

Результаты расчетов электромагнитных параметров, температуры и коэффициента затухания ферромагнитной трубы при реализации экранного вихретокового четырёхпараметрового метода								
$t$ , $^\circ\text{C}$	$\rho_t$ , Ом·м	$\mu_{rt}$	$f_t$ , Гц	$t_p$ , $^\circ\text{C}$	$t_\mu$ , $^\circ\text{C}$	$h_t$	$\gamma_{t_p}$ , %	$\gamma_{t_\mu}$ , %
20	$2 \cdot 10^{-7}$	110	1000	20	20	0,1167	0	0
40	$2,13 \cdot 10^{-7}$	112,6	1036	39,36	40,17	0,1165	-1,6	0,425
80	$2,4 \cdot 10^{-7}$	117,7	1117	79,56	79,73	0,1162	-0,55	-0,3375
100	$2,54 \cdot 10^{-7}$	120,3	1156	100,4	99,9	0,1158	0,4	-0,1
150	$2,87 \cdot 10^{-7}$	126,8	1240	149,53	150,33	0,1157	-0,31	0,22
180	$3,07 \cdot 10^{-7}$	130,6	1287	179,31	179,8	0,1155	-0,38	-0,11

В таблице приведены результаты определения величин  $\rho_t$ ,  $\mu_{rt}$ ,  $f_t$ ,  $t_p$ ,  $t_\mu$ ,  $h_t$  при разных температурах трубы. Левая колонка таблицы содержит данные

определения температуры контрольным методом (использовался платиновый терморезистор ПТ).

### 3. Обсуждение результатов исследований

В настоящей статье с помощью экранного трубчатого многопараметрового вихретокового устройства, реализующего экранный четырёхпараметровый бесконтактный вихретоковый метод, определены совместно следующие параметры ферромагнитного тонкостенного трубчатого изделия: относительная магнитная проницаемость  $\mu_{r1}$ , удельное электрическое сопротивление  $\rho_1$ , температура трубы  $t$  и коэффициент затухания синусоидального продольного магнитного поля в ферромагнитном трубчатом изделии  $h_1$ .

Исследования экранного трубчатого устройства, реализующего четырёхпараметровый вихретоковый метод, проводились при условии постоянства глубины проникновения магнитного поля в образец, т.е.  $\delta = const$  для определения температуры, а также связанных с ней термозависимых электромагнитных параметров и коэффициента затухания магнитного поля в трубчатом изделии  $h_1$ , который также зависит от температуры.

Материалы, связанные с совместным определением величин  $\mu_{r1}$ ,  $\rho_1$ ,  $t$  и  $h_1$  с помощью экранного трубчатого многопараметрового вихретокового устройства являются новизной работы.

**Список литературы:** 1. *Каден Г.* Электромагнитные экраны в высокочастотной механике и технике электросвязи. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.- 327 с. 2. *Кифер И.И.* Испытания ферромагнитных материалов. - М.: Энергия. - 1969. - 360 с. 3. *Бондаренко В.И., Себко В.П., Тюпа В.И.* К расчету переменного магнитного потока в проводящем объекте. // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. - 1980. - №168. - Вып. 7.- С. 12-14. 4. *Баитанников Л.А., Себко В.П., Тюпа В.И.* Определение магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости материала трубчатых изделий // Дефектоскопия. - 1985.- №5.- С. 57-63. 5. *Николаенко А.Т.* Намагничивание металлических труб поперечными полями // Дефектоскопия. - 1983.- №12.- С. 48-56. 6. *Себко В.П., Беззапонная В.М.* О диффузии затухающих магнитных полей в металлическую камеру // Электротехника и электромеханика. НТУ "ХПИ". - Харьков: 2005.- №4.- С. 61-63. 7. *Пантелеев М.С.* К теории измерений электромагнитных параметров трубчатых изделий в переменных магнитных полях // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. - 1988. - №251. - Вып. 15.- С. 48-50. 8. *Себко В.П., Хоменко В.Г.* Электромагнитный многопараметровый метод контроля трубчатых изделий //Техническая электродинамика, Тематический выпуск.- ч.2.-1999.- С. 39-42. 9. *Себко В.П., Хоменко В.Г.* К расчету компонентов сигналов электромагнитного преобразователя с трубчатым изделием. // Вестн. ХГПУ. - 2000. - Вып. 92.- С. 76-100. 10. *Себко В.В., Мохаммад Махмуд Мохаммад Дарвиш.* К теории работы параметрического электромагнитного преобразователя для контроля электромагнитных параметров и потерь мощности в цилиндрическом изделии // Вестн. НТУ "ХПИ". - Харьков. - 2001. - Вып. 5.- С. 151-156. 11. *Себко В.П., Фам Туанг Хунг.* Экстремальный электромагнитный метод контроля параметров трубчатых проводящих изделий. // Вестн. ХГПУ. - 2000. - Вып. 102.- С. 109-112. 12. *Спектор С.А.* Электрические измерения физических величин. - Энергоатомиздат, 1987. - 320 с. 13. *Себко В.П., Пантелеев М.С.* К вопросу измерения магнитной проницаемости ферромагнитных изделий в различных температурных режимах. - Локальные автоматизированные системы автоматки. - Київ: Наукова думка, - 1983, - С. 109-113. 14. *Багмет О.Л.* К теории электромагнитного преобразователя температуры. Сборник научных трудов ХГПУ "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Вып.7.- ч.3.-Харьков. -1999. - С. 86-88. 15. *Котуза А.И.* Бесконтактное измерение температуры цилиндрических изделий вихретоковым преобразователем. - Вестник ХГПУ. - 1999. - Вып.24.- С. 38-40. 16. *Себко В.В.*

Многофункциональное вихреговое устройство для измерения радиуса, магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры цилиндрического проводящего изделия. – Технічна електродинаміка. – Київ. – Інститут електродинаміки НАНУ. – 2002. – Технічний вип. ч.3. - С. 101-104. 17. Чинков В.М. Основы метрології та вимірювальної техніки / Навчальний посібник/. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2005.- 524 с. 18. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник / Под ред В.В. Клюева. Кн.2.- М.: Машиностроение, 1986. – 351 с. 19. Себко В.П., Тюна И.В. К теории работы контактного электромагнитного преобразователя для контроля параметров трубчатых изделий // Вестник ХГПУ.- Харьков, 1999.- вып.24.- С. 109-113. 20. Себко В.П., Тюна И.В., Филоненко Д.В. Исследование электромагнитного трехпараметрового метода контроля труб. // Вестн. НТУ "ХПИ". - Харьков. - 2004. - Вып. 46.- С. 161-163.

*Поступила в редколлегию 07.11.06*

УДК 621.396

**А.С. МАЗМАНИШВИЛИ**, д-р физ.-мат. наук, **А.Ю. СИДОРЕНКО**,  
**Д.А. СТАРУШКИН**

## **ДИСКРЕТНЫЙ КВАДРАТИЧНЫЙ ФУНКЦИОНАЛ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОЕ КОЛИЧЕСТВО ЕГО КОМПОНЕНТ**

Розглянуто метод контролю якості випадкових процесів із застосуванням дискретного квадратичного функціоналу. Отримана і проаналізована залежність ефективної кількості підрахунків адитивного критерію, тобто обсягу вимірювань, від коефіцієнта кореляції.

**Введение.** В теории оценивания и принятия решений принято использовать статистические функционалы определенного вида. На их основе строят выборочные критерии, формулируют условные и безусловные законы распределения и рассчитывают соответствующие квантили [1, 2, 3]. Эти критерии образуются из элементов (компонент) наблюдаемой выборки, при этом её отсчеты предполагаются независимыми [3, 4]. Между тем на практике условие независимости отсчетов может не выполняться или по условиям эксперимента может отсутствовать информация о степени статистической связи между ними.

В данной работе в качестве математической модели будет рассматриваться дискретный квадратичный функционал:

$$J_x = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2, \quad (1)$$

где  $\{x_n\}$  – последовательность отсчетов;  $N$  – количество отсчетов в выборке;  $h$  – шаг измерений,  $h = L/N$ ;  $L$  – длина интервала измерений. С целью изучить влияние коррелированности отсчетов будет предполагать, что выборка образована из отсчетов случайного процесса  $x(l)$ , обладающего свойствами нормального марковского процесса (НМП) [5,6]. В качестве проверки для используемого в данной работе функционала качества (1) можно выбрать хорошо известный в математической статистике критерий  $\chi^2$  Пирсона, который образован из независимых нормальных отсчетов [3].

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является определить: при каких параметрах и для какого количества элементов выборки распределение выбранного критерия (1) будет совпадать с  $\chi^2$ -распределением.

**Алгоритм расчета.** Пусть известны параметры НМП: декремент  $\nu$  и дисперсия  $\sigma$ . Примем, что число элементов выборки  $\{y_m\}$ , подчиняющейся  $\chi^2$ -распределению, составляет  $M$ , а сами они также имеют дисперсию  $\sigma$ . Образует на основе (1) два функционала качества: один, основанный на НМП, и второй, образованный из отсчетов гауссовского процесса с нулевой корреляцией. Обе эти случайные величины имеют плотности распределения вероятностей похожего вида (стартуют из нуля, имеют один максимум и экспоненциальную асимптотику на периферии). Поэтому в качестве критерия близости законов используем их дисперсии.

Запишем формулы дисперсии функционала качества (1) для НМП и для  $\chi^2$ -распределения

$$\Delta_N = \left\langle \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 \right)^2 \right\rangle - \left\langle \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 \right\rangle^2, \quad \Delta_M = \left\langle \left( \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m^2 \right)^2 \right\rangle - \left\langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m^2 \right\rangle^2, \quad (2)$$

где  $\{x_n\}$  и  $\{y_m\}$  – наборы соответствующих отсчетов. НМП характеризуется наличием корреляций между отсчетами,  $\langle x_n x_k \rangle = \sigma \exp(-|n-k| \nu h)$  [5, 6], в то же время для компонент  $\chi^2$ -критерия можно считать, что  $\nu \rightarrow \infty$  и  $q_{nk} \rightarrow \delta_{nk}$ . Благодаря наличию корреляций в отсчетах НМП дисперсии в (2) будут различными при  $N = M$ . Поставим задачу определения такого объема  $M$  выборки, для которого значения дисперсий  $\Delta_N$  и  $\Delta_M$  окажутся насколько возможно максимально близкими. Этот найденный объем будем называть эффективным числом компонент выборки из НМП, т.е. тот объем, который отвечает выборке из независимых нормальных отсчетов.

В дальнейшем для усреднений понадобятся переходная  $f(x_n | x_k)$  и равновесная  $f(x_n)$  плотности распределения вероятностей НМП [5, 6]

$$f(x_n | x_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(1-q_{nk}^2)}} \exp\left[-\frac{(x_n - q_{nk}x_k)^2}{2\sigma(1-q_{nk}^2)}\right], \quad f(x_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{x_n^2}{2\sigma}\right], \quad (3)$$

где  $q_{nk} = \exp(-|n-k| \nu h)$ .

После необходимых усреднений в (2) с помощью (3) получаем

$$\Delta_N = \frac{2\sigma^2}{N^2} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N \exp(-2\nu h |n-k|), \quad (4)$$

а с помощью предельного перехода  $\nu \rightarrow \infty$  найдем

$$\Delta_M = \frac{2\sigma^2}{M}. \quad (5)$$

Сопоставляя выражения (4) и (5), получим

$$\frac{2}{M} \cong \frac{2}{N^2} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N \exp(-|k-n|vh), \quad (6)$$

откуда видно, что  $M = N$  лишь при  $\nu \rightarrow \infty$ . Заменяя в (6) приближенно суммы на интегралы, найдем

$$\frac{2}{M} \cong \frac{4}{\nu^2 h^2 N^2} [\nu L - 1 + \exp(-\nu L)], \quad (7)$$

что дает окончательно

$$M = \frac{\nu^2 L^2}{2[\nu L - 1 + \exp(-\nu L)]}. \quad (8)$$

Проанализируем поведение эффективного количества элементов  $M$  при различных значениях параметра  $\nu L$ . При  $\nu L \ll 1$  имеем  $M \rightarrow 1$ . При  $\nu L \gg 1$  имеем  $M \rightarrow \nu L / 2 = \nu N h / 2$ , следовательно, если  $\nu h \geq 2$ , то есть  $q \ll 1$ , то объемы выборок практически совпадают.

**Основные результаты.** Для анализа полученных выражений построим зависимости количества элементов выборки распределения  $\chi^2$  и дискретного квадратичного критерия (1) при варьируемом параметре  $\nu$  (декремент затухания НМП). На рис. 1 изображены искомые зависимости при различных  $\nu$ . Анализируя зависимости на рис. 1, можно сделать вывод о том, что при отсутствии корреляции, т.е. когда декремент затухания  $\nu \rightarrow \infty$ , количества элементов двух выборок приблизительно одинаковы. При уменьшении  $\nu$  и соответствующем увеличении корреляций между отсчетами в (1) величины  $M$  и  $N$  изменяются прямо пропорционально.

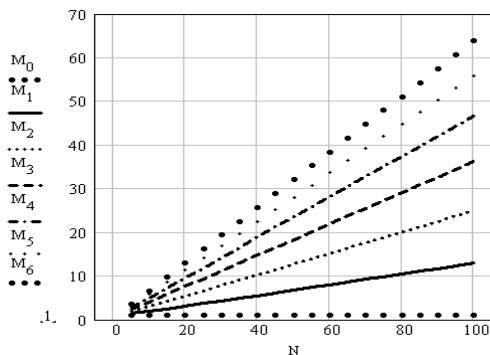


Рисунок 1 – Зависимости эффективного количества  $M$  элементов выборки  $\chi^2$  – распределения от фактического количества  $N$  элементов выборки критерия (1)  $N$  ( $h = 0.5$ ;  $\nu = 0; 1; 2; \dots; 6$ )

Рассмотрим теперь влияние коэффициента корреляции  $q = \exp(-\nu h)$  в соседних отсчетах с шагом  $h$  на эффективный объем выборки  $M$ .

На рис. 2 представлены зависимости количества элементов выборки  $M$  от коэффициента корреляции  $q$ . Из рис. 2 следует, что величина объема выборки  $M$  обратно пропорциональна коэффициенту корреляции  $q$ , т.е. с увеличением корреляции эффективный объем выборки падает, а при полной корреляции ( $q \rightarrow 1$ ) величина эффективного объема всегда равна 1.

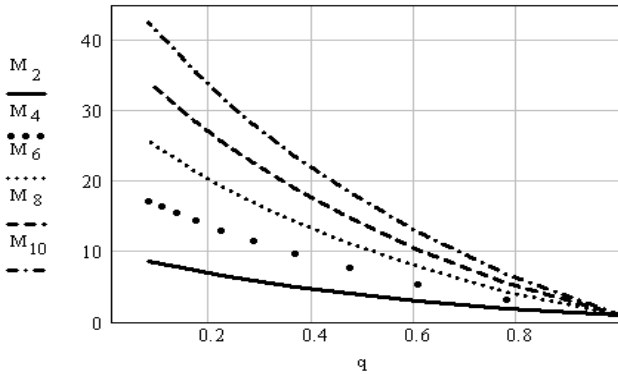


Рисунок 2 – Зависимости эффективного количества элементов  $M$  от коэффициента корреляции  $q$

Для того чтобы выяснить, как ведет себя параметр  $M$  в зависимости от величины интервала наблюдения  $L$ , построим график изменения поведения данного параметра от приведенного интервала наблюдения  $\nu L$  в соответствии с (8). Результаты расчета эффективного количества элементов выборки  $M$  приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, с увеличением интервала наблюдения  $L$  регистрируемого процесса возрастает количество эффективных элементов исследуемой выборки. Это означает прямо пропорциональную зависимость эффективного количества выборки  $M$  от длины отрезка наблюдаемого процесса.

На рис. 4 приведен пример двух распределений – критерия  $f(\eta)$ , основанного на НМП, и  $\chi^2$ -распределения  $\varphi(\eta)$ . Параметры подобраны таким образом, чтобы первые два статистические момента распределений равнялись ( $N = 20$ ,  $\nu = 0.34$ ,  $\sigma = 1$ ,  $h = 1$  и  $M = 4$ ). Из рисунка видно, что соответствующие кривые хорошо отвечают друг другу.



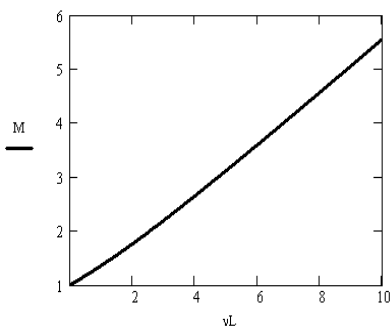


Рисунок 3 – Зависимость эффективного количества  $M$  элементов выборки  $\chi^2$ -распределения от приведенного интервала наблюдения  $\nu L$

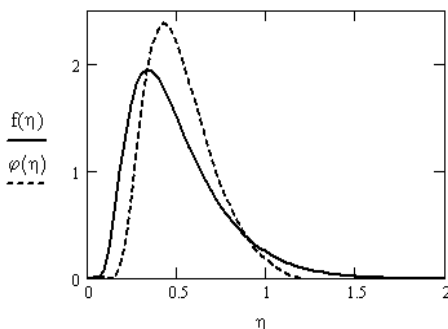


Рисунок 4 – Плотности распределений вероятностей критерия  $f(\eta)$ , определенного на НМП, и  $\chi^2$ -распределения  $\varphi(\eta)$

**Выводы.** Таким образом, практика применения распространенного  $\chi^2$ -критерия Пирсона, которая предполагает независимость компонент статистического критерия, должна предварительно включать учет возможной степени коррелированности отсчетов между компонентами аддитивного функционала качества. Такого рода анализ корреляций известен [3], результатом него является оценка  $q'$  коэффициента корреляции  $q$  в рассматриваемой выборке, а значит и оценка  $\nu'$  декремента случайного марковского процесса. Если оказывается, что  $\nu' h \leq 1$ , а принимается, что  $M = N$ , статистическая зависимость между отсчетами может исказить соответствующий результат задачи принятия решения.

В заключение отметим, что хотя в работе анализ эффективного объема выборки проведен на примере квадратичного критерия Пирсона, рассмотренный подход также применим в задачах, в которых используются критерии Стьюдента, Фишера, Бартлетта и другие [4,5]

**Список литературы:** 1. Хусу А.Н., Виттенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей: (теоретико-вероятностный подход). – М.: Наука, 1975. – 344 с. 2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической обработки наблюдений. – М.: Физматгиз, 1962. – 504 с. 3. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с. 4. Виленкин С.Я. Статистическая обработка результатов исследования случайных функций. – М.: Энергия, 1979. – 320 с. 5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с. 6. Арато М. Линейные стохастические системы с постоянными коэффициентами. – М.: Наука, 1989. – 304 с.

Поступила в редколлегию 08.11.06

*А.Ю. СИДОРЕНКО, О.Ю. САМОТОЙ*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА**

Розроблено алгоритм для задачі статистичного управління при механічній обробці кільця підшипника й створене програмне забезпечення для аналізу розподілу вимірів деталей на контрольній карті. За допомогою побудованої системи проаналізовано стан процесу роботи верстата шліфування доріжки кочення підшипникового кільця.

**Введение.** Изготовитель обычно полагается на производство для того, чтобы создавать продукт, и на контроль конечного продукта, чтобы отбраковать изделия, не соответствующие требованиям. В некоторых ситуациях работа проверяется, чтобы отловить ошибки. Применяется стратегия обнаружения бракованного изделия, которая ущербна, поскольку позволяет потратить время и материалы на продукты и услуги, которые не всегда оказывались годными. Намного более эффективно избегать брака, в первую очередь, не производя непригодного продукта – это стратегия предупреждения.

Системы обеспечения качества продукции, предусматривают контроль состояния процессов и оборудования, включающая сбор и обработку информации о параметрах контролируемых объектов, а также принятие и реализацию решений по управлению технологическим процессом. Важнейшая часть технологического процесса изготовления деталей подшипников – шлифовальная обработка. Шлифование поверхностей дорожек качения является во многих случаях финишной операцией, определяющей качество поверхностного слоя.

В данной работе рассматривались поверхности дорожек качения кольца подшипника после механической обработки (шлифования). Качество поверхностей качения деталей подшипников в значительной степени влияет на характеристики собственно подшипника, в частности, на его долговечность и уровень вибраций. Принимая по результатам выборки партию изделий, необходимо оценить долю брака в данной партии. В результате проверки качества кольца подшипника, полученного после механической обработки, формируются контрольные карты.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка алгоритмического обеспечения задачи статистического управления, а также анализ контрольных карт, полученных при механической обработке кольца подшипника, с помощью кластерного анализа.

**Алгоритм расчета.** Для автоматизации использования критериев анализа расположения точек на контрольной карте использовался алгоритм распознавания образов.

Распознавание образов можно определить как отнесение наблюдаемых образов к определенному классу с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти образы. В любой задаче распознавания образов наблюдателю предлагается набор объектов. Каждый объект принадлежит одному или более классам из некоторого фиксированного множества. В данной работе была рассмотрена система параллельной классификации. Для примера рассмотрим критерий №1, изображенный на рис. 1 (на данном рисунке и в дальнейшем будут обозначения:  $A, B, C$  – зоны отклонений параметра дорожки качения подшипника от «идеального» значения;  $t$  – время работы станка; точки – замеры параметра).

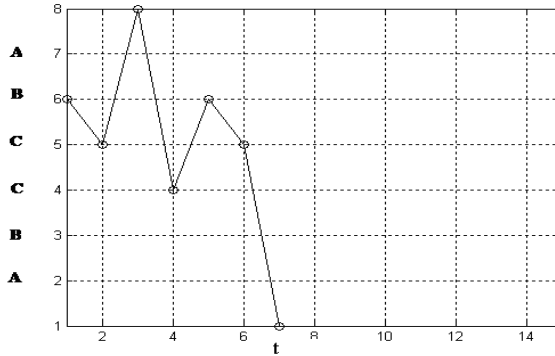


Рисунок 1 – Графическое отображение критерия № 1

Алгоритм обучения процедуры параллельной классификации заключается в следующем:

Необходимо сформировать обучающую выборку. Каждый обучающий шаблон состоит из двух векторов: входной вектор  $X$  и соответствующий ему желаемый выходной вектор  $\hat{Y}$ . Образы, принадлежащие различным классам должны чередоваться. Входные данные необходимо нормировать.

Для этого необходимо выбрать максимальное значение каждого из признаков  $x_i^{\max}$  и разделить все текущие значения на соответствующие максимальные

$$x_i^{\text{норм}} = x_i / x_i^{\max}, \quad (1)$$

где  $i = \overline{1, N}$ ;

$N$  – количество признаков во входном векторе.

Присвоить матрице весовых коэффициентов всех каналов  $W$  и матрице пороговых значений  $W_0$  случайные значения, распределенные в интервале  $[-0,3; 0,3]$ .

Подать на вход системы очередной обучающий шаблон. Вычислить реальный выходной вектор системы  $Y$  и соответствующий вектор ошибки:

$$E = \hat{Y} - Y. \quad (2)$$

Вычислить величины коррекции весовых коэффициентов и пороговых значений:

$$\Delta W = E \cdot X_{\text{норм}}^T, \quad (3)$$

$$\Delta W_0 = E. \quad (4)$$

Вычислить новые значения матрицы весовых коэффициентов и матрицы пороговых значений:

$$W(k+1) = W(k) + \Delta W, \quad (5)$$

$$W_0(k+1) = W_0(k) + \Delta W_0. \quad (6)$$

Если количество итераций превысило установленный предел, завершить процесс обучения. В противном случае подать на вход системы очередной обучающий шаблон.

Рассмотрим результаты применения алгоритма параллельной классификации. Оцифрованная специальным программным средством контрольная карта представлена на рис.2.

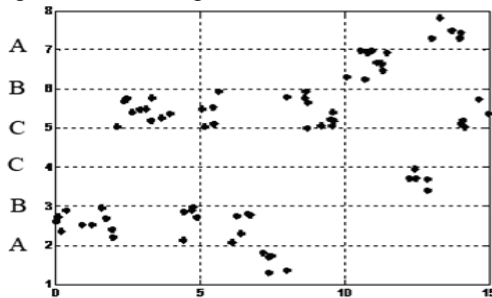


Рисунок 2 – Исходная контрольная карта

Для представления контрольной карты для распознавания необходимо провести усреднение точек замеров исходных образцов. В качестве количества усреднения следует брать пять точек, поскольку за один интервал контроля извлекается пять деталей. Результаты этих действий представлены на рис. 3.

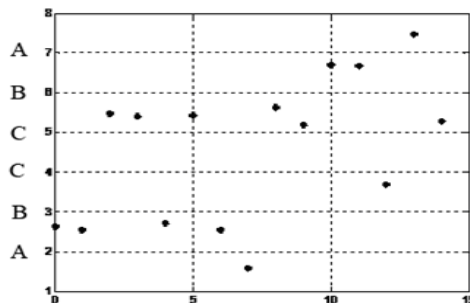


Рисунок 3 – Усредненные данные

**Основные результаты.** Для применения алгоритма распознавания образов необходимо представить исходный объект в виде вектора измерений. Для этого исходной карте, имеющей восемь горизонтальных делений и пятнадцать вертикальных, ставится в соответствие матрица размером  $(8 \times 15)$ . Заполнение матрицы производится по следующему правилу:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если на } i \times j \text{ месте карты стоит точка;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (7)$$

Результатом применения этого правила для усредненной контрольной карты (рис. 2) в памяти имеет вид:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Для удобного просмотра результатов распознавания необходимо применить функцию, которая отображает вид контрольной карты по ее представлению в виде матрицы. Результат выполнения этой функции для матрицы (8) представлен на рис. 4.

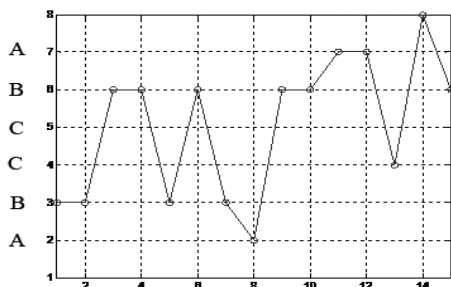


Рисунок 4 – Отображение представления контрольной карты в памяти

Построенный алгоритм распознавания относит усредненную карту (рис. 3) к критерию №1, поскольку одна из точек вне границы зоны А.

Таким образом, разработанный алгоритм по представлению отмеченных на контрольной карте точек в виде массивов их координат позволяет классифицировать карту по одному из критериев. Качество распознавания можно увеличить, проводя обучение системы распознавания на более большом количестве исходных представлений контрольных карт.

**Выводы.** Построенная система позволяет анализировать состояние процесса работы станка шлифования дорожки качения подшипникового кольца. В результате исследований был разработан алгоритм для задачи статистического управления при механической обработке кольца

подшипника и создано программное обеспечение для анализа распределения замеров деталей на контрольной карте.

Результаты данной статьи имеют прикладной характер и могут быть использованы для статистического управления качеством производства подшипников ОАО «Харьковский подшипниковый завод». В дальнейшем предполагается более глубокое изучение проблемы статистического управления контролем качества на производстве.]

**Список литературы:** 1. ГОСТР 51814.3-2001 (Системы качества в автомобилестроении. Методы статистического управления процессами). 2. ГОСТР 50799.11-2000 (Статистическое управление качеством. Термины и управление). 3. Статистические методы контроля качества продукции / Под ред Бендерского А.М. – М.: Из-во стандартов, 1984. – 104 с

*Поступила в редколлегию 08.11.06*

УДК 621.77

**Т.Б.НИКИТИНА**, канд. техн. наук

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБМОТОЧНОЙ МАШИНОЙ С ПОМОЩЬЮ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Розроблена методика синтезу робастної системи управління головним електроприводом бльомінга як двомасовою електромеханічною системою. Наведено приклад вибору вагових матриць в критерії якості і динамічні характеристики синтезованої системи робастного управління.

**Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.** Обмоточная машина как объект управления натяжением обмоточной ленты и скоростью вращения приводного механизма является нестационарным объектом, параметры которого изменяются в широких пределах в процессе работы. Наиболее существенное изменение параметров обмоточной машины происходит по мере выработки обмоточной ленты с кружка в процессе обмотки кабелей. При этом изменяется момент инерции кружка с обмоточной лентой и радиус схода обмоточной ленты с кружка. За счет изменения радиуса схода ленты с кружка, в частности, необходимо соответствующим образом изменять момент тормозного механизма в функции изменяющегося радиуса размотки для поддержания заданного натяжения обмоточной ленты. Это требует установки датчика изменяющегося радиуса схода ленты и соответствующего программного регулятора натяжения обмоточной ленты в функции радиуса схода ленты. Если в системе регулирования используется прямой измеритель натяжения обмоточной ленты, то обмоточная машина как объект управления замкнутой системы регулирования натяжения изменяет не только коэффициенты усиления, вызванные изменением радиуса схода ленты, но и постоянные времени, вызванные изменением момента инерции кружка с лентой.

**Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме** В [1-3] выполнен синтез оптимальных регуляторов, оптимальных наблюдателей и оптимальных компенсаторов для трех радиусов размотки кружка с обмоточной лентой – начального, среднего и конечного. Естественно, что эти регуляторы, наблюдатели и компенсаторы имеют различные коэффициенты усиления для разных радиусов размотки и их реализация требует программного изменения этих коэффициентов усиления в функции изменяющегося радиуса размотки. Для реализации такого программного регулятора коэффициентов усиления также необходимо иметь прямой измеритель изменяющегося радиуса схода ленты с кружка. Попытка использования компенсаторов, рассчитанных для одного какого либо радиуса кружка ленты – например среднего, начального либо конечного для работы системы управления при любых радиусах размотки приводило на определенных радиусах размотки либо к излишнему затягиванию времени переходных процессов, либо к повышению колебательности, а в ряде случаев, - вообще к потере устойчивости системы регулирования.

Методы синтеза систем управления, основанные на минимизации квадратичного критерия называются задачами  $H^2$  - оптимизации. Однако, квадратичный критерий чувствителен к наличию неучтенных помех, возмущений, как со стороны внешних сигналов, так и параметрических возмущений самих объектов. Поэтому в последнее десятилетие получили развитие методы минимизации  $H^\infty$  - нормы, которая, служит эффективным показателем реакции системы на различного типа воздействия при наличии неопределенностей в описании объекта управления [4,6].

Теория  $H^\infty$  - оптимизации является обобщением известных частотных методов синтеза систем и позволяет решать широкий спектр задач управления при наличии неопределенностей.  $H^\infty$  - теория может работать как с параметрическим, так и с внешними возмущениями, причем о возмущениях делают предположения самого общего характера, например, что они ограничены по мощности.

Алгоритмы управления, полученные на основе  $H^\infty$  - теории, являются минимаксными, предлагая наилучший регулятор для наихудшего возмущения, и по этой причине превосходят алгоритмы, полученные без учета возмущений по различным критериям. С другой стороны,  $H^\infty$  - теория управления хорошо работает только при наличии предположений, в рамках которых были построены алгоритмы управления, т.е. при наличии неконтролируемых возмущений. Если же разработчик имеет информацию о действующих на систему возмущениях, то алгоритмы, полученные с учетом этой информации, как правило, оказываются лучше разработанных с помощью  $H^\infty$  - теории управления. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения радиусов размотки кружка с лентой.

**Цель статьи.** Целью статьи является синтез и исследование динамических характеристик робастной системы двухканального управления

обмоточной машиной по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** Рассмотрим построение робастного регулятора обмоточной машины. Основное назначение системы управления обмоточной машиной заключается в поддержании скорости вращения приводного механизма  $\omega_n(t)$  и натяжения обмоточной ленты  $S(t)$  на заданных уровнях  $V_s$  и  $S_s$ . Существенным недостатком управления по полному вектору состояния является потеря астатизма регулирования, даже если в объекте управления имелись интегрирующие звенья. Это обусловлено введением жестких обратных связей по полному вектору состояния за счет чего и происходит потеря астатизма. Рассмотрим построение робастного астатического регулятора. Введем вектор регулируемых координат:  $\bar{y}(t) = C\bar{x}(t) + D\bar{u}(t)$ , компонентами которого являются:  $\bar{y}(t) = \{V(t), S(t)\}^T$  и вектор задающих воздействий:  $\bar{y}_s(t) = \{V_s(t), S_s(t)\}^T$ . Введем вспомогательную переменную  $z(t)$ , связанную с регулируемой координатой  $y(t)$  и ее требуемым значением  $y_3(t)$  уравнением:

$$\dot{z}(t) = y_3(t) - y(t).$$

Рассмотрим уравнение состояния обмоточной машины как объекта управления:

$$\frac{d\bar{x}_0(t)}{dt} = A_0\bar{y}_0(t) + B_0\bar{u}_0(t).$$

Для построения астатического робастного регулятора введем два интегратора с переменными состояния  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$ , на входы которых подадим разность между заданными значениями скорости вращения приводного механизма  $V_3(t)$  и натяжением обмоточной нити  $S_3(t)$  и фактическими значениями скорости приводного механизма  $V_{II}(t)$  и натяжения обмоточной ленты:

$$\frac{dZ_1(t)}{dt} = V_3(t) - V_{II}(t), \quad \frac{dZ_2(t)}{dt} = S_3(t) - S(t)$$

Введем вектор состояния интеграторов  $\bar{Z}(t) = \{Z_1(t), Z_2(t)\}^T$  вектор регулируемых координат  $\bar{y}(t) = \{V_{II}(t), S(t)\}^T = C\bar{X}_0(t)$ .

Рассмотрим расширенную систему, включающую исходную систему и вспомогательную переменную:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\bar{x}_0}{dt} \\ \frac{d\bar{z}_0}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0(t) \\ z(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_0 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{u}_0(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \bar{y}_s(t)$$



Тогда расширенная система с вектором состояния  $\tilde{x}(t) = \bar{x}^T(t), z(t)^T$  будет описываться уравнением состояния:

$$\dot{\tilde{x}}(t) = \tilde{A}\tilde{X}(t) + \tilde{B}\tilde{U}(t),$$

где

$$\tilde{A} = \begin{vmatrix} A_0 & 0 \\ -C & 0 \end{vmatrix}, \quad \tilde{B} = \begin{vmatrix} B \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Примем вначале  $y_3(t) = 0$  и при синтезе робастного регулятора учитывать не будем.

Решив для этой системы задачу синтеза робастного регулятора, найдем оптимальное управление  $\tilde{u}(t) = -\tilde{F}\tilde{x}(t)$ . Тогда замкнутая система, с учетом задающего воздействия  $y_3(t)$ , будет описываться уравнением состояния

$$\dot{\tilde{x}}(t) = \tilde{\tilde{A}}\tilde{x}(t) + \tilde{\tilde{B}}y_3(t), \text{ где}$$

$$\tilde{\tilde{A}} = \tilde{A} - B\tilde{F}, \quad \tilde{\tilde{B}} = \|0: 1\|^T.$$

Нетрудно показать, что в установившемся режиме, т.е. при  $t \rightarrow \infty$ ,  $y(t) = y_3(t)$ . Таким образом, система становится астатической по вектору регулируемых координат. Отметим, что при этом также обеспечивается астатизм регулируемой координаты и по возмущающему воздействию [5-7].

Рассмотрим стандартную форму уравнения состояния, вектора контролируемых параметров  $\bar{Z}(t)$  и вектора измеряемых переменных  $\bar{Y}(t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= A\bar{X}(t) + B_1\bar{W}_1(t) + B_2\bar{U}(t) \\ \bar{Z}(t) &= C_1\bar{X}(t) + D_{11}\bar{W}_1(t) + D_{12}\bar{U}(t) \\ \bar{Y}(t) &= C_2\bar{X}(t) + D_{21}\bar{W}_1(t) + D_{22}\bar{U}(t) \end{aligned}$$

Введем компоненты вектора внешних воздействий  $\bar{W}_1(t)$  в следующем виде: заданные значения скорости вращения приводного механизма  $V_3(t)$  и натяжения обмоточной ленты  $S_3(t)$ , а также помехи  $f_1(t), f_2(t)$  измерения ошибок  $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$  регулирования скорости вращения приводного механизма:  $\varepsilon_1(t) = V_3(t) - V_H(t)$ , и натяжения обмоточной ленты:  $\varepsilon_2(t) = S_3(t) - S(t)$ , а также помехи  $f_3(t), f_4(t)$  измерения переменных состояния интеграторов  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$ . При этом вектор внешних воздействий примет следующий вид:

$$\bar{W}(t) = \{V_3(t), S_3(t), f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)\}^T.$$

Компонентами вектора управления  $\bar{U}(t)$  являются сила приводного механизма  $F(t)$  и напряжение на входе тормозного механизма  $U(t)$  так, что

$$U(t) = \{F(t), u(t)\}^T$$

Компонентами вектора контролируемых переменных  $\bar{Z}(t)$  примем ошибки  $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$  регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты, переменные  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$  состояния интеграторов, а также управляющие воздействия  $F(t)$  и  $U(t)$ . При этом вектор контролируемых переменных имеет следующий вид:

$$\bar{Z}(t) = \{\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), Z_1(t), Z_2(t), F(t), U(t)\}^T.$$

Компонентами вектора измеряемых переменных  $\bar{Y}(t)$  примем измеренные  $\varepsilon_{1U}(t), \varepsilon_{2U}(t)$  с помехами  $f_1(t), f_2(t)$  ошибки  $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$  регулирования скорости вращения приводного механизма  $V_{II}(t)$  и натяжения обмоточной ленты  $S(t)$  так, что:

$$\varepsilon_{1U}(t) = \varepsilon_1(t) + f_1(t),$$

$$\varepsilon_{2U}(t) = \varepsilon_2(t) + f_2(t),$$

а также измеренные  $Z_{1U}(t)$  и  $Z_{2U}(t)$  с помехами  $f_3(t), f_4(t)$  переменные состояния  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$  интеграторов так, что:

$$Z_{1U}(t) = Z_1(t) + f_3(t),$$

$$Z_{2U}(t) = Z_2(t) + f_4(t),$$

и, следовательно, вектор измеряемых переменных  $\bar{Y}(t)$  примет следующий вид:

$$\bar{Y}(t) = \{\varepsilon_{1U}(t), \varepsilon_{2U}(t), Z_{1U}(t), Z_{2U}(t)\}^T.$$

Для синтеза робастного регулятора необходимо определить такой динамический блок, заданный матрицами  $A_p, B_p, C_p, D_p$ , входом которого является измеряемый вектор исходной системы  $\bar{y}(t)$ , а выходом является вектор управления  $\bar{u}(t)$  исходной системы

$$\frac{d\bar{x}_p}{dt} = A_p \bar{x}_p + B_p \bar{y}$$

$$\bar{u} = C_p \bar{x}_p + D_p \bar{y}$$

Подставив в уравнение состояния исходной системы управление, сформированное с помощью регулятора, а в уравнение состояния регулятора подставив управление регулятора в виде вектора измеряемых координат исходной системы, получим следующие уравнения.

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = A\bar{x} + B_1\bar{w} + B_2[C_p\bar{x}_p + D_p[C_2\bar{x} + D_{21}\bar{w}]]$$

$$\bar{z} = C_1\bar{x} + D_{12}[C_p\bar{x}_p + D_p[C_2\bar{x} + D_{21}\bar{w}]]$$

$$\frac{d\bar{x}_p}{dt} = A_p \bar{x}_p + B_p [C_2 \bar{x} + D_{21} \bar{w}]$$

После преобразования получим

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = (A + B_2 D_p C_2) \bar{x} + B_2 C_p \bar{x}_p + (B_1 + B_2 D_p D_{21}) \bar{w}$$

$$\frac{d\bar{x}_p}{dt} = B_p C_2 \bar{x} + A_p \bar{x}_p + B_p D_{21} \bar{w}$$

$$\dot{\bar{z}} = (C_1 + D_{12} C_2) \bar{x} + D_{12} C_p \bar{x}_p + D_{12} D_p D_{21} \bar{w}$$

Запишем эти уравнения в блочном виде

$$\begin{bmatrix} \frac{d\bar{x}}{dt} \\ \frac{d\bar{x}_p}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + B_2 D_p C_2 & B_2 C_p \\ B_p C_2 & A_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 + B_2 D_p D_{21} \\ B_p D_{21} \end{bmatrix} \bar{w}$$

$$\dot{\bar{z}} = \begin{bmatrix} C_1 + D_{12} C_2 & D_{12} C_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} + D_{12} D_p D_{21} \bar{w}$$

Тогда уравнение состояния исходной системы, замкнутой этим регулятором, в расширенном пространстве состояний  $\bar{x}_3(t) = \{\bar{x}^T(t), \bar{x}_p^T(t)\}^T$  и уравнение вектора контролируемых переменных примут следующий вид

$$\frac{d\bar{x}_3}{dt} = A_3 \bar{x}_3 + B_3 \bar{w}$$

$$\bar{z} = C_3 \bar{x}_3 + D_3 \bar{w}$$

где соответствующие матрицы равны

$$A_3 = \begin{bmatrix} A + B_2 D_p C_2 & B_2 C_p \\ B_p C_2 & A_p \end{bmatrix} \quad B_3 = \begin{bmatrix} B_1 + B_2 D_p D_{21} \\ B_p D_{21} \end{bmatrix}$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} C_1 + D_{12} C_2 & D_{12} C_p \end{bmatrix} \quad D_3 = D_{12} D_p D_{21}$$

Тогда может быть найдена матрица передаточных функций  $W_3(s)$  вектора контролируемых параметров  $\bar{z}(t)$  по вектору внешних воздействий  $\bar{w}(t)$  для замкнутой системы.

$$W_3(s) = C_3 (sI - A_3)^{-1} B_3 + D_3$$

Целью синтеза робастного регулятора является минимизация максимального значения следа матрицы амплитудно – частотных характеристик матричной передаточной функции  $W_3(s)$  вектора контролируемых параметров  $\bar{z}(k)$  по вектору внешних воздействий  $\bar{w}(k)$ . Необходимо найти такой регулятор с матричной передаточной функцией  $w_p(s)$ , который бы минимизировал  $H^\infty$  норму

$$J = \min_{w_p} \max_{-\infty < \omega < \infty} \text{trace}[W^*(-j\omega)W(j\omega)]$$

Синтез регулятора, минимизирующего  $H^\infty$  – норму, сводится к нахождению собственных значений матриц Гамильтона по управлению

$$H_\infty = \begin{bmatrix} A & \gamma^{-2}B_1B_1^T - B_2B_2^T \\ -C_1^TC_1 & -A^T \end{bmatrix},$$

и по фильтрации

$$J_\infty = \begin{bmatrix} A^T & \gamma^{-2}C_1^TC_1 - C_2^TC_2 \\ -B_1B_1^T & -A \end{bmatrix},$$

что соответствует решению уравнений Риккати по управлению:

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2B_2^T - \gamma^2 B_1B_1^T) X_\infty + C_1^TC_1 = 0$$

и по фильтрации:

$$AY_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty (C_2^TC_2 - \gamma^2 C_1^TC_1) Y_\infty + B_1B_1^T = 0$$

На рис.1 показаны переходные процессы скоростей вращения приводного двигателя а) и приводного механизма б) системы с робастным регулятором по заданию на регулятор скорости для трех рассматриваемых радиусов размотки. Установившиеся значения скоростей приводного механизма и приводного двигателя равны заданному значению скорости.

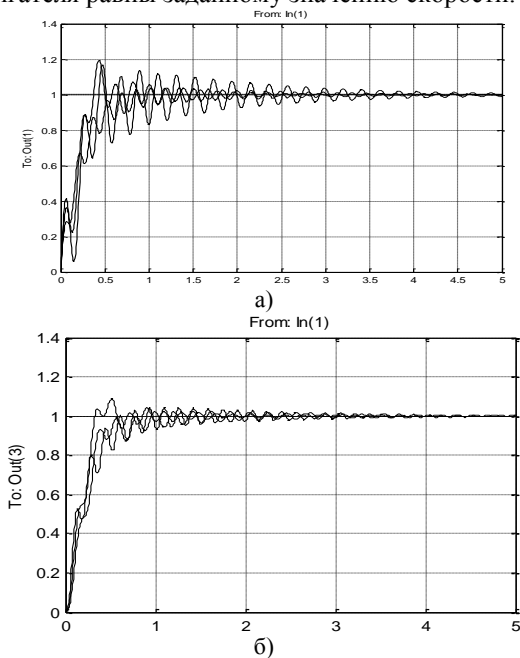


Рис. 1. Переходные процессы скорости приводного двигателя а) и приводного механизма б) в робастной системе управления бумагообмотчика ИЖ – 32.

**Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления.** Таким образом, подбирая матрицы в исходной системе удалось получить приемлемые показатели качества переходных процессов как по заданию на регулятор скорости приводного механизма, так и на регулятор регулятор натяжения обмоточной ленты.. Установившиеся значения скоростей вращения приводного механизма и приводного двигателя по заданию на регулятор скорости равны задающему воздействию, а по заданию на регулятор натяжения эти скорости – равны нулю. Установившееся значение натяжения по заданию на регулятор натяжения равно заданному значению натяжения. Подбирая величину параметра  $\gamma$  при синтезе робастных регуляторов удалось получить практически одинаковые переходные процессы для всех радиусов размотки кружка с лентой при использовании регулятора и наблюдателя, синтезированного для среднего радиуса размотки. В целом величина параметра  $\gamma$  характеризует толерантность синтезированного робастного регулятора к изменению параметров обмоточной машины как объекта управления. Следует заметить, что при больших форсировках переходных процессов [8-9] путем надлежащего выбора весовых матриц в исходной задаче робастного управления удастся получить достаточно высокое быстродействие системы, однако при этом не удастся подобрать величину параметра  $\gamma$ , при котором система сохраняет устойчивость во всем диапазоне изменения параметров обмоточной машины как объекта управления с синтезированным робастным регулятором для среднего радиуса размотки кружка обмоточной ленты.

**Список литературы:** 1. *Никитина Т.Б.* Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизация виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65. 2 *Никитина Т.Б.* Синтез цифровых нелинейных многоканальных систем управления. //Автоматизация виробничих процесів. Київ. - 2005. - №2 (21) .С.115-121. 3. *Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В.* Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с. 4. *Куценко А.С., Никитина Т.Б.* Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе. Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. с.17 – 25. 5. *Никитина Т.Б.* Приближенно оптимальное цифровое управление электроприводами с аналитическими нелинейностями. //Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Харьков: НТУ «ХПИ».- 2003. - №10. Т1. - С.321-322. 6. *Никитина Т.Б.* Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизация виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65. 7. *Никитина Т.Б.* Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131. 8 *Никитина Т.Б.* Ограничение динамических нагрузок в нелинейной системе совместного управления главными приводами блюминга с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2006. - №9 - С. 95 – 102. 9. *Никитина Т.Б.* Ограничение нагрузок в нелинейных многоканальных системах с оптимальным управлением. //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. Київ. 2006. С. 90 – 92.

*Поступила в редколлегию 14.06.06*

**Б.В. САМОРОДОВ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫБОР АДАПТИВНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРЯМОГО ПОИСКА ПРИ СИНТЕЗЕ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ**

На прикладі альтернативного варіанту автотракторної трансмісії проведено аналіз ефективності та рекомендовані найбільш адаптивні оптимізаційні методи прямого пошуку у процесі синтезу гідрооб'ємно-механічних трансмісій.

*By the example of the alternative version of the auto-tractor transmission the analysis of efficiency is carried out and the most adaptive optimization methods of direct search during synthesis of hydrovolume-mechanical transmissions are recommended.*

Применение регулярных методов оптимизации позволяет решать задачу по определению оптимальных передаточных отношений редукторов, внутренних передаточных отношений планетарных механизмов, то есть вектора конструктивных параметров по критерию максимального среднеинтегрального КПД гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ). Серьезный научный интерес представляет собой вопрос: какие методы оптимизации нулевого порядка наиболее эффективны и могут быть рекомендованы к использованию в процессе параметрического синтеза ГОМТ с учетом специфики трансмиссионных задач.

В последние 30 лет в области исследования трансмиссий за исключением редких работ [1, 2, 4, 5, 6, 8] практически не применялись регулярные методы оптимизации как инструмент, который мог бы способствовать постановке и решению задачи выбора наилучших конструктивных параметров ГОМТ по соответствующим критериям качества.

Научный интерес представляет анализ эффективности и выбор наиболее адаптивных оптимизационных методов прямого поиска в процессе синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий.

В работе [7] предложена технология синтеза основных конструктивных параметров по критерию наивысшего среднеинтегрального КПД на примере двухпоточной ГОМТ перспективного лесотехнического трактора:

$$W_{\eta} = \frac{1}{V_2 - V_1} \int_{V_1}^{V_2} \eta(\Gamma, V, q, f) dV, \quad (1)$$

где  $\eta(\Gamma, V, q, f)$  – закон изменения КПД ГОМТ как функции собственного вектора  $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$  конструктивных варьируемых параметров, и рабочего объема гидромашин  $q$ ;  $V_1, V_2$  – минимальная и максимальная рабочие эксплуатационные скорости;  $f$  – наиболее вероятный коэффициент сопротивления движению в интервале рабочих скоростей  $V \in [V_1; V_2]$ .

На рис. 1 представлен альтернативный вариант кинематической схемы ГОМТ №2 для трактора, с обозначением угловых скоростей на звеньях трансмиссии, а также передаточных отношений ее элементов.

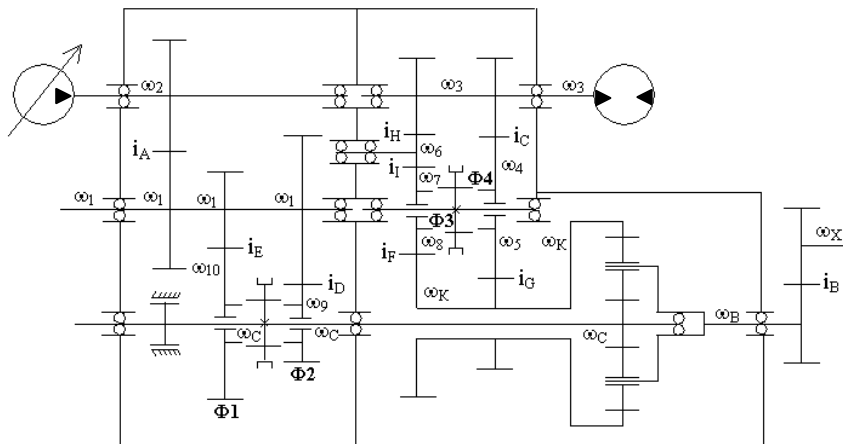


Рис. 1 Кинематическая схема ГОМТ №2

Регулировочная характеристика (РХ) ГОМТ №2 представлена на рис. 2.

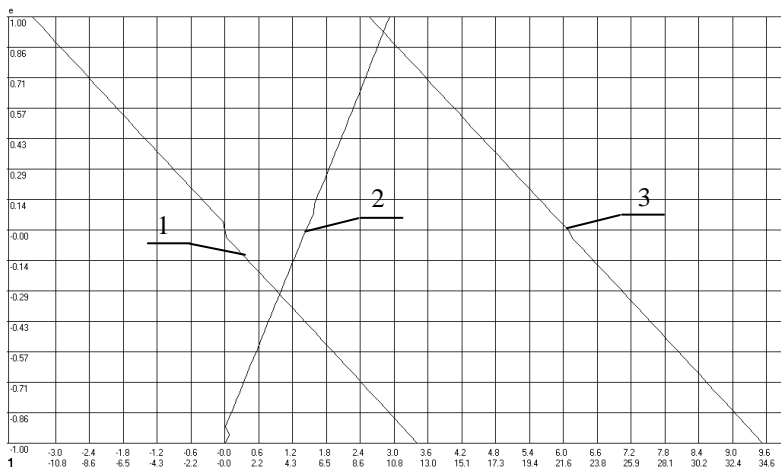


Рис. 2. Регулировочная характеристика ГОМТ №2

На рис. 2 первый скоростной диапазон реализуется нереверсивной РХ–2. Причем при  $\epsilon \in [-1,0]$  ГОМТ №2 работает в режиме циркуляции мощности с обратным потоком мощности через ГОП, а при  $\epsilon \in [0,+1]$  ГОП работает в прямом потоке мощности. РХ–3 соответствует второй транспортному

диапазону, здесь в режимах  $e \in [+1,0]$  на втором транспортном диапазоне в ГОМТ №2 имеет место циркуляция мощности и обратный ее поток через ГОП, а при  $e \in [0,-1]$  – параллельная передача мощности по гидравлической и механической ветвям трансмиссии. РХ-1 соответствует третьему скоростному диапазону, который является реверсивным диапазоном переднего и заднего хода.

Первый рабочий скоростной диапазон, рассчитанный на реализацию тягового усилия до 14 кН, реализуется включением фрикционов Ф1 и Ф4 при выключенных Ф2, Ф3 и Т. Поток мощности от двигателя раздваивается. С вала 1 (от двигателя) через редуктор  $i_A$  мощность проходит через регулируемый гидронасос 2, нерегулируемый гидромотор 3 и с его вала 4 через замкнутый фрикцион Ф4 и редукторы  $i_C$  и  $i_G$  поступает на коронную шестерню 7 суммирующего планетарного ряда. Второй поток мощности от двигателя с вала 1 через замкнутый фрикцион Ф1 и редуктор  $i_E$  поступает на солнечную шестерню планетарного ряда.

Второй транспортный диапазон предназначен для перемещения трактора со скоростями до 30-34 км/ч при коэффициенте сопротивления движению до 0.05. Второй скоростной диапазон обеспечивается включением фрикционов Ф2 и Ф3 и выключением Ф1, Ф4 и тормоза Т. Мощность по гидравлической ветви с вала 1 двигателя через редуктор  $i_A$  передается на ГОП (2,3) и далее через замкнутый фрикцион Ф3, редуктор  $i_H$ ,  $i_I$  и  $i_F$  на коронную шестерню 7 планетарного ряда. Механический поток мощности проходит через замкнутый фрикцион Ф2 и редуктор  $i_D$  на солнечную шестерню 10. Оба потока мощности алгебраически суммируются на водиле 8 и передаются далее на ведущие колеса через бортовой редуктор  $i_B$ .

Третий скоростной диапазон — достигается включением фрикциона Ф4 и тормоза Т при выключенных фрикционах Ф1, Ф2 и Ф3. Этот диапазон с перерегулированием ГОП введен для расширения функциональных возможностей трактора и удобства управления. Процесс перерегулирования заключается в том, что при переходе с конца первого или с начала второго диапазона на реверсивный третий диапазон, сопровождается изменением параметра регулирования ГОП  $e$  с  $+1$  до  $-1$ . Это изменение в процессе переключения диапазонов должно происходить достаточно быстро в ручном режиме или с помощью автоматики.

На рис. 3 представлены результаты параметрического синтеза ГОМТ №2 с использованием оптимизационных процедур [3, 10] Хука-Дживса, Розенброка, деформируемого многогранника (метода Нелдера-Мида), Пауэлла, симплекса на «жалее» [9], метода «компаса», метода комплексов.



	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	ii	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.000026	956
Deformable polyhedron method	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.000702	29993
Pauei method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	75529.093	60008
Kompas method	-0.136	-0.242	-3.617	-0.645	-0.155	1.061	-0.072	-4.842	0.110	-4.339	0.000124	7414
Complex method	0.025	0.100	-5.021	1.276	-1.341	-1.525	-1.529	-4.454	-2.356	-4.094	1358.3053	1923

а)  $V1_{max} = 9.5$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	ii	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000000	715
Rosenbroks method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.350	0.000052	646
Deformable polyhedron method	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.000280	27939
Pauei method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000055	694
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	75243.258	60008
Kompas method	-0.377	-0.032	-5.024	-5.026	-1.441	-5.024	-0.149	-0.530	-0.541	-4.498	12.588303	60028
Complex method	0.027	0.100	-3.368	0.758	0.171	-4.343	-2.088	-1.703	-1.525	-1.547	28.386921	3241

б)  $V1_{max} = 10$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	ii	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000100	405
Rosenbroks method	-0.387	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000135	380
Deformable polyhedron method	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.000314	28001
Pauei method	-0.387	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000135	404
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	74958.423	60008
Kompas method	-0.199	-0.247	0.121	-0.520	-0.135	2.320	1.697	-0.392	0.420	-3.293	0.000024	3488
Complex method	0.025	0.100	-0.808	1.778	0.374	-2.407	-1.971	-1.525	-2.873	-4.447	71.744976	2556

в)  $V1_{max} = 10.5$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	ii	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	390
Rosenbroks method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	365
Deformable polyhedron method	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.000775	27733
Pauei method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	389
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	74674.588	60008
Kompas method	-0.102	-0.349	0.169	-0.387	-0.104	2.379	1.756	-0.382	0.563	-3.453	0.000049	3380
Complex method	0.042	0.100	-0.709	0.781	0.210	-1.915	-4.504	-1.542	-1.866	-1.573	0.006796	1570

г)  $V1_{max} = 11$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч

Рис. 3. Сводные результаты применения методов оптимизации нулевого порядка при определении оптимальных векторов конструктивных параметров  $\Gamma^*$  для ГОМТ №1

На рис.4 показаны результаты исследования эффективности методов оптимизации нулевого порядка, в случае, когда для трех указанных методов меняется величина начального ребра симплекса  $a$  ( $a = 1$  на рис.4а, б, в, г и  $a=0.1$  на рис.4д).

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.432	0.100	-0.750	1.270	0.305	1.645	0.283	0.528	0.525	-3.342	0.000409	897
Deformable polyhedron method	0.635	0.101	0.512	1.265	0.304	1.054	0.279	-0.237	1.236	-3.354	0.000244	26726
PaueI method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	-0.565	-0.068	-0.881	-1.716	-0.425	-0.803	-0.285	-0.803	-0.803	-2.976	0.159091	15871
Kompas method	-0.660	-0.461	-0.173	-0.279	-0.067	-0.347	-0.173	1.162	0.160	-3.410	0.000119	7908
Complex method	0.025	0.100	-0.862	0.962	0.221	-4.481	-4.519	-1.529	-1.767	-2.270	31.132795	5821

а)  $V1_{max} = 9.5$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч,  $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.407	0.100	-0.721	1.294	0.323	1.722	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000000	718
Rosenbroks method	-0.407	0.100	-0.721	1.288	0.322	1.714	0.328	0.525	0.525	-3.350	0.000035	351
Deformable polyhedron method	0.643	0.101	0.536	1.279	0.320	0.937	0.275	-0.246	1.285	-3.359	0.000309	26897
PaueI method	-0.407	0.100	-0.721	1.294	0.324	1.722	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000144	694
Sting method	-0.530	-0.070	-0.897	-1.731	-0.454	-0.804	-0.308	-0.804	-0.804	-3.063	0.295987	16690
Kompas method	-0.184	-0.271	0.168	-0.401	-0.100	3.117	1.212	-0.330	0.395	-2.673	0.000013	3618
Complex method	0.026	0.100	-1.387	0.740	0.176	-3.758	-3.406	-1.873	-1.528	-1.500	3.977076	6103

б)  $V1_{max} = 10$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч,  $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.386	0.101	-0.721	1.294	0.335	1.744	0.359	0.525	0.525	-3.353	0.000084	405
Rosenbroks method	-0.387	0.100	-0.721	1.304	0.338	1.759	0.362	0.525	0.525	-3.348	0.000000	353
Deformable polyhedron method	0.695	0.094	0.485	1.315	0.341	0.892	0.322	-0.292	1.114	-3.142	0.000291	21947
PaueI method	-0.387	0.101	-0.721	1.294	0.335	1.744	0.359	0.525	0.525	-3.353	0.000114	404
Sting method	-0.605	-0.072	-0.861	-1.680	-0.431	-0.761	-0.280	-0.761	-0.761	-2.990	0.042665	14766
Kompas method	-0.234	-0.456	0.037	-0.302	-0.078	3.145	2.522	-0.120	0.456	-3.592	0.000061	11448
Complex method	0.025	0.100	-0.884	1.638	0.420	-3.020	-4.315	-1.525	-1.565	-4.455	0.087310	3232

в)  $V1_{max} = 10.5$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч,  $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.366	0.102	-0.721	1.291	0.346	1.770	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000041	390
Rosenbroks method	-0.366	0.100	-0.721	1.320	0.354	2.049	0.400	0.461	0.529	-3.348	0.000620	357
Deformable polyhedron method	0.782	0.134	0.364	0.967	0.259	1.214	0.278	-0.185	0.777	-3.279	0.000759	23787
PaueI method	-0.366	0.102	-0.721	1.291	0.346	1.770	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000041	389
Sting method	-0.501	-0.080	-0.851	-1.531	-0.416	-0.772	-0.322	-0.772	-0.772	-3.028	0.055524	14505
Kompas method	-1.083	-0.029	-4.278	-5.025	-2.489	-0.854	-0.117	-5.025	-0.136	-4.500	63.196404	60052
Complex method	0.025	0.100	-0.588	0.770	0.169	-2.627	-1.534	-3.995	-1.525	-1.500	134.047571	3970

г)  $V1_{max} = 11$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч,  $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.000026	956
Deformable polyhedron method	0.539	0.105	0.381	1.519	0.365	1.311	0.400	-0.379	0.661	-4.452	0.000284	31726
PaueI method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	0.835	-0.228	-0.268	-0.526	-0.127	0.617	0.181	-0.393	-0.435	-3.100	0.003115	19660
Kompas method	-0.437	-0.027	-5.024	-5.023	-2.543	-0.539	-0.135	-0.548	-5.026	-4.498	53.685382	60010
Complex method	0.038	0.100	-1.480	1.607	0.387	-1.547	-1.539	-2.079	-1.527	-4.500	0.003096	3690

д)  $V1_{max} = 9.5$  км/ч,  $V2_{max} = 30$  км/ч,  $a = 0.1$

Рис.4. Сравнение симплекс – методов для ГОМТ №2 с меньшим размером ребра начального симплекса

Для определенности рассмотрены четыре пилообразных регулировочных характеристики с разными максимальными скоростями

движения трактора на 1-ом рабочем диапазоне (9.5 км/ч, 10 км/ч, 10.5 км/ч и 11 км/ч) и одинаковой максимальной скоростью (30 км/ч) на втором транспортном диапазоне. Во всех случаях и для всех методов оптимизации начальный вектор конструктивных параметров был одинаков  $\Gamma(i_A, i_B, i_C, i_D, i_E, i_F, i_G, i_H, i_I, k_1) = \Gamma(0,784; 0,10; 0,353; 1,286; 0,329; 1,0; 0,376; 0,50; 0,50; -3,347)$ . Критерий оптимизации  $W_{\eta} = f^*$  и число  $N$  обращений в том или ином методе оптимизации в процессе минимизации функционала (1) для каждого метода показаны в колонках 7 и 8 соответственно на рис 3.

Метод Хука-Дживса, метод Розенброка и метод Пауэлла дают очень близкие вектора конструктивных параметров, то есть обеспечивают функционалу (1) один и тот же локальный минимум.

Метод комплексов с учетом своей вероятностной основы не дает стабильных результатов для ГОМТ №2. Метод деформируемого многогранника, не смотря на большое число итераций, дает устойчивое решение задачи синтеза ГОМТ №2 и при этом в отличие от методов Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла дает качественно другой собственный вектор конструктивных параметров, меняя не только значения передаточных отношений, но и знаки у некоторых из них, что на практике означает введение промежуточных «паразитных» шестерен.

Нестабильно работает метод «компас» – на одной из четырех РХ (рис.36) метод не обеспечивает кинематической стыковки скоростных диапазонов ( $f^* = 12.58$ ). В методах Нелдера-Мида, симплекса на «жале» (Sting method), а также в методе «компас» размер ребра начального регулярного симплекса выбирался равным 2.

Стабильно работает метод Нелдера-Мида, несколько улучшается работа метода симплекса на «жале» и метода «компас», однако для их эффективного использования, по-видимому, необходима специальная подстройка по величине начального симплекса, коэффициенту его уменьшения, который должен быть поставлен в соответствие с точностью, при достижении которой производится выход из итерационной оптимизационной процедуры.

Возвращаясь к рис.3, как уже было отмечено выше, метод деформируемого многогранника, не смотря на большое число итераций, дает устойчивое решение задачи синтеза ГОМТ №2.

На рис. 5 приведены сравнительные результаты параметрического синтеза трансмиссий ГОМТ №2, полученные при использовании разных оптимизационных процедур для трех типоразмеров ГОП (Зауэр №21, №22 и №23) и значения среднеинтегрального КПД. Исследование применимости гидромашин типа «Зауэр» различного рабочего объема проведено с целью выявить влияние разных типоразмеров гидромашин на значение критерия средне-интегрального КПД ГОМТ (1).

№	method	speed	gop_serie	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	KPD
1	H-D	9.5	Zauer №23	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.8669
2	H-D	9.5	Zauer №22	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.8429
3	H-D	9.5	Zauer №21	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.7956
4	Rozen	9.5	Zauer №23	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.8660
5	Rozen	9.5	Zauer №22	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.8412
6	Rozen	9.5	Zauer №21	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.7826
7	Nel-M	9.5	Zauer №23	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.7931
8	Nel-M	9.5	Zauer №22	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.7385
9	Nel-M	9.5	Zauer №21	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.6340
10	PaueI	9.5	Zauer №23	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.8660
11	PaueI	9.5	Zauer №22	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.8431
12	PaueI	9.5	Zauer №21	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.7878
13	Kompas	9.5	Zauer №23	-0.136	-0.242	-3.617	-0.645	-0.155	1.061	-0.072	-4.842	0.110	-4.339	0.5622
14	H-D	10	Zauer №23	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.8626
15	H-D	10	Zauer №22	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.8341
16	H-D	10	Zauer №21	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.7610
17	Nel-M	10	Zauer №23	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8248
18	Nel-M	10	Zauer №22	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8322
19	Nel-M	10	Zauer №21	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8274
20	H-D	10.5	Zauer №23	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.8561
21	H-D	10.5	Zauer №22	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.8134
22	H-D	10.5	Zauer №21	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.7346
23	Nel-M	10.5	Zauer №23	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8156
24	Nel-M	10.5	Zauer №22	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8297
25	Nel-M	10.5	Zauer №21	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8264
26	H-D	11	Zauer №23	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.8379
27	H-D	11	Zauer №22	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.8000
28	H-D	11	Zauer №21	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.7121
29	Nel-M	11	Zauer №23	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8062
30	Nel-M	11	Zauer №22	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8250
31	Nel-M	11	Zauer №21	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8289

Рис. 5. Сравнение результатов параметрического синтеза трансмиссии ГОМТ №2, полученных при использовании разных оптимизационных процедур (рис. 3) для трех типоразмеров ГОП и значения среднеинтегрального КПД

Сравнивая эти результаты, видно, что оптимальный вектор конструктивных параметров, найденный при помощи метода Нелдера-Мида, обеспечивает (в большинстве случаев) низший среднеинтегральный КПД (1) по сравнению с методами оптимизации Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла.

Обращает на себя внимание (рис. 5), что все три наиболее эффективных метода оптимизации – Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла – на максимальной скорости  $V_{1max} = 9.5$  км/ч дают практически одинаковый оптимальный вектор конструктивных параметров, который для ГОМТ №2 с ГОП типа «Заур» №23 обеспечивает трансмиссии наивысший среднеинтегральный КПД, равный 0.866 (строки 1, 4, 10 на рис. 5). Хорошо видно, что при уменьшении рабочего объема гидромашин для заданной РХ, значение среднеинтегрального КПД трансмиссии ГОМТ №2 с применением указанных выше методов падает.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно рекомендовать для использования в процессе параметрического синтеза ГОМТ методы Хука-Дживса, Розенброка, Пауэлла, а также с минимальной подстройкой метод Нелдера-Мида. Однако при этом в процессе параметрического синтеза ГОМТ по критерию максимального среднеинтегрального КПД должен учитываться рабочий объем гидромашин.

Вторым важнейшим выводом на основе проведенного исследования является вывод о том, что разные методы оптимизации в процессе параметрического синтеза ГОМТ могут приводить к разным собственным векторам конструктивных параметров. Это означает, что заданная РХ ГОМТ может быть реализована не одним вектором, а некоторым множеством собственных векторов конструктивных параметров. В этом смысле конструктор получает более широкие возможности для конструктивной реализации кинематической схемы разрабатываемой трансмиссии.

**Список литературы:** 1. Автоматизированное управление гидрообъемными трансмиссиями и механизмами поворота гусеничных машин: Монография / Е.Е. Александров, М.Д. Борисюк, Я.В. Грота, В.А. Кононенко. – Харьков: ХГПУ, 1995. – 176 с. 2. Александров Е.Е., Самородов В.Б. Проблемы многокритериальной оптимизации трансмиссий транспортных средств // В кн.: "Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века", т.1. – Донецк. – 1999. – С. 26 – 29. 3. Г. Реклейтис, А.Рейвиндран, К.Рээсдел. Оптимизация в технике. Кн. 1. Изд. "Мир", Москва 1986. 4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных транспортных машин / Александров Е.Е., Лебедев А.Т., Самородов В.Б. и др.-Харьков:ХГАДТУ, 2001. – 642 с. 5. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О.М. Бабаев, Л.И. Игнатов, Е.С. Кисточкин и др.:–Л.: Машиностроение, 1987.– 256 с. 6. Самородов В.Б. Алгоритм оптимизации параметров гидрообъемно-механических трансмиссий транспортных средств. // Прочностные динамические характеристики машин и конструкций, Пермь, ППИ, 1985. – С. 59 – 63. 7. Самородов В.Б., Самородов В.Б. Постановка задачи параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий для транспортных средств, выполняющих относительно стабильные технологические процессы. – Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2003. – № 1. С.112-118. 8. Самородов В.Б. Алгоритм оптимизации передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики гусеничной машины //Вісник ХДПУ. Збірник наукових праць.– Харків: ХДПУ.– 1999.–Вип 36. – С.135-140. 9. Самородов В.Б., Гужва В.А., Самородов В.Б. Метод симплекса на «жале» как модификация оптимизационных методов прямого поиска Спендли-Хекста-Химсворта и Нелдера-Мида. – Вісник НТУ «ХП» 36. наук. пр. Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХП». –2002. № 13. С. 79-86. 10. Химмельбау Д.М. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975.

*Поступила в редколлегию 16.11.06УДК 658.012.011.56*

**В. М. ЛЕВЫКИН**, д-р техн. наук, **М. С. КУДРЯВЦЕВА**, аспирант  
ХНУРЭ

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В роботі з застосуванням теорії нечітких множин розроблено моделі оцінок використання методів для діагностики порушень роботи трансформаторного обладнання, які дають можливість

оператору здійснити оцінку стану трансформаторного обладнання. З використанням механізму нечіткого виводу виконана процедура реалізації вибору методів діагностики порушень в основних елементах трансформаторного обладнання. Варіанти рішень, наведені з оцінками переваг і недоліків кожного методу, дозволяють співробітникам функціональних служб прийняти оптимальне рішення відносно доцільності застосування конкретного методу діагностики технологічного порушення.

## **Введение**

Анализ технологических нарушений электроэнергетического оборудования напряжением 35 кВ и выше свидетельствует о постоянном росте количества повреждений. За период с 1998г. по 2005г. 65 % технологических нарушений электроэнергетического оборудования связано с повреждением силовых, измерительных трансформаторов и шунтирующих реакторов, причем 20 % из них – из-за неправильных действий оперативного персонала и некачественно выполненного ремонта.

Изучение эксплуатационной документации электроэнергетического оборудования сотрудниками службы противоаварийной работы и технического надзора предприятий НЭК «Укрэнерго» показывает, что в большинстве случаев оборудование эксплуатируется с характеристиками, имеющими недопустимые отклонения от нормативных значений. При этом основными причинами повреждений оборудования выявлены: несвоевременное принятие мер по устранению дефектов, восстановлению характеристик и несоблюдение персоналом требований нормативно-технической документации [1].

## **Постановка задачи исследования**

Таким образом, получение оценки фактического состояния электроэнергетического оборудования по результатам диагностических измерений является сложной и актуальной задачей. Значительная часть оборудования выработала свой ресурс, но продолжает эксплуатироваться из-за недостатка финансовых средств на его замену. Соответственно, с каждым годом увеличиваются затраты на проведение комплексных обследований и диагностики.

Данная проблема ставит задачу получения новых моделей разработки вариантов решений, направленных на предупреждение аварийных режимов трансформаторного оборудования.

В качестве математического аппарата решения данной задачи предлагается использовать теорию нечеткой логики (математической формализации нечеткой информации). Целесообразность ее применения объясняется тем, что использование конкретного математического аппарата (интервального анализа, статистических методов, теории игр, детерминированных моделей) для принятия решений в условиях неопределенности позволяет отразить в модели только отдельные виды данных и приводит к безвозвратной потере информации других типов.

## **Анализ достижений и публикаций, в которых предложено решение данной проблемы**

Для анализа данной проблемы рассмотрена существующая «Экспертная система контроля и оценки состояния и условий эксплуатации трансформаторов» [2, 3].

В основу данной экспертной системы положен принцип системного подхода: на первом этапе используется метод декомпозиции общей проблемы оценки надежности трансформаторного оборудования по двенадцати основным направлениям, включающим в себя анализ полного спектра условий его эксплуатации и ремонта. На втором этапе все основные направления дополнительно декомпозированы на десять локальных подуровней. В результате такого подхода сформирована матрица, охватывающая сто двадцать локальных факторов, влияющих на состояние организации обеспечения надежности трансформаторов.

Экспертная система предполагает по каждому обследуемому направлению произвести оценку характеристик оборудования по шкале от 0 до 1,0. Таким образом, общая оценка состоит из части, в которой осуществляется проверка полноты выполнения нормативно-технической и рабочей документации, и части, в которой осуществляется сравнительная оценка экспертами состояния трансформаторов. Поэтому такая методика позволяет в достаточной степени объективно оценить ситуацию на энергопредприятии и обеспечить выработку решений и принятие мер, направленных на повышение уровня эксплуатации и надежности трансформаторов.

## **Выделение нерешенных вопросов общей проблемы, которым посвящена данная статья**

Однако, данная система предлагает только субъективную, хотя и комплексную, оценку состояния трансформаторного оборудования. В тоже время в ней не рассматривается целесообразность применения методов и средств диагностики и устранения выявленных технологических нарушений.

## **Изложение основного материала исследования**

Структурная модель нарушений трансформаторного оборудования и методов их диагностики представлена на рис. 1.

Данная структурная модель описывает взаимосвязь основных элементов трансформаторного оборудования, в которых, согласно анализу и исследованию технологических нарушений, наиболее часто происходят нарушения (вводы, обмотка, элементы магнитопровода, изоляция, контакты, маслонасос, устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), с альтернативными методами диагностики каждого нарушения (метод анализа трансформаторного масла, метод тепловизионного контроля, метод измерения частичных разрядов, метод электромагнитной локации зон

разрядных явлений, метод измерения изоляционных характеристик, метод вибродиагностики, метод контроля путем осциллографирования, диагностика с использованием комплекса программных и аппаратных средств).

Рассматриваемая задача диагностики трансформаторного оборудования предполагает полную информированность лица принимающего решение, поэтому вся информация о режимах функционирования трансформаторного оборудования, эффективности и предпочтительности одних методов его диагностики перед другими, о риске применения каждого метода должна быть преобразована к единой форме и представлена в виде функций принадлежности. Применение теории нечетких множеств позволяет свести воедино всю имеющуюся неоднородную информацию за счет введения понятия нечеткого множества как совокупности элементов, которые могут соответствовать этому множеству со степенью принадлежности от 0 до 1. Причем 0 обозначает абсолютную непринадлежность, а 1 – абсолютную принадлежность множеству [4, 5].

Пусть  $A$  – множество нарушений основных элементов трансформаторного оборудования:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_n\}, \quad (1)$$

Существует множество альтернативных методов  $B$  диагностики каждого нарушения  $a_k$ :

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_l, \dots, b_m\}, \quad (2)$$

Применение каждого метода для диагностики нарушения  $a_k$  можно оценить с помощью различных критериев  $C_k$ . Тогда для каждого критерия  $C_k$  может быть рассмотрено нечеткое множество [6]:



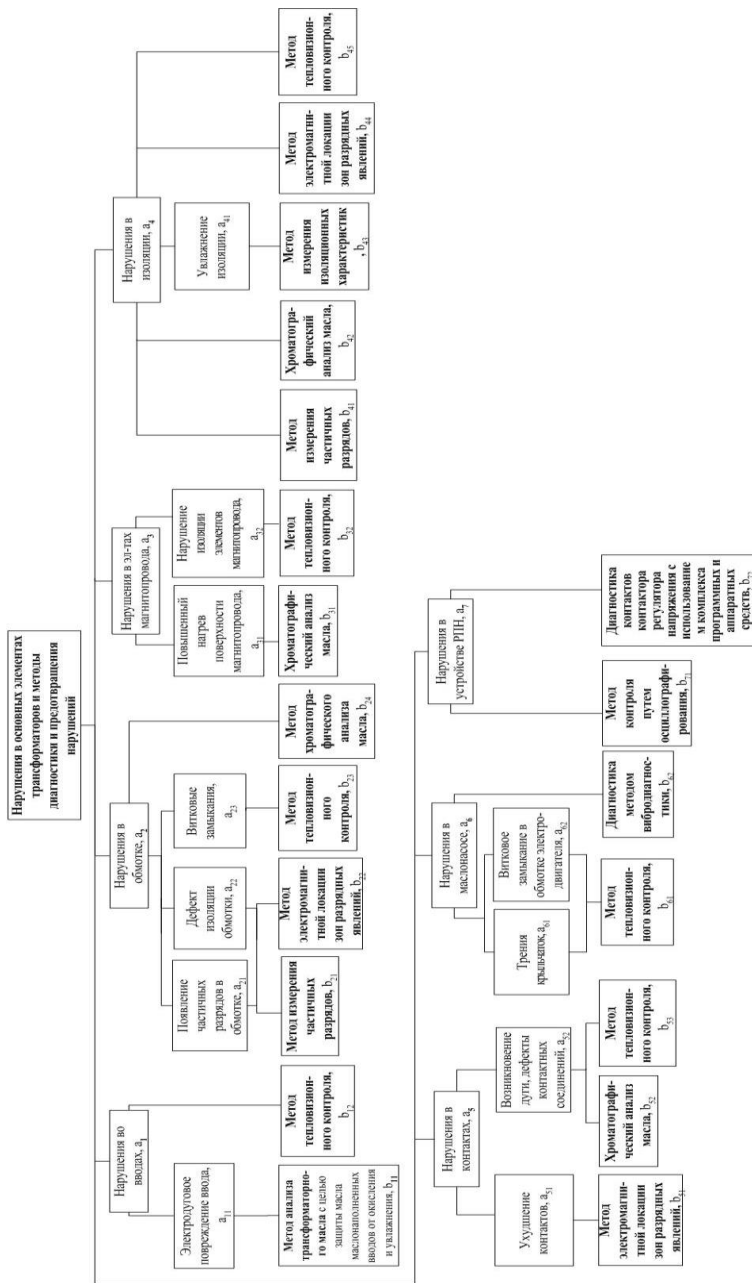


Рис. 1. Структурная модель нарушений трансформаторного оборудования и методов их диагностики

$$C_k = \{ \mu_c(b_1)/b_1, \mu_c(b_2)/b_2, \dots, \mu_c(b_i)/b_i, \dots, \mu_c(b_m)/b_m \}, \quad (3)$$

где  $\mu_c(b_i)$  – оценка метода  $b_i$  по критерию  $C_k$ , характеризующая степень соответствия каждого метода понятию, определенному критерием  $C_k$  (функция принадлежности, принимающая значения в некотором вполне упорядоченном множестве:  $\mu_c(b_i) \in [0,1]$ ).

Прежде всего, экспертам предлагается оценивать максимальные и минимальные возможные значения критериев методов в натуральных показателях, после чего эти значения переводятся в интервал  $[0, 1]$  выражением:

$$u_c = \frac{u_c - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}}, \quad (4)$$

где:  $u_c$ ,  $u_{\min}$ ,  $u_{\max}$  – соответственно оценка применения метода, ее минимальное и максимальное значения, определенные экспертами.

Тогда с учетом (3-4) модель оценки применения методов для диагностики нарушений работы трансформаторного оборудования  $L$  можно представить в виде следующей системы нечетких множеств:

$$L = \begin{cases} C_{a1} = \{ \mu_c(b_{11})/b_{11}, \mu_c(b_{12})/b_{12} \}, \\ C_{a2} = \{ \mu_c(b_{21})/b_{21}, \mu_c(b_{22})/b_{22}, \mu_c(b_{23})/b_{23}, \mu_c(b_{24})/b_{24} \}, \\ C_{a3} = \{ \mu_c(b_{31})/b_{31}, \mu_c(b_{32})/b_{32} \}, \\ C_{a4} = \{ \mu_c(b_{41})/b_{41}, \mu_c(b_{42})/b_{42}, \dots, \mu_c(b_{45})/b_{45} \}, \\ C_{a5} = \{ \mu_c(b_{51})/b_{51}, \mu_c(b_{52})/b_{52}, \mu_c(b_{53})/b_{53} \}, \\ C_{a6} = \{ \mu_c(b_{61})/b_{61}, \mu_c(b_{62})/b_{62} \}, \\ C_{a7} = \{ \mu_c(b_{71})/b_{71}, \mu_c(b_{72})/b_{72} \}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $b_{11}$  – метод анализа трансформаторного масла, обеспечивающий контроль масла маслонеполненных вводов от окисления и увлажнения;

$b_{12}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{32}$ ,  $b_{45}$ ,  $b_{53}$ ,  $b_{61}$  – метод тепловизионного контроля элементов трансформаторного оборудования (соответственно вводов, обмотки, магнитопровода, изоляции, контактов, маслонасоса);

$b_{21}$ ,  $b_{41}$  – метод измерения частичных разрядов элементов трансформаторного оборудования (соответственно обмотки, изоляции);

$b_{22}$ ,  $b_{44}$ ,  $b_{51}$  – метод электромагнитной локализации зон разрядных явлений элементов трансформаторного оборудования (соответственно обмотки, изоляции, контактов);

$b_{24}$ ,  $b_{31}$ ,  $b_{42}$ ,  $b_{52}$  – метод хроматографического анализа масла для определения нарушений в элементах трансформаторного оборудования (соответственно обмотки, магнитопровода, изоляции, контактов);

$b_{43}$  – метод измерения изоляционных характеристик;

$b_{62}$  – метод вибродиагностики маслонасоса;

$b_{71}$  – метод контроля путем осциллографирования устройства РПН;

$b_{72}$  – метод диагностики контактов контактора регулятора напряжения с использованием комплекса программных и аппаратных средств.

Для предотвращения аварийных режимов трансформаторного оборудования, разработан алгоритм действий оператора при выборе методов диагностики трансформаторного оборудования. Данный алгоритм представлен на рис. 2.

Для разработки вариантов решений по предотвращению аварийных режимов трансформаторного оборудования рассмотрим механизм нечеткого вывода на основании композиции двух нечетких отношений, в котором композиционное правило вывода задает закон реализации нечеткой модели выбора методов предотвращения нарушений трансформаторного оборудования.

Пусть  $x_i, z_j$  – переменные, между которыми существуют нечеткие причинные отношения  $r_{ij} = x_i \rightarrow z_j$ , которые можно представить в виде некоторой матрицы экспертных оценок  $R$  соответствия применяемых методов конкретному нарушению с элементами  $r_{ij}, r_{ij} \in [0,1]$ . Конкретные входы (нарушения в основных элементах оборудования)  $A$  между  $X$  и  $Y$  ( $X \times Y \rightarrow [0,1]$ ) и выходы (методы диагностики)  $B$  между  $Y$  и  $Z$  ( $Y \times Z \rightarrow [0,1]$ ) можно рассматривать как нечеткие множества на пространствах  $X$  и  $Z$  [7, 8].

Отношения этих множеств можно обозначить:

$$B = A \circ R, \quad (6)$$

где « $\circ$ » – оператор композиции нечетких множеств.

Тогда для процедуры нечеткого вывода функцию принадлежности можно представить:

$$\mu(A \circ R)_{(x,z)} = \sup_{y \in Y} [\mu^A_{(x,y)} \wedge \mu^R_{(y,z)}], \quad (7)$$

Данная операция выполняется как обычное произведение матриц, в которых операция поэлементного умножения заменяется на нахождение минимума, а суммирование – на нахождение максимума.



Рис. 2. Алгоритм действий оператора при выборе методов диагностики трансформаторного оборудования

Тогда с учетом (6-7) модель процедуры реализации выбора методов предотвращения нарушений трансформаторного оборудования может быть представлена в виде следующей системы Т:

$$T = \begin{cases} [b_{11} & b_{12}] = [a_1 & a_{11}] \circ R_1, \\ [b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24}] = [a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_2] \circ R_2, \\ [b_{31} & b_{32}] = [a_{31} & a_{32}] \circ R_3, \\ [b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45}] = [a_4 & a_4 & a_{41} & a_4 & a_4] \circ R_4, \\ [b_{51} & b_{52} & b_{53}] = [a_{51} & a_{52} & a_{52}] \circ R_5, \\ [b_{611} & b_{612} & b_{62}] = [a_{61} & a_{62} & a_6] \circ R_6, \\ [b_{71} & b_{72}] = [a_7 & a_7] \circ R_7, \end{cases} \quad (8)$$

где  $R_t$  – матрицы экспертных оценок эффективности методов диагностики нарушений трансформаторного оборудования. Матрица определяется сотрудниками функциональных служб исходя из оценок критериев применения каждого метода для диагностики нарушений.

$a_{11}$  – электродуговое повреждение ввода;  $a_{21}$  – появление частичных разрядов в обмотке;  $a_{22}$  – дефект изоляции обмотки;  $a_{23}$  – витковые замыкания;  $a_{31}$  – повышенный нагрев поверхности магнитопровода;  $a_{32}$  – нарушение изоляции элементов магнитопровода;  $a_{41}$  – увлажнение изоляции;  $a_{51}$  – ухудшение контактов;  $a_{52}$  – возникновение дуги, дефекты контактных соединений;  $a_{61}$  – трения крыльчаток;  $a_{62}$  – витковые замыкания в обмотке электродвигателя.

В качестве примера рассмотрим модель процедуры реализации выбора методов предотвращения нарушений в обмотке ( $a_2$ ). Для диагностики нарушений в обмотке могут использоваться метод измерения частичных разрядов, метод электромагнитной локации зон разрядных явлений, метод тепловизионного контроля, хроматографический анализ масла. С учетом (6) данная модель может быть представлена следующими матрицами:

$$[b_{21} \quad b_{22} \quad b_{23} \quad b_{24}] = [a_{21} \quad a_{22} \quad a_{23} \quad a_2] \circ \begin{bmatrix} 0,5 & 0,6 & 0,9 & 0 \\ 0,8 & 0,6 & 0,8 & 0 \\ 0,7 & 0,5 & 0,8 & 0 \\ 0,5 & 0,7 & 0,9 & 0 \end{bmatrix},$$

Для определения оценок методов транспонируем матрицы:

$$\begin{bmatrix} b_{21} \\ b_{22} \\ b_{23} \\ b_{24} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,8 & 0,7 & 0,5 \\ 0,6 & 0,6 & 0,5 & 0,7 \\ 0,9 & 0,8 & 0,8 & 0,9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \\ a_2 \end{bmatrix},$$

С учетом выражения (7), используя  $\max$ - $\min$  композицию для метода  $b_{21}$  имеем:

$$b_{21} = (0,5 \wedge a_{21}) \vee (0,8 \wedge a_{22}) \vee (0,7 \wedge a_{23}) \vee (0,5 \wedge a_2), \quad (9)$$

Предположим, что выявленное нарушение в обмотке  $a_{21}$ ,  $a_{21}=1$ , а остальные нарушения отсутствуют, т.е.  $a_{22}=0$ ,  $a_{23}=0$ ,  $a_2=0$ . Тогда значение применимости метода  $b_{21}=0,5$ . При выявленном нарушении  $a_{22}=1$  и отсутствии нарушений в других элементах значение применимости метода  $b_{21}=0,8$ .

Аналогично с учетом выражения (7) получим значения эффективности использования методов  $b_{22}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{24}$ :

$$b_{22} = (0,6 \wedge a_{21}) \vee (0,6 \wedge a_{22}) \vee (0,5 \wedge a_{23}) \vee (0,7 \wedge a_2),$$

при  $a_{21}=1$ ,  $a_{22}=0$ ,  $a_{23}=0$ ,  $a_2=0$ , оценка метода  $b_{22}=0,6$ ; при  $a_{22}=1$  оценка метода  $b_{22}=0,6$ ;

$$b_{23} = (0,9 \wedge a_{21}) \vee (0,8 \wedge a_{22}) \vee (0,8 \wedge a_{23}) \vee (0,9 \wedge a_2),$$

при  $a_{23}=1$ ,  $a_{21}=0$ ,  $a_{22}=0$ ,  $a_2=0$ , оценка метода  $b_{23}=0,8$ ;

$$b_{24} = (0 \wedge a_{21}) \vee (0 \wedge a_{22}) \vee (0 \wedge a_{23}) \vee (0 \wedge a_2),$$

при  $a_2=1$ ,  $a_{21}=0$ ,  $a_{22}=0$ ,  $a_{23}=0$ , оценка метода  $b_{24}=0$

Таким образом, при появлении частичных разрядов между витками обмотки трансформатора использование метода электромагнитной локализации зон разрядных явлений эффективнее, чем использование метода измерений частичных разрядов (значения показателей методов 0,6 и 0,5). При дефекте изоляции обмотки метод измерений частичных разрядов эффективнее метода электромагнитной локализации зон разрядных явлений (соответственно значения показателей методов 0,8 и 0,6). При витковых замыканиях достаточно эффективен метод тепловизионного контроля (значение показателя метода 0,8). Метод хроматографического анализа масла для определения нарушений в обмотке, по оценкам экспертов, полностью неэффективен (значение показателя метода 0).

Оператор, анализируя полученные варианты соответствия методов диагностики конкретным нарушениям, принимает решение о целесообразности применения методов диагностики. При необходимости он может добавлять новые методы диагностики оборудования и вводить соответствующие экспертные оценки.

### **Выводы из данного исследования**

В работе с применением теории нечетких множеств разработаны модели оценок применения методов для диагностики нарушений работы трансформаторного оборудования, которые дают возможность оператору

осуществить оценку состояния трансформаторного оборудования, что обеспечивает проведение работ по предотвращению нарушений в основных элементах трансформаторного оборудования.

С использованием механизма нечеткого вывода выполнена реализация процедуры выбора методов диагностики нарушений в основных элементах трансформаторного оборудования. Варианты решений, представленные с оценками преимуществ и недостатков каждого метода, позволяют сотрудникам функциональных служб принять оптимальное решение относительно целесообразности применения конкретного метода диагностики технологического нарушения.

Преимуществом разработанных моделей является их универсальность, т.к. они не зависят от формы представления нарушений в виде конкретных числовых значений или некоторой неопределённости, описываемой нечётким множеством.

**Список литературы:** 1 Огляд технологичних порушень в мережах НЕК «Укренерго» за 2005 рік. – К., 2006. – 30с. 2 Башлыков А.А., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. – М.: МЭИ, 1994. – 250с. 3 РД 153-34.3-46.304-00 Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения. – М.: Департамент генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей РАО "ЕЭС России", 2000. – 17с. 4 Новак В., Перфильева И. и др. Математические принципы нечеткой логики. – М.: Физматлит, 2006. – 352с. 5 Zimmermann H.-J. Fuzzy Set Theory and Its Applications. – Kluwer: Dordrecht, 1991. – 315р. 6 Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 143с. 7 Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с. 8 Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения. – Казань: Отечество, 2001. – 102с.

*Поступила в редколлегию 01.11.06*

**УДК 656.02**

**Є. В. НАГОРНИЙ**, д-р. техн. наук, професор, ХНАДУ

**О. В. ДОРОХОВ**, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ

## **ПОСЛІДОВНІСТЬ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМНИХ ЗАДАЧ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Розроблено схеми опрацювання проблемних ситуацій та математичного моделювання логістичних системних задач транспортних технологій. Запропоновано застосування системного підходу до взаємозв'язків суб'єктів, задач транспортного обслуговування, методів їх вирішення.

**Вступ**

На сучасному етапі розвитку конкурентного ринку транспортних послуг в Україні зростає необхідність методологічно та науково обґрунтованого

моделювання системних логістичних задач, спрямованих на якісне покращання транспортного сервісу.

### **Аналіз публікацій з системного підходу до транспортних технологій**

При вивченні діяльності суб'єктів транспортного обслуговування (ТО), зв'язків та взаємодії між ними слід розглядати ТО як систему в загальному сенсі теорії систем [1, 2, 3]. Її технічні, технологічні та організаційні складові елементи-підсистеми (рухомий склад, дороги, структури ремонту і сервісу, замовники послуг), пов'язані відповідними упорядкованими відносинами, дозволяють отримати властивості (здатність переміщувати вантажі та пасажирів), не притаманні елементам системи окремо. Однак, як відмічається в [4], залишаються недостатньо вивченими зв'язки підсистем.

Сучасний стан наукових досліджень в галузі ТО характеризується наявністю розриву між загальними, неформальними вимогами до системи ТО та формалізацією ряду положень відносно локальної оптимізації їх окремих ланок, запозичених із суміжних наукових дисциплін [5, 6]. Тому підвищення ефективності системи ТО можливе лише при використанні системного підходу, охоплення всіх ланок, складових частин та елементів ТО. Однак відповідні методи, алгоритми, методологічні та математичні підходи відсутні, або розробляються та використовуються недостатньо.

#### Ціль дослідження

Тому ціллю роботи було визначення послідовності опрацювання проблемних ситуацій та засобів моделювання за допомогою сучасних математичних методів системних задач покращання взаємодії учасників ТО .

#### *Структура, послідовність та методи моделювання системних задач удосконалення транспортних технологій*

В процесі моделювання системних задач ТО доцільно додержуватися певної послідовності опрацювання проблемних ситуацій та використання обраного математичного і методологічного інструментарію (рис. 1).



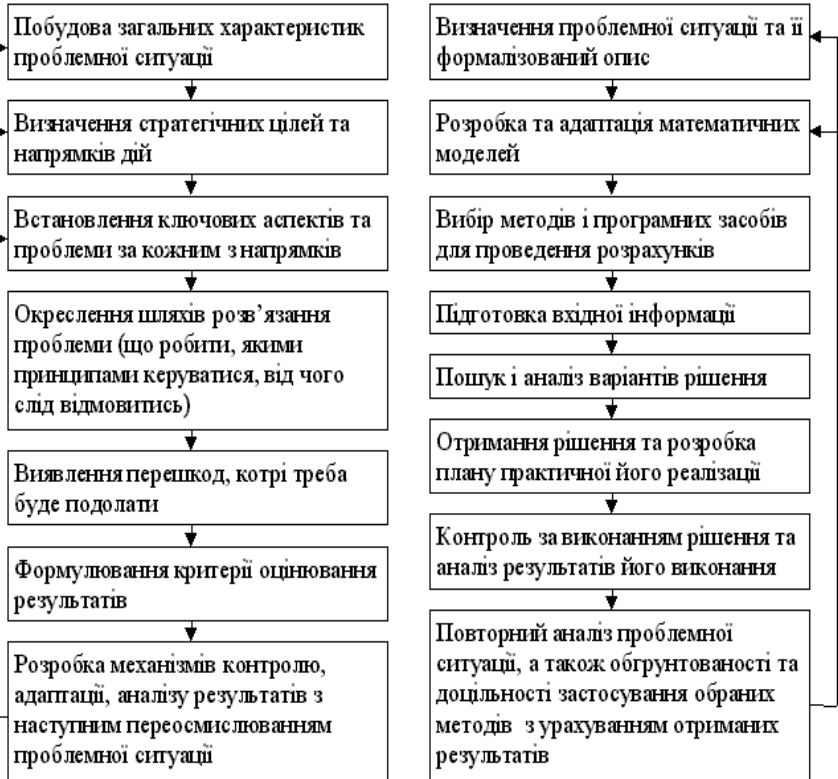


Рис. 1. Схема опрацювання проблемних ситуацій (зліва) та застосування математичного інструментарію (справа) в задачах ТО.

Для визначення складу найбільш важливих проблем ТО, що їх необхідно вирішувати з метою пошуку засобів і шляхів вдосконалення ТО в конкурентних ринкових умовах, раціоналізації та підвищення ефективності взаємодії споживачів і надавачів транспортних послуг, побудови та розробки відповідних моделей і математичних методів слід розглянути структурно-логістичну схему основних задач транспортних технологій (рис. 2).

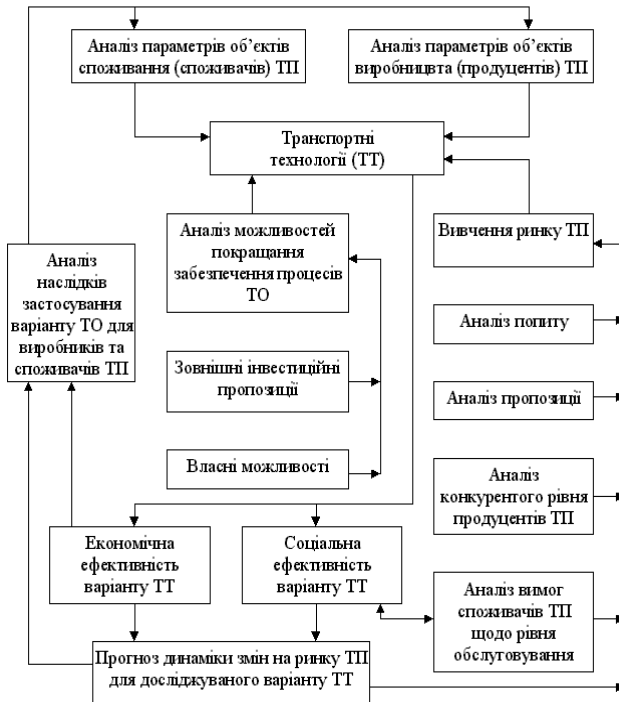


Рис. 2. Структурно-логічна схема задач

Її аналіз свідчить, що основна група системних задач в певному вигляді (формулюванні, інтерпретації, постановці) присутня в усіх елементах ТО, що підтверджує необхідність пошуку ефективних методів їх вирішення.

Це, зокрема, задачі аналізу та прогнозування на ринку ТО і сервісних послуг (структури, характеристик ринку, його складових, попиту, пропозиції, конкурентів, споживачів), взаємодії різних суб'єктів ринку ТО (видів транспорту, продуцентів і споживачів ТП, посередників), моделювання функціонування елементів системи ТО, вивчення рівня обслуговування (визначення, формалізація, аналіз його параметрів) споживачів ТП, багатокритеріальний аналіз на множині альтернатив (побудова, визначення, пошук та прийняття ефективних рішень) в умовах невизначеності та конкурентних умов на ринку ТО, створення та впровадження систем комплексного інформаційно-комп'ютерного забезпечення прийняття техніко-економічних рішень та організації управління для підприємств ТО.

Для розв'язування цих задач, створення та аналізу відповідних моделей, пропонується застосувати (як найбільш ефективні, адекватні реальним процесам на ринку ТО, придатні для кінцевої реалізації у вигляді комплексних комп'ютерних автоматизованих систем) методи системного аналізу,

нечіткого моделювання, прийняття рішень в умовах невизначеності, моделювання та оптимізації за допомогою нейронних мереж, математичної статистики і прогнозування, багатокритеріального вибору на множині альтернатив, ігрові, експертних оцінок, оптимізації та математичного програмування.

На завершальному (з точки зору створення та впровадження відповідного програмного забезпечення для ПЕОМ) етапі слід використати методи об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). При цьому доцільно, поряд з розробкою оригінального спеціалізованого програмного забезпечення, використати стандартне програмне забезпечення, як загального користування (Excel, VBA, інше), так і спеціалізоване (Matlab, Statistica, Statgraf, VBNet).

Для більшості задач можливим та дуже ефективним є саме поєднання як спеціально розроблених за оригінальними алгоритмами, так і стандартних блоків (підпрограм стандартного програмного забезпечення).

З огляду на необхідність додержання системного підходу, для розгляду наскрізних, комплексних, багатокрокових задач (враховуючи необхідність створення цілісного математичного, методологічного та алгоритмічного забезпечення для його застосування конкретним суб'єктом ринку ТО в реальних, практичних умовах) доцільно використати ряд добре розроблених та опробованих методів, з їх відповідною (при потребі) адаптацією та інтерпретацією. Зокрема це методи маршрутизації, класифікації, структуризації, сегментації, статистичні, експертних досліджень, інші.

Причинно-наслідкові зв'язки, співвідношення між суб'єктами (учасниками) ринку ТО, задачами і моделями удосконалення функціонування та взаємодії їх в умовах конкурентного середовища на ринку ТП, методами і алгоритмами їх розв'язування, представлені на рис. 3.

Стосовно пропонованих до дослідження задач треба підкреслити їх практичну наявність (в тій чи іншій формі, з урахуванням специфіки діяльності, цілей та засобів їх досягнення) для всіх основних суб'єктів системи ТО.

Ці задачі, з однієї сторони, ініціюються самими учасниками ринку ТО, з іншої – спрямовані на розгляд, вивчення, аналіз дій таких же самих продуцентів, посередників, споживачів ТП.



Рис. 3. Схема взаємозв'язків суб'єктів ТО,

Пропоновані для розв'язування цих задач математичні методи, моделі, алгоритми дозволяють враховувати специфіку відповідних суб'єктів ТО, а тому розробити ефективне, універсальне, гнучке, адаптоване до використання у виробничих умовах методологічне, алгоритмічне, програмне забезпечення.

- Серед принципів проведення досліджень слід звернути увагу на наступні:
- системність, тобто застосування системного підходу до розгляду елементів ТО при вирішенні відповідних задач його удосконалення;
  - науковість (посилення теоретико-математичних основ досліджень);
  - цілісність, що потребує розгляду учасників ТО, як різnorodних та різноякісних елементів, з орієнтацією на спільні результати взаємодії;
  - ефективність, що вимагає застосування методів, алгоритмів, створення програмних продуктів, котрі потребують мінімальних витрат та зусиль при розробці, впровадженні та практичній виробничій експлуатації;
  - надійність та стійкість, що передбачають забезпечення безвідмовності, довготривалості роботи розроблених програмних засобів в різних умовах експлуатації, високу швидкість та якість отримання результатів;
  - гнучкість і адаптивність, що забезпечує можливість застосування розроблених моделей, методик, алгоритмів в умовах невизначеності майбутніх ситуацій, коливань вхідних характеристик, параметрів і даних.

### *Висновки*

Таким чином, визначаючи послідовність та можливий склад проведення досліджень, їх можна розподілити на три напрямки. Перший складають визначені до дослідження логістичні задачі, відповідні моделі і методи для аналізу і прогнозування ринку ТО, удосконалення взаємодії виробників, посередників, споживачів ТП на ньому. Другий стосується поглибленого розгляду питань прийняття економіко-виробничих, управлінських рішень в умовах багакритеріальності альтернатив, невизначеності, нечіткості характеристик конкурентного транспортного середовища, дій, потреб, вимог суб'єктів ринку ТО. Третій містить дослідження методичних підходів, особливостей, ключових питань комп'ютерної реалізації розроблених алгоритмів, створення надійного комплексного програмного забезпечення для практичного використання підприємствами ТО і споживачами ТП.

**Список літератури:** 1. *Босов А.А., Дмитриева И.С., Шпак О.А.* Основная задача экономики транспорта. // Вісник СНУ, 2002.-С.189-195. 2. *Левковець П.Р.* Системні аспекти організації праці і управління виробництвом. К.:УТУ,-1998.-200 с. 3. *Нагорний Є.В., Черниш Н.Ю., Шраменко О.В.* Математична модель функціонування логістичного ланцюга доставки дрібнопартійних вантажів автомобільним транспортом // Автомоб. трансп.: Сб.науч.тр.-Х., 2003.-Вып.12.-С.8-10. 4. *Горяинов А.Н.* Влияние технико-эксплуатационных показателей работы автотранспорта на эффективность логистической системы. // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор.техн.ун-та.-2003.-Вып.21.-С.58-62. 5. *Туренко А.Н.* Современное состояние и пути развития транспорта. // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор.техн.ун-та.-2003.-Вып.22.-С.5-6. 6. *Нефедов Н.А., Нефедов В.Н.* Имитационное моделирование логистических систем. // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. техн. ун-та.-2003.-Вып.22.-С.28-29.

*Поступила до редколегії 20.10.06*

***С.В. КОВАЛЕНКО***

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ РЕМОНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС**

Розглядаються математичні постановки завдань планування оптимальних об'ємів ремонтів устаткування функціонально відособленої складної технічної системи та один із можливих підходів до їх рішення. Як об'єкт розглядається енергоблок АЕС. Моделі планування ремонтів будуються для технічних систем, що не відносяться до систем безпеки енергоблоку. Запропоновані версії моделей планування об'ємів ремонтів і наближені рішення задач, орієнтовані на застосування в автоматизованій системі управління ремонтами.

**Введение.** В настоящее время технология ежегодного восстановления работоспособности энергоблоков путем проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР) в атомной энергетике является обязательной. В этот период, который составляет 30 – 50 дней, выполняется основной объем ремонта оборудования в соответствии с требованиями нормативных документов. Практика эксплуатации и ремонтов энергоблоков показывает, что планирование ремонтов на основе строгого следования требованиям нормативных документов имеет недостатки. В частности, к недостаткам можно отнести такое положение, при котором к однотипному оборудованию, работающему в разных условиях, предъявляются одинаковые требования к объему и периодичности их ремонта. Более целесообразно, конечно, учитывать при планировании ремонтов индивидуальные свойства надежности объектов и их техническое состояние. Для зарубежных АЭС экономное расходование трудовых, финансовых и материальных ресурсов обусловлено высокой конкуренцией на рынках энергопотребления. Это побуждает научные структуры этих стран совершенствовать подходы к ремонту энергоблоков [1, 2, 3]. Для Украины обоснованное сокращение затрат, направляемых на ремонты, также является важным направлением деятельности. Среди задач этого направления заметной является задача планирования оптимальных объемов ремонтов, решение которой может быть достигнуто на пути применения вероятностного подхода. Ряд директивных материалов НАЭК "Энергоатом" и Госатомрегулирования Украины, в частности, [4] рекомендуют планомерное внедрение вероятностных методов в практику деятельности лицензиатов для совершенствования планирования ремонтов и технического обслуживания энергоблоков. Однако на сегодняшний день проблема планирования ремонтов еще не получила достаточного для применения на практике формализованного описания в научных публикациях.

**Постановка задачи.** Энергоблок можно представить в виде функционально-обособленных систем  $S_i$ ,  $i=1,2,\dots,N$ , связанных технологическим процессом выработки электроэнергии и систем, обеспечивающих безопасность энергоблока. Каждая система  $S_i$  имеет границы – вполне определенное число элементов, предназначенных для выполнения своей специфической функции, и обладает небольшим числом (1–4) критериев отказа системы. Это позволяет с достаточной степенью детальности создавать математическую модель планирования ремонтов системы  $S_i$ .

В статье рассматривается задача планирования оптимальных объемов ремонтов элементов любой одной системы  $S$ , состоящей из  $n$  элементов  $e_k$ ,  $k=1,2,\dots,n$ . Моделирование оптимального (рационального) плана объемов ремонтов системы осуществляется по критерию вероятности безотказной работы (ВБР) и основывается на использовании ведущего качества энергоблока – безопасности. Удовлетворение критерия безопасности энергоблока, в принципе, обеспечивает возможность вводить предельно-допустимые ограничения на ВБР систем за время  $t$ , соответствующее длительности ежегодной непрерывной работы энергоблока. В статье проблема распределения по системам энергоблока предельно-допустимых значений их ВБР не рассматривается, но такая возможность допускается.

Для построения модели планирования объемов ремонтов функционально-обособленной системы  $S$  примем следующие условия: 1) энергоблок непрерывно работает время  $t$  на номинальном режиме выработки электроэнергии; 2) для каждого элемента  $e_k$ ,  $k=1,2,\dots,n$ , системы  $S$  уста-новлена вполне определенная технология ремонта; 3) любой осуществленный ремонт элемента  $e_k$  повышает его ВБР; 4) на безопасность энергоблока влияют только отказы оборудования, а другие факторы игнорируются; 5) существует и может быть определено из соображений безопасности энергоблока предельно-допустимое значение ВБР  $R_S^*$  системы  $S$  [5].

ВБР  $R_S(t_0, t)$  системы  $S$  за время от  $t_0$  до  $t$  зависит от ВБР ее элементов  $e_k$ ,  $k=1,2,\dots,n$ . ВБР элементов за это же время, в свою очередь, зависит от затрат  $c_k$ ,  $k=1,2,\dots,n$ , на их ремонт в период ежегодного ППР. На оси времени  $t$  период ППР эквивалентуруется с моментом времени  $t_0$ . При ремонте элементов  $e_k$  в момент времени  $t_0$  происходит изменение ВБР  $R_k(t_0)$  элементов. Величины изменения  $R_k(t_0)$  элементов  $e_k$  вызываются объемами ремонтов, которые при установленной технологии ремонта можно количественно характеризовать затратами  $c_k$  на их ремонт. Связь между величиной повышения ВБР  $R_k(t_0)$  элемента  $e_k$  в момент времени  $t_0$  и

произведенными затратами  $c_k$  на его ремонт можно установить с помощью удельной ВБР  $\delta R_k(t_0)$  элемента  $e_k$ . Эту величину  $\delta R_k(t_0)$  можно определить, как величину повышения ВБР элемента, приходящуюся на одну условную единицу (у.е.) затрат на ремонт этого элемента. В результате ремонта элемента  $e_k$  в момент времени  $t_0$ , на который затрачено  $c_k$  у.е., у элемента может сформироваться ВБР  $\bar{R}_k(t_0)$ . Разница между ВБР в момент времени  $t_0$ , отнесенная к величине понесенных затрат  $c_k$ , определяет удельную ВБР  $\delta R_k(t_0)$  элемента  $e_k$ :

$$\delta R_k(t_0) = (\bar{R}_k(t_0) - R_k(t_0)) / c_k. \quad (1)$$

Определить величину  $\delta R_k(t_0)$  можно из следующих соображений. Предположим, что элементу  $e_k$  производится капитальный ремонт с затратами  $z_k$ , что обеспечивает элементу ВБР в  $t_0$ , равную единице. Тогда из (1) получим оценку величины  $\delta R_k(t_0)$ :

$$\delta \bar{R}_k(t_0) = (1 - R_k(t_0)) / z_k. \quad (2)$$

Принимая оценку  $\delta \bar{R}_k(t_0)$  за удельную ВБР элемента  $e_k$ , получим из (1), что при любом  $c_k$  из интервала  $0 \leq c_k \leq z_k$  величина  $\bar{R}_k(t_0) = R_k(t_0) + c_k \delta \bar{R}_k(t_0)$  есть ВБР элемента  $e_k$  в  $t_0$ , сформировавшаяся в результате его ремонта с затратами  $c_k$ . Тогда ВБР элемента  $e_k$  за время от  $t_0$  до  $t$  будет равна:  $\bar{R}_k(t_0, t) = \bar{R}_k(t_0) \cdot R_k(t)$ , где  $R_k(t)$  – ВБР элемента  $e_k$  с  $R_k(t = t_0) = 1$ .

ВБР  $\bar{R}_S(t_0, t)$  системы  $S$  за время от  $t_0$  до  $t$  можно рассматривать как известную функцию  $\varphi$  от ВБР  $\bar{R}_k(t_0, t)$  элементов  $e_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ . В результате ремонтов в момент времени  $t_0$  элементов  $e_k$  с затратами  $c_k$  ВБР системы за время от  $t_0$  до  $t$  будет равна:

$$\begin{aligned} \bar{R}_S(t_0, t) = & \varphi[(\bar{R}_1(t_0) + c_1 \delta \bar{R}_1(t_0)) \cdot R_1(t), (\bar{R}_2(t_0) + \\ & + c_2 \delta \bar{R}_2(t_0)) \cdot R_2(t), \dots, (\bar{R}_n(t_0) + c_n \delta \bar{R}_n(t_0)) \cdot R_n(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

Функцию  $\bar{R}_S(t_0, t)$  из (3) можно рассматривать как функцию  $\bar{R}_S(t_0, t, c_k)$  многих переменных  $c_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Функция  $\bar{R}_S(t_0, t, c_k)$  определена в замкнутой области, непрерывна по переменным  $c_k$  и имеет ограниченные частные производные  $\partial \bar{R}_S(t_0, t, c_k) / \partial c_k$ . Из (3) видно, что ВБР  $\bar{R}_S(t_0, t, c_k)$  системы в результате ремонта определяется ВБР  $R_k(t_0)$  элементов  $e_k$ ,



$k = 1, 2, \dots, n$ , в момент времени  $t_0$ , понесенными затратами  $c_k$ , удельными ВБР элементов  $\overline{\delta R}_k(t_0)$  и кривыми ВБР элементов  $R_k(t)$ .

Теперь задачу планирования оптимальных объемов ремонтов можно сформулировать так: требуется найти такое распределение затрат  $c_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , на ремонт системы, чтобы ВБР системы  $\overline{R}_S(t_0, t, c_k)$  и предельно-допустимое значение ВБР системы  $R_S^*$  наименее отличались друг от друга за время до  $t$ , и сумма затрат на ремонт системы не превосходила бы заданной величины  $Z_S^*$ . В математическом виде получим:

$$\omega^* = \min_{c_k} [\overline{R}_S(t_0, t, c_k) - R_S^*], \quad \omega^* \geq 0, \quad \sum_{k=1}^n c_k \leq Z_S^*. \quad (4)$$

При достаточно большом значении  $Z_S^*$ , в силу свойств функции  $\overline{R}_S(t_0, t, c_k)$ , решение задачи (4) существует по теореме Вейерштрасса [6]. Однако решение задачи (4) может быть не единственно.

Задачу (4) можно считать непрерывным аналогом задачи планирования ремонтов в обыкновенных практиках. Элементы  $e_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , образующие систему  $S$ , могут представлять собой сложное оборудование, например, насосы, для которых на практике проводят текущие, средние и капитальные ремонты. Обозначим через  $c_k^m$ ,  $m = 1, 2, 3$ , затраты, соответствующие этим объемам ремонтов. Предположим, в соответствии с реалиями практики, что  $c_k^1 < c_k^2 < c_k^3$ . То есть, предположим, что затраты на различные типы ремонтов любого элемента различны. Тогда задача планирования ремонтов в терминах текущего, среднего, капитального ремонтов запишется в виде:

$$\omega^* = \min_{c_k^m} [\overline{R}_S(t_0, t, c_k^m) - R_S^*], \quad \omega^* \geq 0, \quad \sum_{k=1}^n c_k^m \leq Z_S^*. \quad (5)$$

Пусть при достаточно большом значении  $Z_S^*$  вектор  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$  – есть допустимое решение задачи (4), удовлетворяющее соотношениям:  $c_1 \geq c_1^m, c_2 \geq c_2^m, \dots, c_n \geq c_n^m$ , хотя бы при одном любом значении  $m$ . Тогда, полагая  $c_1 = c_1^m, c_2 = c_2^m, \dots, c_n = c_n^m$ , получим еще одно допустимое решение задачи (4) и допустимое решение  $(c_1^m, c_2^m, \dots, c_n^m)$  задачи (5).

Поэтому, при определенных, принимаемых исследователем соотношениях между  $c_k$  и  $c_k^m$ , некоторое подмножество решений задачи (4) определяет множество допустимых решений задачи (5), среди которых можно отыскивать одно из экстремальных решений.

Решения задач (4) или (5) можно найти известными методами нелинейного программирования [7]. Удобным для решения этих задач на ЭВМ можно считать релаксационный метод покоординатного спуска с выбором ведущего элемента. В рассматриваемых задачах понятно, что если совращать спуск из начальной точки по координате наибольшего убывания ВБР системы, то это вовсе не означает эффективность спуска. Эффективность направления спуска по координатам зависит от соотношения между затратами на ремонт соответствующих элементов и величинами повышения их надежности за эти затраты.

В качестве начального приближения выберем вектор  $c_0 = (0, 0, \dots, 0)$ . Покоординатный спуск будем осуществлять по той координате  $j$ , для которой в конце интервала  $[t_0, t]$  выполняется соотношение:

$$\frac{\partial \varphi(t_0, t, c_k)}{\partial c_j \partial t} = \max_i \left| \frac{\partial \varphi(t_0, t, c_k)}{\partial c_i \partial t} \right|. \quad (6)$$

Значение смешанной частной производной (6) можно интерпретировать как частную удельную ВБР системы по  $j$  координате. То есть, она приближенно представляет собой величину изменения ВБР системы на достаточно малую единицу затрат. Естественно, что спуск по координате, имеющей наибольшее значение частной удельной ВБР системы, будет самым эффективным – при одинаковых затратах на ремонт выбирается элемент (координата), ремонт которого повышает надежность системы более всего в конце интервала времени  $[t_0, t]$ .

Поскольку функцию  $\varphi$  для сложной системы  $S$  трудно составить в аналитическом виде, допускающем прямое дифференцирование, то для вычислений можно использовать приближенное значение смешанной частной производной функции  $\varphi$  по  $j$  координате:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial c_j \partial t} \approx \frac{\varphi(c_1, \dots, c_j + \Delta c_j, \dots, c_n, t) - \varphi(c_1, \dots, c_j, \dots, c_n, t - \Delta t)}{\Delta c_j \Delta t}. \quad (7)$$

Для обеспечения высокой скорости сходимости последовательных приближений функции  $\varphi$  к оптимальному значению величина спуска (величина  $\Delta c_j$ ) по  $j$  координате должна выбираться специальным образом [7]. Однако такой выбор величины спуска неизбежно приведёт к частому обращению к вычислению значений функции  $\varphi$ , что при расчетах на ЭВМ будет заметно увеличивать время решения задачи. Представляется более целесообразным, учитывая специфику задачи, величину спуска при реализации метода на ЭВМ выбирать величиной постоянной для всех координат  $c_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Предварительные расчеты показывают, что приемлемое значение этой величины  $\Delta c_j = z_j / M$  лежит в диапазоне значений  $M$  [50 – 300].

**Выводы.** Рациональное управление ремонтами технических систем, осуществляемых в периоды ежегодных ППР, может быть достигнуто на основе решения задач нелинейного программирования (4) и (5). Применение математических моделей оптимального планирования ремонтов к крупномасштабным объектам, таким как энергоблоки АЭС, может привести к заметному сокращению затрат на ремонты как отдельных систем объекта, так и объекта в целом при сохранении необходимого уровня их работоспособности. Проведенная формализация задач планирования ремонтов до уровня математических постановок и предложенный метод приближенного их решения позволят создавать автоматизированные системы планирования ремонтов.

В заключение автор выражает глубокую благодарность д.т.н. А.С. Куценко и к.т.н. Л.И. Зевину за консультативную помощь и критику, способствующие написанию этой статьи.

**Список литературы:** 1. Андришин А.В., Шныров Е.Ю. Применение идеологии управления проектами для создания системы организации ремонтов энергетического оборудования // Теплоэнергетика. 2004. №10. С. 17–21. 2. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высш. шк. 2003. – 463 с.: ил. 3. Бондаренко Е. Интервью с руководителем. Наш коллектив – специалисты высокого класса. // Энергоатом Украины. 2004. № 3(9), май-июнь. С. 6–8. 4. Решение Госатомрегулирования Украины №9 от 13.11.2001 г. "О применении оценок риска в регулировании безопасности ядерных установок". 5. Куценко А.С., Коваленко С.В. Планирование ремонтов оборудования энергоблоков АЭС по критерию надежности // Вестник НТУ «ХПИ» тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии» №19, 2006. 6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. – М., Л.:Гос. изд-во физ-мат литературы. 1958, т. 1, 607 с.: ил. 7. Карманов В.Г. Математическое программирование.– М.:Наука, 1975. – 272 с.

*Поступила в редколлегию 25.09.06*

УДК 621.391.5.621.391.662.2

**А.П. УЛЕЕВ, И.Ю. МАЛЮТИНА, В.И. КИЛЬДИШЕВ, Ю.С. ШЕВЦОВ**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛОВ МВК С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Проводиться анализ методів побудови моделей таймерних сигналів із заданими параметрами і перетворювач коду багатопозиційного часового коду.

The analysis of methods of construction of models timer's signals with the set parameters and code converters a multiitem time code (MTC) is spent.

**Введение.** Методике построения моделей и расчета параметров многопозиционных временных кодов (МВК) посвящен ряд работ [1, 3]. В данной работе предлагаются модели генераторов таймерных сигналов и алгоритмы построения кодовых алфавитов МВК.

Кодовое расстояние МВК для обнаружения ошибок заданной величины смещения  $l_0$  определяется как  $d_0 = l_0 + 1$ , а для исправления ошибок как  $d_n = 2l_0 + 1$ . Расчет реализаций кодовых конструкций (алфавит  $N_p$ ) МВК при

заданных параметрах  $I, S, m, d_0$  (где  $I$  – число ЗМВ в кодовом слове МВК,  $S = t_0/\Delta$ ,  $m$  – число интервалов  $t_0$  простого исходного кодового слова,  $d_0$  – минимальное кодовое расстояние) производится по методике [1].

Известно [1], что алфавит сообщений можно получить для заданного набора параметров МВК  $A_i, A_0, S, n$  ( $k = \overline{1, T}$ ) с требуемым кодовым расстоянием  $d_0$ . В теории построения МВК кратность ошибок в кодовом слове определяет число значащих моментов восстановления (ЗМВ), подверженных искажению (смещений) на величину, кратную элемента МВК  $\Delta + l$ , значение которого определяет кодовое расстояние  $d$ .

**Модели таймерных сигналов.** Анализ фрагмента модели [1] для  $I = 2, 3$  при  $m = 5, 8$  и  $S = \overline{2, 8}$  показывает, что число реализаций  $N_p$  с ростом  $d_0$  падает. Например, на интервале  $m = 5$  для простого МВК с  $d = 1, I = 2, S = 5$  число  $N_{p1} = 136$ . При  $d_0 = 2$  для тех же параметров  $N_{p2} = 28$ , но при этом код позволит обнаружить двукратную ошибку ( $I = 2$ ) каждого ЗМ на величину смещения  $l_0 = \pm 1$ . При исправлении ошибок  $d_0 = 3$  число реализаций составит  $N_{p3} = 15$ . В [3] приведены таблицы числа реализаций алфавита МВК для параметров  $S, I, d_0$ . Там же приведена методика расчета параметров, основанная на статистике реальных каналов связи.

Используя модель генератора кодовых конструкций избыточных МВК [1] для заданных значений коэффициентов  $A_i$  и  $A_0$  можно получить значения (координату времени  $x$ ) для каждого ЗММ МВК, а, полагая  $A_i = A_0$ , перейти к алфавиту простого МВК. Данная модель предусматривает фиксацию значений  $m$ , кратных  $t_0$ , и позволяет получать заданное число реализаций  $N_p \geq 286$  и  $N_p \leq 128$  для значений  $n = S \cdot m$  на интервале времени  $T = n + S$ . Как показывают результаты расчетов максимальное число реализаций кодовых конструкций МВК на интервале  $m = 5, 8$  исходного кодового слова источника можно получить при  $I = 2, 3$ .

Используя таблицу биномиальных коэффициентов (треугольник Паскаля) алфавит количества реализаций  $N_p$  МВК можно представить в виде таблицы.

Для сжатия информации источников в работе предлагаются простые МВК для совместного использования с разрядно-цифровыми кодами (РЦК), а с целью упрощения процессов кодирования и декодирования предлагается аналитический метод формирования кодовых конструкций МВК [2]. При этом для каждой конкретной реализации формируется кодовое слово МВК, местоположение ЗММ, в которой вычисляется по аналитическим выражениям. Данный метод удобно использовать при программной реализации кодеков МВК на ПЭВМ.

Например, даны параметры кода  $I = 4, S = 2, A_i = A_0$  ( $k = \overline{1, I}$ ). Введем условную точку отсчета, которая позволяет ввести коэффициенты при ЗМ. Две реализации из алфавита МВК имеют вид (2, 4, 6, 8) и (2, 4, 6, 11). Учитывая, что расстояние между соседними ЗМВ кодовой конструкции не

может быть меньше  $S$ , то вместо чисел в примере можно писать приращения  $\Delta S$ . Поэтому эти реализации будут иметь вид  $(0, 0, 0, 0)$  и  $(0, 0, 0, 1)$ .

Аналитические выражения процессов кодирования и декодирования приведены в работе [2]. Процесс кодирования сводится к нахождению координат (составляющих)  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  каждой  $N_j$  реализации алфавита МВК по правилу:

для  $x_i^j$ :

$$\frac{1}{(i-1)!} \sum_{r=0}^x \prod_{t=0}^{i-2} (n - iS - r + t + 1) - N_j \leq 0; \quad (1)$$

для  $x_k^j(k - I, i - 1)$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(k-1)!} \sum_{r=0}^{x_k^j} \prod_{t=0}^{k-2} (n - iS - r + t + 1) + \\ & + \sum_{\mu=k+1}^i \frac{1}{(\mu-1)!} \sum_{j=0}^{x_\mu^j} \prod_{t=0}^{\mu-2} (n - iS - \sum_{v=\mu}^i x_v^j - r + t + 1) - N_j \leq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Номера  $x_i^j$ , найденные по правилам (1) и (2), соответствуют кодовой конструкции МВК длины  $n$  с кодовым расстоянием  $d = 1$  и  $I = \text{const}$ . В канал связи будет передано кодовое слово МВК в виде смен полярности сигнала (ЗММ) в моменты, определяемые координатами  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$ .

Процесс декодирования сводится к восстановлению числа  $N_j$  по значениям (после регистрации) каждого  $x_i^j$  ЗММ  $(x_1^j, x_2^j, \dots, x_k^j)$ .

$$N_j = \sum_{\mu=1}^i \frac{1}{(\mu-1)!} \sum_{r=0}^{x_\mu^j} \prod_{t=0}^{\mu-1} (n - iS - \sum_{v=\mu}^i x_v^j - r + t + 1). \quad (3)$$

Используя всевозможные сочетания МВК с ЗМ сигнала  $k = \overline{1, I}$ , можно значительно увеличить мощность кода и уменьшить время передачи кодовой конструкции.

Используя выражения (1) и (3), можно строить кодеки МВК каскадного кодопреобразования при совместном использовании их с РЦК.

**Алгоритмы кодирования таймерных сигналов.** Рассмотрим некоторые алгоритмы процессов кодирования, построенные по предложенным моделям.

Первый алгоритм кодера простых сигналов МВК (рис. 1) основан на данных таблицы-алфавита сообщений  $V = \{v \in [0, N_0[ \}$  и выборе конкретной реализации кодовой конструкции МВК  $V_y \rightarrow \Delta_y$ . Множество  $\Delta_y$  сохраняется в памяти так, чтобы  $v$  был адресом таблицы  $L_y$ , где  $L_y = \left[ \overline{Y} \right]$ , а  $N_0 = [n - i(S - 1)]$ ,  $(n, I, S)$  параметры МВК.

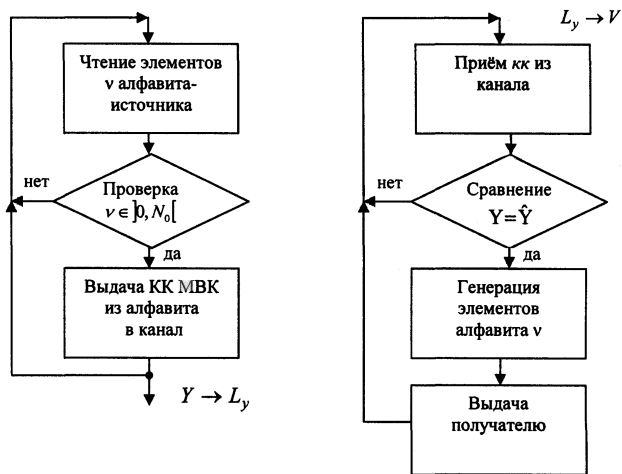


Рис. 1 – Алгоритм кодирования и декодирования простых сигналов МВК, основанный на данных таблицы-алфавита сообщений

Декодирование такого МВК происходит путем табличного сравнения переданного и принятого сигнала  $Y = \hat{Y}$  и последующей генерации элементов алфавита  $v$  простого исходного кода источника информации.

Согласно второму алгоритму (на рис. 2), реализация кодека МВК основана на использовании таблиц биномиальных коэффициентов (Паскаля).

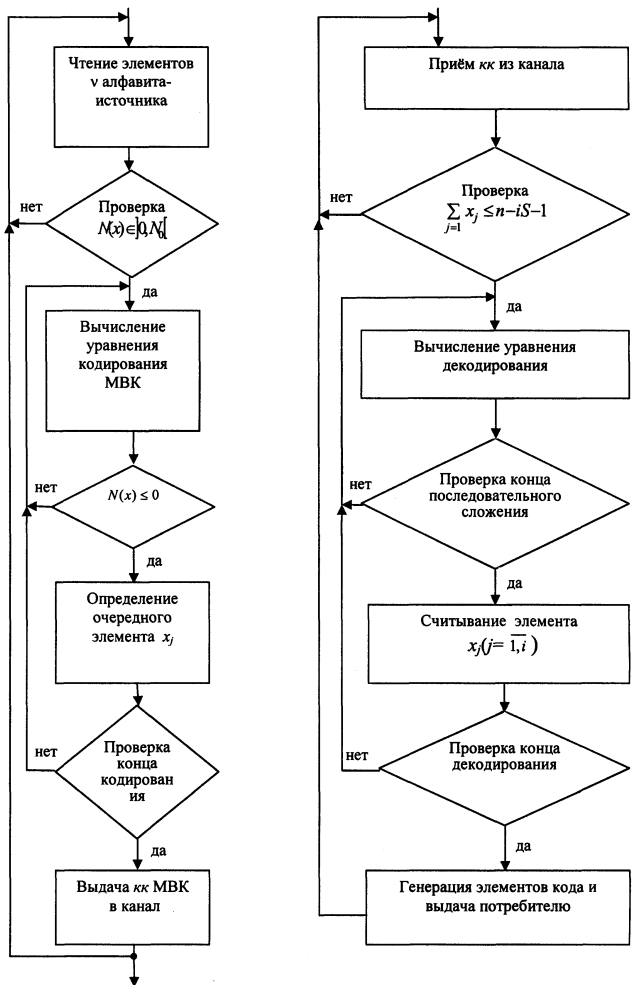


Рис. 2 – Алгоритм кодирования и декодирования МВК, основанный на использовании таблиц биномиальных коэффициентов (Паскаля)

При этом, согласно уравнению кодирования, генерируются координаты ЗМ  $x_j$  МВК. Правило декодирования использует метод последовательного сложения согласно уравнению декодирования.

Алгоритмы кодирования и декодирования алфавита сигналов МВК, представленные на рис. 3, основаны на методе последовательного сравнения по аналитическим выражениям (1...3) (при  $I = 3$ ). При этом для каждой конкретной реализации формируется кодовая конструкция МВК,

местоположения ЗММ (координаты  $x_i$ ) которой вычисляются по выражениям связи  $N_j \rightarrow x_i^j$  определяемые координатами  $(x_1^j, x_2^j, x_3^j)$ .

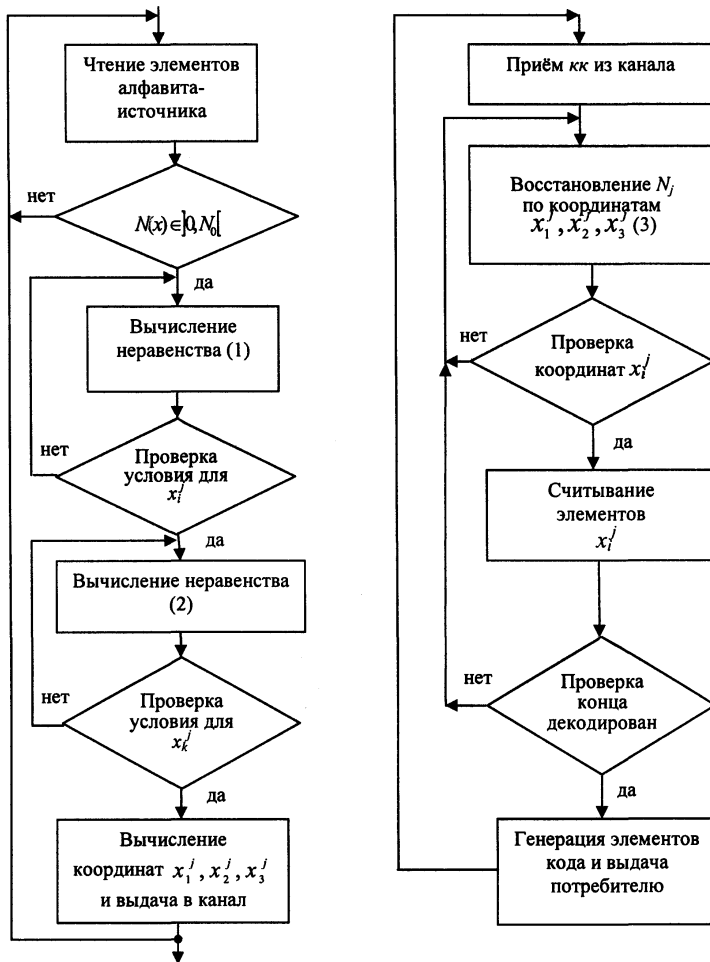


Рис. 3 – Алгоритм кодирования и декодирования МВК основанный на методе последовательного сравнения по аналитическим выражениям

**Выводы.** Предложенные методы формирования кодовых конструкций МВК с заданными параметрами таймерных сигналов, а также представленные алгоритмы кодопреобразования нашли практическое применение в системах передачи данных при совместном использовании простых МВК и избыточных РЦК [4,5] с использованием каскадного кодирования. На первом



этапе кодирования происходит сжатие времени передачи блока информации, а на втором помехоустойчивое кодирование для защиты от ошибок.

**Список литературы:** 1. *Захарченко Н.В.* Эффективность использования многопозиционных кодов в низкоскоростных системах ПДН. Учебное пособие. Одесса: ОЭИС, 1984. С. 84. 2. *Киреев И.А., Захарченко Н.В., Улеев А.П.* Сжатие информации в системах передачи данных при использовании многопозиционных временных сигналов /Вестник ХГПУ. 1999, №35. С. 100-104. 3. *Захарченко В.Н.* Расчет параметров многопозиционных временных кодов. Мет. руководство. Одесса: ОЭИС, - 1990. -С. 18. 4. *Захарченко Н.В. и др.* Расчет эффективности совместного использования РЦК и МВС. Учебное пособие. Одесса: УГАС, 1995. С. 15. 5. А.С. 1111258, Система передачи данных с решающей обратной связью /Захарченко Н.В., Киреев И.А.

*Поступила в редколлегию 24.10.06*

УДК 658

**Н.Б. АНДРЕЙШИНА**, ИП “Стратегия”, Желтые Воды  
**В.В. ГОЦУЛЕНКО**, канд. техн. наук; ИП “Стратегия”, Желтые Воды

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ЦЕНЫ КАК ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ**

Рассматривая спрос и предложение как функции цены и тенденции ее изменения, найдена стратегия формирования оптимальной цены, адаптированная для применения на практике.

Regarding demand and supply as functions of price and its change tendencies, the strategy of optimal price forming adapted for practical usage was found.

### **Введение**

Спрос и предложение являются фундаментальными понятиями экономики и отражают рыночные процессы. Это два важнейших понятия, с помощью которых описывается взаимодействие продавцов и покупателей, каждый из которых стремится к максимально полному удовлетворению своих потребностей.

Определение количественной трактовки спроса и предложения является необходимым условием их исследования. Под спросом на определенный товар будем понимать зависимость платежеспособной потребности покупателей, имеющих доступ к определенному рынку, в определенном количестве этого товара от существующей цены на этот товар и тенденции изменения цены во времени. Под предложением будем понимать зависимость количества товаров, которое поставщик готов поставлять для продажи, от установленной продажной цены, и тенденции изменения цены во времени.

Покупатели определенного товара всегда будут предпочитать купить его по более низкой цене, а продавцы – продать его по более высокой. То есть цена товара является одним из важнейших факторов, как для спроса, так и для предложения, и одновременно общим для них фактором. Наряду с ценой, на спрос явно влияет субституты, а на предложение – уровень развития технологии в данной отрасли [3].

Соотношение спроса и предложения на рынке постоянно изменяется. Есть причины, которые снижают спрос и цену на товары. Интенсивное потребление некоторых товаров, покупательская способность населения влияют на цену товара. Так, например, увеличение числа безработных приводит к уменьшению покупательской способности населения, а следовательно, к снижению некоторых цен.

К причинам, которые увеличивают потребление товаров и одновременно обуславливают снижение цен, следует отнести: увеличение объемов производства, бесплатное предоставление материальных благ за счет общественных фондов потребления, улучшение качества товаров, без увеличения расходов и т. д.

В соответствии с теорией спроса и предложения реальная ценность товара равняется фактической цене, которая устанавливается на рынке в соответствии со спросом и предложением товара.

### Постановка задачи и ее решение

Цель настоящей работы – построить математическую модель, в которой спрос и предложение будут рассматриваться как функции, зависящие от цены товара и тенденции ее формирования, а также проверить адекватность модели на конкретном примере.

Пусть спрос  $S$  и предложение  $\Pi$  являются математическими функциями цены  $p$  и тенденции ее формирования  $q = \frac{dp}{dt}$  [1,2].

Тогда, чтобы спрос совпадал с предложением, и тем самым были реализованы оптимальные условия, цена на товар не может быть произвольной. Для определения цены как функции времени получаем дифференциальное уравнение

$$S\left(p, \frac{dp}{dt}\right) = \Pi\left(p, \frac{dp}{dt}\right). \quad (1)$$

Задав начальное условие, получим единственное решение дифференциального уравнения (1), рассмотрение которого как функции цены, есть необходимое и достаточное условие для совпадения спроса и предложения.

Однако на практике спрос и предложение задаются дискретными значениями, причем, в некоторых случаях, под этими экономическими категориями понимаются различные математические объекты.

Пусть спрос и предложение заданы как некоторые массивы:

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_n), \quad \Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n),$$

где  $s_i$  и  $\Pi_i$  значения спроса и предложения в заданном промежутке времени.

В качестве аппроксимирующих выражений рассмотрим линейные формы:

$$S = a_1 p + b_1 q + c_1, \quad \Pi = a_2 p + b_2 q + c_2, \quad (2)$$

где  $a_i, b_i, c_i$  - числовые коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^n (a_1 p_i + b_1 q_i + c_1 - s_i)^2 \rightarrow \min; \quad \sum_{i=1}^n (a_2 p_i + b_2 q_i + c_2 - p_i)^2 \rightarrow \min,$$

где  $q_i = \frac{p_i - p_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$ , изменение цены в  $i$ -й период времени;

$p_i$  - цена товара в  $i$ -й период времени.

Основываясь на (1) и учитывая что  $q = \frac{dp}{dt}$ , получим дифференциальное уравнение:

$$a_1 p + b_1 \frac{dp}{dt} + c_1 = a_2 p + b_2 \frac{dp}{dt} + c_2.$$

Общее решение, которого имеет вид:

$$p(t) = \gamma + ce^{kt} (a_1 - a_2), \quad (3)$$

где положено:  $k = \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1}$ ,  $\gamma = \frac{c_2 - c_1}{a_1 - a_2}$ ,  $c$  - константа.

Задав начальное условие  $p(0) = p_0$ , получим частное решение дифференциального уравнения:

$$p(t) = \gamma + (p_0 - \gamma)e^{-kt}. \quad (4)$$

Так как  $p(t) \rightarrow \gamma$  при  $t \rightarrow \infty$ , то коэффициент  $\gamma$  имеет смысл предельной цены. В зависимости от знака выражения  $p - \gamma$  функция  $p(t)$  имеет вид представленный на рис. 1.

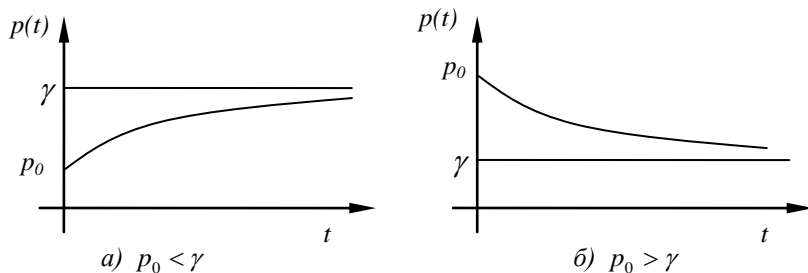


Рис. 1 – Изменение цены во времени

Рассмотрим деятельность конкретного торгового предприятия, занимающегося продажей строительных материалов. В таблице приведены данные о цене товара, объеме реализации и товарных остатках.

Таблица

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Цена товара, грн	1,14	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04
Объем реализации, кг	112	9	102,5	98	85,5	120
Товарные остатки, кг	205	156	234	127	146	118

	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Цена товара, грн	1,09	1,11	1,15	1,16	1,14	1,15
Объем реализации, кг	111,5	102	108	97	105,5	98,5
Товарные остатки, кг	104	116	104	117	108	110

Предложение формируется как сумма проданного и оставшегося товара.

Изменение цены:  $q_i = p_i - p_{i-1}$ , т. к.  $t_i = i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 12$ .

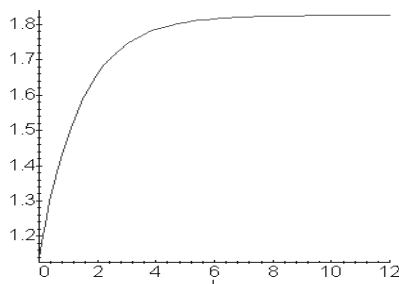
Величина  $q_0 = 0$ , так как в начальный момент времени цена еще не сформировалась. Применяя метод наименьших квадратов, определим коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ .

$$a_1 = 4.86, b_1 = 130, c_1 = 97.02, a_2 = -183.57, b_2 = -136.62, c_2 = 440.97.$$

Подставляя коэффициенты в (4), при начальном условии  $p(0) = 1.14$ , получим:

$$p(t) = 1.83 - 0.69e^{-0.71t}$$

На рис. 2 приведен график функции  $p(t)$ .

Рис. 2 – График функции  $p(t)$ 

Предельное значение цены  $\gamma = 1.83$ . Взяв усредненное значение цены на каждом из двенадцати интервалов, получим цену товара в каждом месяце. Например, в январе цена должна быть 1.58 грн., в феврале – 1.71 грн. и т. д.

## Выводы

При соответствующей трактовке спроса и предложения как математических функций цены и тенденции ее формирования, получена стратегия формирования оптимальной цены необходимой и достаточной для совпадения спроса и предложения.

Для конкретного торгового предприятия при аппроксимации тенденции формирования цены первой конечной разностью получены оптимальные цены на каждый месяц.

Необходимо отметить, что при построении модели не учитывалось влияние конкурентного окружения. Это существенно сужает область применения математической модели и требует ее дальнейшей доработки.

Тем не менее, модель апробировалась на предприятии, которое является монополистом в провинциальном городе. Сравнительный анализ существующих цен на предприятии и цен полученных теоретически позволяет судить об адекватности рассматриваемой теории. Это убеждает в целесообразности применения предложенной модели.

**Список литературы:** 1. Амелькин В.В.. Дифференциальные уравнения в приложениях. М.: Наука, 1987. 2. Андрейшина Н.Б., Гоцуленко В.В. Об одном классе экономических систем обладающих предельным циклом // Международная научно-практическая конференция "Развитие экономики в трансформационный период", г. Запорожье, 2005 г. С 3-4. 3. Иохин В.Я. Экономическая теория, введение в рынок и микроэкономический анализ. М.; Инфра, 1997. 4. Гоцуленко В.В., Самохвалов Т.С. Об одном классе стратегий капиталовложений в замкнутой экономической системе.// Международная научная конференция «Ломоносовские чтения 2004», Черноморский филиал МГУ. 5. Гоцуленко В.В., Андрейшина Н.Б. Анализ динамики экономических систем в условиях хаоса // Международная научно-практическая конференция "Наука: теория и практика", 2005г.

*Поступила в редколлегию 24.10.06*

УДК 658.012

**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук. НТУ «ХПИ»,  
**Е. Ю. КЛИМОВА**, аспирант НТУ «ХПИ»

## ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Розглянуто процеси управління розвитком корпоративних комп'ютерних мереж. Запропоновано архітектуру інформаційної системи управління її розвитком, що відповідає умовам функціонування різних типів організацій. На основі використання еволюційної моделі розвитку й взаємодії її основних компонентів визначені принципи побудови, структура й склад інформаційної системи.

## Введение

Корпоративная компьютерная сеть современного предприятия представляет собой вычислительную систему, которая выполняет вычислительные, технологические, экономические и социальные функции.

В работе под развитием понимается – направленное, закономерное изменение состава и структуры системы, а также ее компонент, осуществляемое во времени. Направленность изменения предполагает наличие некоторых начальных состояний, в которых может находиться предприятие, и некоторых будущих состояний, достигаемых под воздействием внешних и внутренних факторов, а также управления.

## 1. Содержание рассматриваемой проблемы

Анализ хода модернизации телекоммуникационной отрасли свидетельствует, что многие возникающие проблемы не могут быть решены в рамках существующей парадигмы управления информационными ресурсами, поскольку необходима тесная и динамичная связь управления информационными ресурсами со стратегией экономического развития. Все более необходимой является разработка таких моделей управления, которые позволят рассматривать *компьютерную сеть* не как совокупность изолированных компьютерных сетей с обособленным, негибким функционированием, а **как целостную систему**, способную концентрировать ресурсы в интересах удовлетворения разнообразных потребностей пользователей с одной стороны, и способствовать развитию экономики – с другой [1]. Поэтому вопросы управления развитием корпоративных компьютерных сетей становятся все более актуальными.

Потребность использования комплексного подхода в управлении компьютерной сетью, включая организационный менеджмент и управление финансами [2], обуславливает необходимость создания информационной системы управления развитием, способной удовлетворять требования различных типов организаций по отношению к компьютерной сети: коммерческих, некоммерческих, смешанных. Применение указанной системы сможет облегчить формирование стратегии и тактики развития ее технических и финансовых средств.

В составе контура управления предприятием, как правило, выделяется подсистема управления развитием, в рамках которой может существовать информационная система управления развитием компьютерной сети (ИСУРКС). В основу такой системы можно положить использование эволюционных моделей компьютерной сети (ЭМКС), в результате которого лицо, формирующее решение по управлению развитием (ЛФР-УР), осуществляет подготовку необходимых управляющих воздействий на реальную компьютерную сеть, (см. рис. 1).

## АСУ ПРЕДПРИЯТИЯ

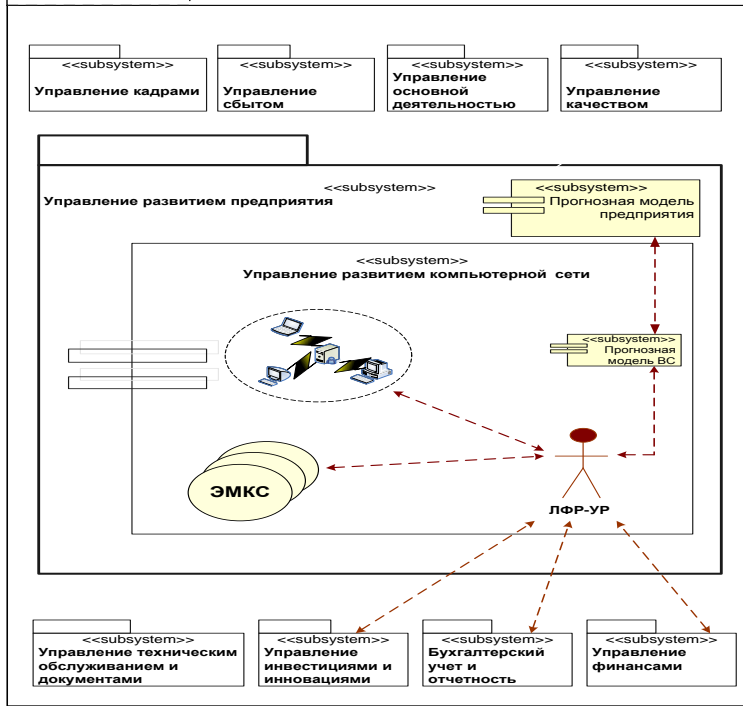


Рис. 1 – Место ИСУРКС в составе контура управления предприятием

## 2. Эволюционная модель задачи управления развитием компьютерной сети

Эволюционная модель компьютерной сети является системой, состоящей из взаимосвязанных между собой моделей: структурной, потоковой и стратегической.

Структурная модель компьютерной сети состоит из структурной модели технических средств и структурной модели финансов, каждая из которых, в свою очередь, представлена соответствующим графом.

Потоковая модель компьютерной сети включает данные решаемых задач в рамках технических средств и потоковую модель финансов, которые отражают информационные и денежные потоки и используют события в составе временных рядов.

Стратегическая модель компьютерной сети содержит стратегическую модель развития технических средств и стратегическую модель планирования финансовой деятельности, описываемых соответствующими совокупностями критериев, ограничениями, формальными и неформальными правилами и принципами [2].

Особенности выбора сущности каждого эволюционного этапа предлагается рассматривать с *двух* ключевых позиций:

1) Основная функциональная направленность (тип сети), как характеристика неизменная во времени, или изменяемая в масштабе длительного промежутка времени (на протяжении нескольких этапов развития) определяет уровень значимости развития для каждого компонента и свойства узла сети.

2) Особенности каждой конкретной задачи, её требования к характеристикам компонентам узлов сети, накладываемые ограничения, например, минимальное время решения. Поскольку на развитие сети оказывают существенное влияние процесс и результаты выполнения потока задач, важно четко обозначить все вторичные задачи потока, снижающие надежность и производительность сети, затягивающие сроки выполнения первичных задач.

В потоковой модели технических средств первичные задачи индуцируют вторичные задачи, сходным образом в потоковой модели финансов первичные события вызывают вторичные события. Такой дуализм подчеркивает правильность концептуального выбора иерархии моделей с точки зрения общей теории систем, поскольку гармоничность разрабатываемой структуры модели не только интуитивно понятна и естественна, как это имеет место в сложных системах объектов окружающего мира, но облегчает разработку и обеспечение имитационного моделирования, что имеет непосредственное практическое назначение.

Графическое представление компонентов эволюционной модели КС и их взаимосвязей показано на рис. 2:

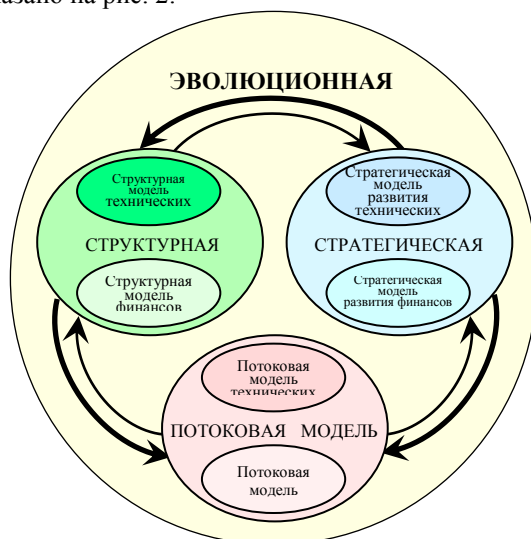


Рис. 2 – Эволюционная модель КС



Взаимодействие компонентов ЭМКС происходит следующим образом:

1) Начальное состояние ЭМКС задается начальным состоянием структурной модели и начальным состоянием стратегической модели (правила и принципы, которыми ЛПП будет руководствоваться для выдачи управляющих воздействий на структурную и потоковую модель).

2) Текущее состояние входной информации ЭМКС определяет множество возможных задач, из которых ЛПП формирует поток задач и событий потоковой модели КС, основываясь на информации о состоянии структурной модели на текущий момент времени и результатах функционирования ПМКС в предыдущие моменты времени. Некоторые задачи и события формируются как эквивалент воздействий внешней среды, соответствующим образом изменяя состояние структурной и/или стратегической модели (тонкие стрелки из ПМКС в стратегическую модель и в структурную модель).

3) В процессе функционирования потоковой модели информация о результатах выполнения потока задач и событий поступает в стратегическую модель (тонкая стрелка из ПМКС в стратегическую модель). В результате анализа полученной информации ЛПП принимает решения об изменении структуры технических средств или финансов (показано утолщенной стрелкой из стратегической модели в структурную), производит добавление и исключение задач и событий в ПМКС (показано утолщенной стрелкой из стратегической модели в ПМКС).

4) Развитие КС происходит непрерывно [4], что означает циклическое повторение пунктов 2) и 3).

### 3. Основные предположения модели

1. Пусть развитие технической системы - корпоративной компьютерной сети описывает некоторая эволюционная модель  $E$ , включающая такие модели, как структурная модель  $S$ , потоковая модель  $F$  и стратегическая модель  $R$ :

$$E = \{S, F, R\}$$

2. Каждая из моделей  $S, F, R$  содержит следующие субмодели: модель технических средств и модель финансов, поскольку если рассматривать развитие компьютерной сети и развитие экономики предприятия с точки зрения общей теории систем, становится очевиден переход технических средств в финансовые и наоборот, то есть обмен материей между подсистемами “технические средства” и “финансы”, входящими в некоторую объемлющую систему, причем такой обмен осуществляется непрерывно в течение жизненного цикла компьютерной сети.

$S_{tech}$  – структурная модель технических средств

Представим  $S_{tech}$  в виде ориентированного графа  $G(V, U)$ , где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  – множество вершин, соответствующее множеству из  $m$  узлов,  $U = \{u_{(1,2)}, u_{(1,3)}, \dots, u_{(m-1,m)}\}$  – множество дуг, соответствующих информацион-

ным связям между узлами. В том случае, если информационной связи между  $i$  – м и  $j$  – м узлами нет, то дуга  $u_{(i,j)}$  отсутствует.

С каждой вершиной графа связан вектор свойств, описывающий основные характеристики производительность  $P$ , надёжность (интенсивность отказов)  $\lambda$ , стоимость (затраты)  $S$ , т.е. можно говорить о некотором характеристическом векторе свойств  $i$ -го узла  $H_i=(P_i, \lambda_i, S_i)$ , причем

$$P_i=F_p(P_{i1}, P_{i2}, P_{i3} \dots P_{ik}),$$

$$\lambda_i=F_\lambda(\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \lambda_{i3} \dots \lambda_{ik}),$$

$$S_i=F_s(S_{i1}, S_{i2}, S_{i3} \dots S_{ik})$$

где  $k$  — количество компонентов  $i$ -го узла;

$P_{i1} \dots P_{ik}$ ,  $\lambda_{i1} \dots \lambda_{ik}$ , и  $S_{i1} \dots S_{ik}$  — соответственно производительность, надёжность и стоимость каждого компонента;

$F_p$ ,  $F_\lambda$ , и  $F_s$  — соответственно параметрические функции: производительности узла, функция надёжности узла и функция стоимости узла.

Естественно, для крупномасштабных корпоративных сетей со сложной структурой и большим количеством узлов граф структурной модели ТС будет иметь значительную размерность. Количество вершин и дуг можно сократить, если каждой вершине поставить в соответствие не отдельный узел, а целую подсеть корпоративной сети.

$S_{fin}$  – структурная модель финансов.

Структурная модель финансов необходима для идентификации состояния, характеризующего финансовую деятельность предприятия — баланс активов, доходность, бюджет и др., а также служит для определения показателей, на основании которых стратегическая модель  $R$  формирует управляющие решения. Система бюджетирования предприятия описывается модельным бюджетом.

Формой представления модельного бюджета в  $S_{fin}$  является матрица  $M_f$ , столбцы которой организованы согласно статьям выбранного нормативного бюджета (например, бухгалтерского учёта), а строки — распределению доходов и расходов соответственно по центрам использования и возникновения относительно организационной среды.

Матрица модельного бюджета составляется на определённый период времени  $(t_1, t_n)$  — неделя, месяц, отчётный или плановый период, в течение которого осуществляется выполнение группы задач или нескольких групп задач. С одной стороны,  $M_f$  используется для построения потоковой моделью потока задач и событий, а с другой стороны, большинство задач и событий потока может быть отражено в матрице модельного бюджета. Элементом матрицы модельного бюджета является вектор записей следующего вида:

$$M_f(i,j) = ((t_{1f}, D_{1f}, E_{1f}, L_{1f}), (t_{2f}, D_{2f}, E_{2f}, L_{2f}), \dots (t_{nf}, D_{nf}, E_{nf}, L_{nf})),$$

$F$  – потоковая модель включает потоковую модель финансов  $F_{fin}$  и потоковую модель технических средств  $F_{tech}$ , формирует поток задач и событий, выполняемый ЭМКС.

По отношению к потоку задач и событий ЭМКС будем различать три фазы вычислений: предпотоковую, внутривотоковую и послепотоковую.

Целью предпотоковой фазы является отбор оптимальной связки задач и событий на основе оценки текущего состояния ЭМКС и распределения этих задач и событий по узлам сети с учётом возможных внешних воздействий, благоприятных и неблагоприятных факторов, которые могут иметь место во время выполнения потока.

Внутривотоковая фаза представляет собой имитационное моделирование выполнения потока задач и событий, включая также оценку состояния КС (загруженность узлов, различного рода задержки, изменение длительности решения задач) во время выполнения потока. Результаты вычислений внутривотоковой фазы обязательно сохраняются как в системном журнале ИСУРКС, так и в базе данных, так как описывают фактическую реализацию потока и соответствующий этап развития КС.

Послепотоковая фаза суть анализ фактической реализации потока задач и событий лицом, принимающим решение.

Целью заключительной фазы вычислений является ретроанализ, то есть оценка текущего состояния сети в результате ее развития в соответствии с положениями эволюционной модели по сравнению с предыдущими этапами развития. Послепотоковые вычисления, кроме текущего состояния ЭМКС требуют анализа накопленной за всё время функционирования базы данных и знаний. В результате послепотоковой фазы вычислений выполняется интегральная оценка существующего состояния сети, создаются гипотезы о требуемых изменениях структуры сети, которые войдут в качестве задач с соответствующими приоритетами во множество задач предпотоковой фазы вычислений для следующего этапа развития.

Перед каждым использованием стратегической модели ЭМКС могут приниматься решения по коррекции базы знаний и перестройке параметров эволюционной модели, переориентации КС и/или финансов, реорганизации менеджмента.

### **Заключение**

Предлагаемая архитектура эволюционной модели компьютерной сети обладает достаточной гибкостью и функциональностью, обеспечивающую её эффективную реализацию в составе информационной системы управления развитием компьютерной сети.

**Научная новизна работы** заключается в выделении особенностей архитектуры эволюционной модели развития корпоративных компьютерных сетей при математическом моделировании задачи управления развитием компьютерных сетей со следующими новыми результатами:

1. Построена новая модель задачи управления развитием корпоративных компьютерных сетей.
2. Разработан механизм взаимодействия ее основных компонентов для решения рассматриваемой задачи.

**Практическая значимость результатов** работы определяется возможностью их использования при разработке и совершенствовании существующего математического аппарата для решения рассматриваемой задачи.

Дальнейшие исследования будут направлены на формализацию комплекса математических моделей и алгоритмов управления развитием корпоративных компьютерных сетей.

**Список литературы:** 1. *Климова Е.Ю., Шевченко С.В.* О состоянии и концепциях управления развитием вычислительных сетей и систем телекоммуникаций в Украине // Вестник ХНУРЭ. «Радиоэлектроника и информатика», - 2006. - №1. – С. 73-78. 2. *Климова Е.Ю., Шевченко С.В.* Архитектура эволюционной модели компьютерной сети. // IV Международная научно-практическая конференция "Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами" Алушта, 2006. - С.59-60. 3. Современные телекоммуникации. Технологии и экономика. Под общей редакцией С.А. Довгого. – М.: Экотрендз, 2003.– 320 с.: ил. 4. *Глушков В.М.* Введение в АСУ. – К.: «Техніка», 1972. - 312 с.

*Поступила в редколлегию 07.11.06*

УДК 515.2

**А.Ю. НИЦЫН**, канд. техн. наук

## **ПРИЛОЖЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ДИНАМИЧНЫХ СЦЕН**

Розглядається додаток геометричної моделі психофізичного простору до візуалізації тривимірних динамічних сцен. Пропонується метод візуалізації, що враховує сферичність психофізичного простору. Показується, що застосування перспективи, заснованої на геометричній моделі психофізичного простору, зменшує спотворення зорового сприйняття, що спостерігаються при відображенні тривимірних динамічних сцен.

The appendix of geometrical model psychophysical of space to visualization of three-dimensional dynamical stages is considered. The method of visualization is offered which takes into account sphericity of psychophysical space. It is shown, that the application of prospect based on geometrical model of psychophysical space, reduces distortions of visual perception, which are observed at display of three-dimensional dynamical stages.

**Постановка проблемы.** Если внимательно смотреть телевизор, можно увидеть, что при перемене положения телевизионной камеры с изображением на экране начинает твориться что-то невообразимое. Мы видим, как одни предметы, чудовищно увеличиваясь в размерах, наезжают на наблюдателя, а другие предметы, стремительно уменьшаясь в размерах, убегают к линии горизонта. Заметим, что эта картина наблюдается, когда телевизионная камера поворачивается вокруг вертикальной оси, проходящей через оптический центр объектива. А что происходит, когда телевизионная камера поворачивается вокруг горизонтальной оси, проходящей через оптический центр объектива? Мы увидим, что предметы то опрокидываются на наблюдателя, то заваливаются назад в зависимости от того, смотрит ли телевизионная камера вверх или вниз. Когда же телевизионная камера поднимается на высоту, мы видим, что предметы, которые лежат на земле,

устремляются к линии горизонта, а земля как будто выскальзывает из-под ног. К счастью, ничего подобного в жизни не происходит, и такое можно увидеть наяву, если после веселой пирушки с друзьями, прошедшей накануне вечером, утром рюмки водки не выпить.

**Анализ литературы.** Несмотря на то что любой, кто обладает талантом наблюдателя, может видеть на экране телевизора или монитора, как искажаются форма и размеры изображения, когда камера меняет положение, эти проблемы до сих пор не нашли отражения в литературе. Существует литература по так называемой «кинеперспективе», которая фиксирует деформации перспективных изображений, но не предусматривает их компенсации [1, 2]. Поэтому разработка методов визуализации трехмерных динамичных сцен, свободных от деформаций изображения, свойственных линейной перспективе, является актуальной задачей.

**Цель статьи.** Одним из методов компенсации деформаций изображения трехмерных динамичных сцен, является перспектива, основанная на геометрической модели психофизического пространства [3]. Поэтому цель статьи – показать, как применение данной перспективы способствует или полному, или частичному устранению деформаций, которые наблюдаются при центральном проецировании объектов, изменяющихся во времени.

**Основной материал.** Применим для визуализации динамичной сцены перспективу, которая основывается на геометрической модели психофизического пространства, описываемой следующей системой уравнений [3]

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_1}{R} &= \cos \frac{y_1}{R} \cos \frac{z_1}{R} \operatorname{arctg} \frac{x}{R} \\ \frac{y_1}{R} &= \cos \frac{x_1}{R} \cos \frac{z_1}{R} \operatorname{arctg} \frac{y}{R} \\ \frac{z_1}{R} &= \cos \frac{x_1}{R} \cos \frac{y_1}{R} \operatorname{arctg} \frac{z}{R} \end{aligned} \right\}$$

Разделим изменения в положении точки зрения и направлении взгляда, которые влияют на картину трехмерной сцены, на три группы. Во-первых, рассмотрим визуализацию трехмерной сцены при повороте картинной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через центр проецирования. Покажем на рис. 1 результаты визуализации трехмерной сцены, выполненной с помощью перспективы, которая основывается на геометрической модели психофизического пространства. Как показывает рис. 1, размеры предметов, приближающихся к картинной плоскости, увеличиваются, а размеры предметов, удаляющихся от картинной плоскости, уменьшаются со значительно меньшей скоростью, чем в линейной перспективе. Следовательно, если сцена поворачивается вокруг наблюдателя таким образом, что расстояния от предметов до наблюдателя остаются постоянными, то ее визуализация с применением геометрической модели

психофизического пространства дает результаты, которые больше соответствуют опыту зрительного восприятия, чем линейная перспектива.

Во-вторых, рассмотрим визуализацию трехмерной сцены при повороте картинной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр проецирования. Покажем на рис. 2 результаты визуализации трехмерной сцены, выполненной с помощью перспективы, которая основывается на геометрической модели психофизического пространства. Как показывает рис. 2, при увеличении угла отклонения картинной плоскости от вертикального

$$H = 2000$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$R = 100000$$

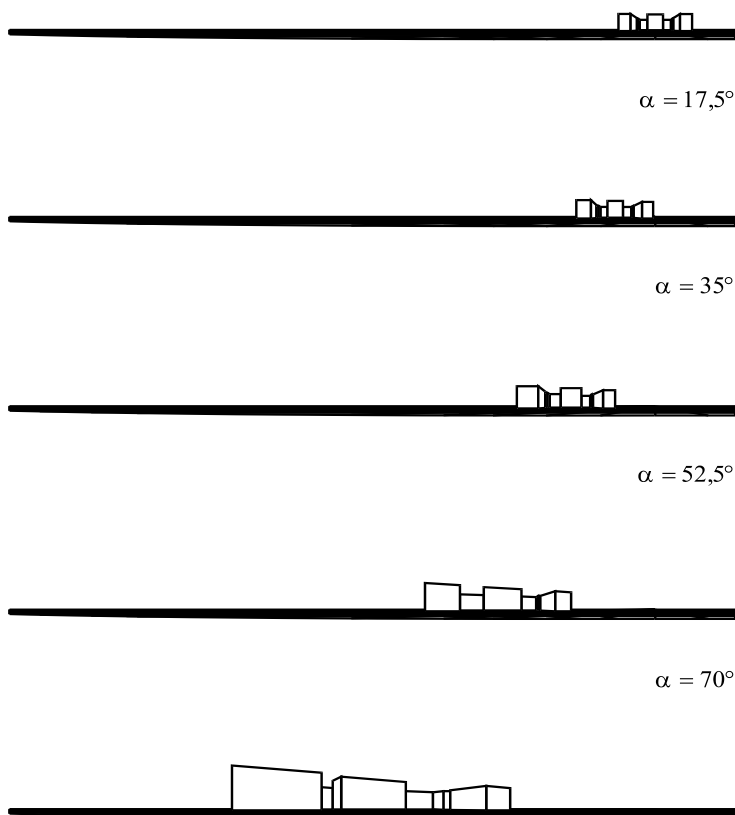
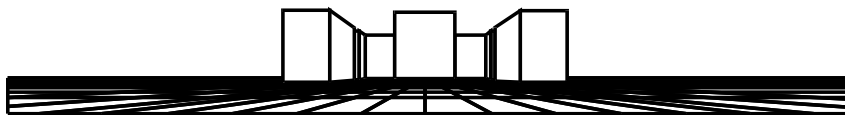


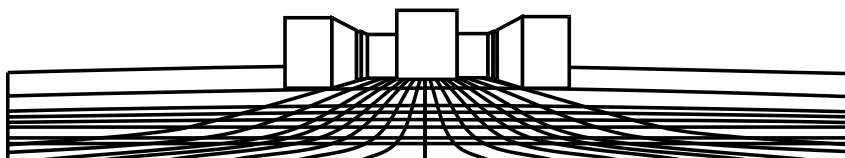
Рис.1

$H = 2000$   
 $R = 100000$

$\beta = 0^\circ$



$\beta = 15^\circ$



$\beta = 30^\circ$

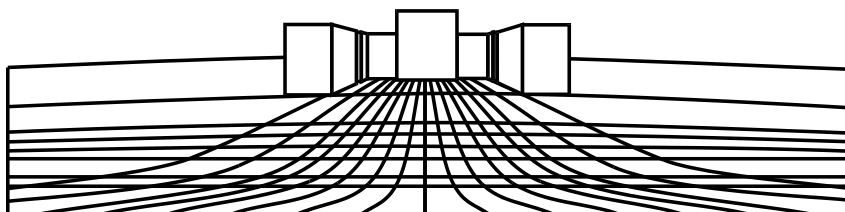


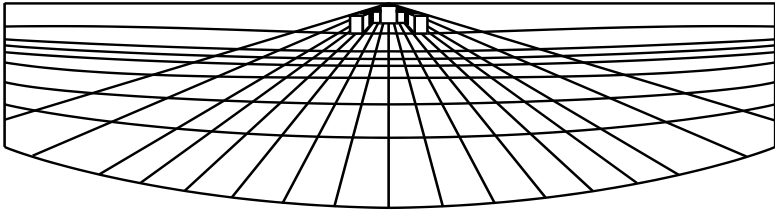
Рис.2

$$R = 100000$$

$$H = 2000$$



$$H = 50000$$



$$H = 100000$$

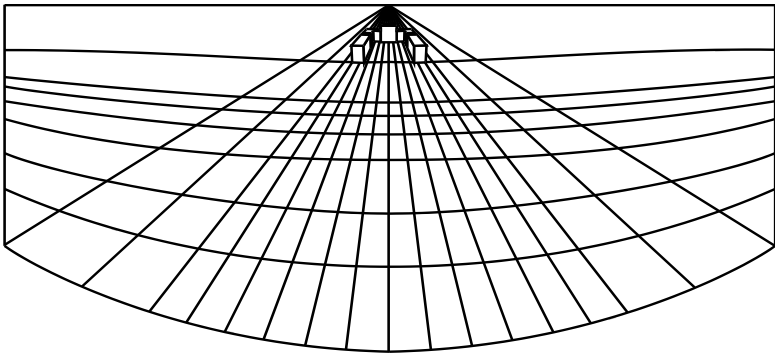


Рис.3

положения расстояние между вертикальными параллельными линиями, принадлежащими контурам предметов, остаются постоянными по мере удаления от предметной плоскости. Следовательно, если сцена опрокидывается на наблюдателя, то ее визуализация с применением



геометрической модели психофизического пространства дает результаты, которые в большей степени соответствуют опыту зрительного восприятия, чем линейная перспектива.

В-третьих, рассмотрим визуализацию трехмерной сцены при увеличении высоты центра проецирования над предметной плоскостью и постоянстве расстояния от центра проецирования до картинной плоскости. Покажем на рис. 3 результаты визуализации трехмерной сцены, выполненной с помощью перспективы, которая основывается на геометрической модели психофизического пространства. Как показывает рис. 3, при увеличении высоты точки зрения координатные линии, параллельные линии горизонта и принадлежащие предметной плоскости, удаляются от линии горизонта и приближаются к наблюдателю. Следовательно, при увеличении высоты точки зрения визуализация сцены с применением геометрической модели психофизического пространства дает результаты, которые в большей степени соответствуют опыту зрительного восприятия, чем линейная перспектива [4].

Таким образом, анализ перспективных изображений, приведенных на рис. 1, рис. 2 и рис. 3, показывает, что искажения зрительного восприятия, наблюдаемые при визуализации трехмерных динамичных сцен, либо частично, либо полностью устраняются в перспективе, которая основывается на геометрической модели психофизического пространства.

Способность геометрической модели психофизического пространства создавать изображения, компенсирующие искажения зрительного восприятия при визуализации трехмерных динамичных сцен, можно объяснить следующими причинами:

во-первых, для визуализации геометрической модели психофизического пространства не надо задавать ни центра проецирования, ни картинной плоскости, – ничего, что составляет сущность линейной перспективы. Это значит, что в перспективе, учитывающей геометрию психофизического пространства, отсутствуют проблемы, обусловленные особенностями построения центральной проекции [4];

во-вторых, процитируем отрывок из книги воспоминаний К.С. Петрова-Водкина «Пространство Евклида»: «... Здесь на холме, когда я падал наземь, передо мной мелькнуло совершенно новое впечатление от пейзажа, какого я еще, кажется, не получал... Я увидел землю как планету. Обрадованный новым космическим открытием, я стал повторять опыт боковыми движениями головы... Очертя глазами весь горизонт, воспринимая его целиком, я оказался на отрезке шара, причем шара полого, с обратной вогнутостью, – я очутился как бы в чаше, накрытой трехчетвертьшаром небесного свода. Неожиданная, совершенно новая сферичность обняла меня на этом... холме. Самое головокругительное по захвату было то, земля оказалась не горизонтальной и Волга держалась, не разливаясь на отвесных округлостях ее массива, и я сам не лежал, а как бы висел на земной стене» [5]. Таким образом, согласно К.С. Петрову-Водкину ощущение сферичности видимого пространства и вогнутости линии горизонта возникает во время

перемены положения человеческого тела. Это значит, что геометрическая модель психофизического пространства является ничем иным, как математическим описанием картины, которую можно наблюдать при динамически изменяющихся точке зрения и направлении взгляда [6, 7]. Следовательно, в перспективе, учитывающей сферичность психофизического пространства, не могут проявляться зрительные эффекты, которые возникают в линейной перспективе при перемене положения центра проецирования или направления взгляда.

**Выводы.** Таким образом, в статье приведены результаты применения перспективы, вытекающей из геометрической модели психофизического пространства и учитывающей действие механизма константности величины [8, 9]. Как показано в статье, применение данной перспективы способствует или полному, или частичному устранению деформаций, которые наблюдаются при центральном проецировании объектов, изменяющихся во времени. Поэтому для визуализации трехмерных динамичных сцен, по мнению автора, не следует выбирать линейную перспективу, – для решения данной задачи лучше предпочесть перспективу, основанную на геометрической модели психофизического пространства.

**Список литературы:** 1. *Лихачев Л.Н.* Кинеперспектива. – М.: Высшая школа, 1975. – 248 с. 2. *Ткач Д.И.* Деформации перспективы высотного здания // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К.: Будівельник, 1973. – Вып.16. – С. 120-124. 3. *Ницин О.Ю.* Геометрична модель просторової картини світу у свідомості людини // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 1999. – Вип.65. – С. 92-95. 4. *Петерсон В.Е.* Перспектива. – М.: Искусство, 1970. – 182 с. 5. *Петров – Водкин К.С.* Хлыновск. Пространство Евклида. Самаркандия. – Л.: Искусство, 1982. – 656 с. 6. *Петров – Водкин К.С.* Живопись. Графика. Театрально-декорационное искусство / Авт. текста и сост. альбома Барабанова Н.А. – Л.: Аврора, 1986. – 300 с. 7. *Петров – Водкин К.С.* Письма. Статьи. Выступления. Документы. – М.: Сов. художник, 1991. – 381 с. 8. *Раушенбах Б.В.* Геометрия картины и зрительное восприятие. – М.: Интерфакс, 1994. – 231 с. 9. *Пановский Э.* Перспектива как «символическая форма». Готическая архитектура и схоластика: Пер. с нем. – Санкт-Петербург: Азбука-Классика, 2004. – 356 с. 10. *Criminisi A., Kemp M., Zisserman A.* Bringing pictorial space to life: computer techniques for the analysis of paintings // Proceedings Computers and the History of Art. – London: British Academy, 2002. – P. 1126-1137.

*Поступила в редколлегию 20.09.06*

УДК 681.324

**О.В. СЕРАЯ**, канд. техн. наук, **И.В. ЗИНЧЕНКО**

## **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КОММИВОНЖЕРА ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ**

Показано можливість підвищення ефективності генетичного алгоритму розв'язання задачі комівонжера шляхом настройки його параметрів. Для адаптації генетичного алгоритму використано генетичний алгоритм.

**Обзор литературы.** Математическая формулировка задачи коммивояжера имеет вид: найти булев набор  $X = (x_{ij})$ , минимизирующий

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$n_i - n_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где

$n$  - число пунктов обхода,

$c_{ij}$  - расстояние между пунктами  $i$  и  $j$ ,

$x_{ij}$  - индикатор, равный единице, если в маршруте имеется звено, непосредственно соединяющее пару пунктов  $(i, j)$ , и равный нулю в противном случае.

Система ограничений (2) обеспечивает построение маршрута, в котором выезд в каждый пункт осуществляется один раз. Система ограничений (3), в свою очередь, обеспечивает построение маршрута, в котором выезд из каждого пункта осуществляется один раз. Выполнение ограничений (4) устраняет маршруты, не образующие полный цикл.

Хорошо известны трудности решения задачи коммивояжера высокой размерности. Традиционные алгоритмы решения этой задачи – направленного перебора [1], Балаша [2], ветвей и границ [3], успешно ее решают, если размерность задачи невелика ( $n < 20$ ). В [4] исследована возможность решения этой задачи с использованием генетического алгоритма. При этом размерность решаемых в приемлемое время задач повышена на порядок до  $n \approx 150 - 200$ . Для решения задачи использовался генетический алгоритм с заданными, по умолчанию, параметрами, соответствующими свободно распространяемому пакету SUGAL (*Sunderland Genetic Algorithm*) [5]. Вместе с тем, как показано в [4], эффективность работы генетических алгоритмов очень чувствительна к численным значениям некоторых параметров, определяющих характер основных эволюционных операций: тип кроссовера, вероятность мутации, элитизм, продолжительность эпохи формирования популяций, не содержащих прогрессивных особей, и заканчивающейся остановом работы алгоритма. Там же предложено осуществлять настройку параметров генетического алгоритма с использованием генетического алгоритма.

**Постановка задачи.** Сформулируем задачу построения генетического алгоритма оптимизации параметров генетического алгоритма решения задачи

коммивояжера. Таким образом, речь идет об адаптации генетического алгоритма, решающего задачу коммивояжера, к особенностям этой конкретной задачи.

**Основные результаты.** Для решения поставленной задачи был построен двухуровневый генетический алгоритм. На верхнем уровне работает генетический алгоритм формирования популяции особей, определяющих основные параметры генетических алгоритмов нижнего уровня, собственно решающих задачу коммивояжера. Блок – схема алгоритма приведена на рис.1.

В проведенном исследовании в качестве настраиваемых параметров генетического алгоритма были выбраны следующие:

- вероятность мутации;
- тип кроссовера;
- элитизм (количество сохраняемых особей после отбора);
- количество циклов формирования новых популяций, не содержащих прогрессоров - особей, качество которых выше уже достигнутого;
- признак целесообразности планового изменения типа кроссовера.

Смысл последнего параметра связан с характером решаемой задачи и состоит в следующем. Анализ большого числа экспериментальных решений задачи коммивояжера с помощью генетического алгоритма позволил сформировать гипотезу о том, что в начале процесса эволюционного отбора целесообразно формирование популяций, содержащих особи, существенно отличающиеся друг от друга. Однако в конце процесса эволюции, когда в популяции появляется достаточно много хороших по качеству особей, желательно формирование «похожих» экземпляров, среди которых может появиться прогрессор. В соответствии с этим на ранних этапах эволюции возможно целесообразен двухточечный кроссовер, а на последних этапах – многоточечный.

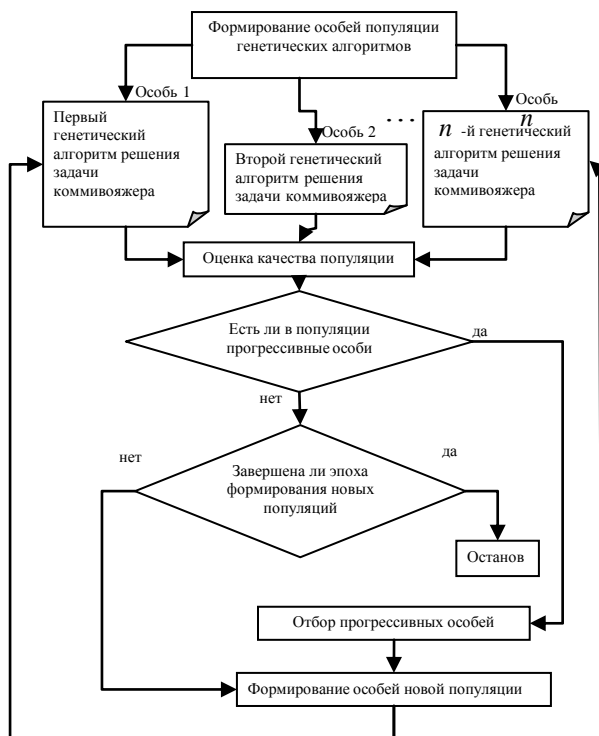


Рис.1. Блок - схема алгоритма генетической адаптации генетического алгоритма решения задачи коммивояжера.

Перечислим технические характеристики генетического алгоритма верхнего уровня. Популяция содержит сто особей. Каждая особь представляется двадцатью двоичными разрядами.

Из них:

один разряд – отображение признака изменения типа кроссовера,

четыре разряда – тип кроссовера,

пять разрядов – число сохраняемых особей в популяции,

четыре разряда – вероятность мутации,

шесть разрядов – продолжительность ожидания (в тысячах поколений) появления популяции, содержащей особи, которые лучше всех предыдущих.

В результате проведенного исследования выработаны следующие рекомендации.

1. На первой стадии решения задачи целесообразно использовать двухточечный частично отображаемый кроссовер, на второй стадии – четырехточечный. Момент переключения определяется следующим образом. Первая стадия длится до тех пор, пока длина медианного

маршрута превышает длину лучшего маршрута не менее, чем в два раза.

2. Число сохраняемых особей при формировании новой популяции – двадцать.
3. Вероятность мутации – 0,02.
4. Целесообразная продолжительность ожидания  $N$  связана с числом пунктов  $n$  соотношением  $N = 10n^{3/2}$ , но не должно превышать  $10^4$  поколений.

Заметим, что эффективность настроенного в соответствии с этими рекомендациями алгоритма превышает эффективность алгоритма, параметры которого, по умолчанию, определяются SUGAL, в среднем в 1.5 раза.

**Выводы.** В результате проведенного исследования экспериментально показана целесообразность адаптации параметров генетического алгоритма для решения задачи коммивояжера. Установлена возможность отыскания рациональных параметров генетического алгоритма с помощью генетического алгоритма верхнего уровня. Выработаны рекомендации относительно численных значений параметров алгоритма решения задачи коммивояжера.

**Список литературы.** 1. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. – М.: Наука, 1969. – 218с. 2. Раскин Л.Г., Кириченко И.О. Многоиндексные задачи линейного программирования. – М.: Радио и связь, 1982. – 240с. 3. Литтл Дж., Мурти К., Суини Д., Кэрел К. Алгоритм для решения задачи о коммивояжере: Пер. с англ. // «Экономика и математические методы», 1965. –Т.1.-№1. –С.12-20. 4. Раскин Л.Г., Серая О.В., Зинченко И.В. Генетический алгоритм адаптации генетических алгоритмов // «Інформаційно керуючі системи на залізничному транспорті», 2006. –№2.- С. 41-44. 5. Лысенко Ю.Г., Иванов Н.Н., Миц А.Ю. Нейронные сети и генетические алгоритмы. – Донецк: ООО «Юго-Восток», 2003. – 265с.

*Поступила в редколлегию 27.10.06*

УДК 330.43

**А. М. НАЗАРЕНКО**, канд. физ.-мат. наук, **А. А. ВАСИЛЬЕВ**

## **ОБ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ИГР**

У роботі описується процедура побудови та ідентифікації динамічних математичних моделей макроекономічних процесів у формі диференціальних рівнянь. Моделі будуються на базі понять диференційної теорії ігор і спираються на принцип максимуму в економічному аналізі. Еволюція досліджуваного явища трактується як рух вздовж градієнтних кривих емпіричної функції, що виражає досліджуваний показник через величини діючих на нього факторів.

В настоящее время в экономической деятельности все чаще стали обсуждаться и активно внедряются схемы принятия решений, основанные на балансе интересов всех участников ситуации, сложившейся на рынке. Изначально постулируется, что ситуация носит конфликтный характер и необходимо найти решения, согласовывающие частично противоречивые

интересы участников ситуации и разрешающие конфликт наилучшим, в некотором смысле, для всех участников образом. Для описания таких ситуаций задача оптимизации не может рассматриваться как адекватный инструмент принятия сбалансированных решений, так как в ней сложно, а порой и невозможно, учесть интересы всех конфликтующих, или кооперирующихся, сторон. В качестве адекватной математической модели принятия согласованных решений могут выступать системы задач оптимизации (в частности, обратные задачи оптимизации) или игровые модели, а в качестве решений рассматриваются равновесные решения. Переход от оптимизационных моделей к равновесным существенно сдерживается отсутствием численных методов решения равновесных задач. Поэтому разработка таких методов – актуальная проблема.

В настоящей работе на примере рассмотрения макроэкономической деятельности страны как конфликтной ситуации предлагается применить градиентный управляемый подход для построения и идентификации модели, описывающей ее и позволяющей давать краткосрочные прогнозы. Для решения поставленной задачи развивается оригинальный метод, сочетающий в себе эконометрический и дифференциально-игровой подходы, предложенный в [1].

При построении модели, будем использовать принцип максимизации прибыли в экономическом анализе [2], согласно которому при моделировании макроэкономической деятельности можно рассматривать рынок, все участники которого имеют одну цель – максимизировать собственную прибыль.

Рассмотрим рынок, состоящий всего из двух обобщенных участников. Первый – это производители товаров и услуг, которые выпускают конечный продукт, т.е. совокупность результатов их экономической деятельности. Второй участник – это домохозяйства, предоставляющие факторы производства и участвующие в производстве валового внутреннего продукта (ВВП), услуги которых оплачиваются производителями. Будем характеризовать деятельность первого участника объемом основных фондов  $p$ , а второго – численностью рабочей силы  $q$  (количеством рабочих, которые производят ВВП). Тогда, исходя из принципа максимизации прибыли в экономическом анализе, можно предположить, что в процессе экономической деятельности производители товаров в каждый момент времени выбирали объем производства и цены продаж, стремясь максимизировать ВВП  $h$ , и как следствие – свою прибыль. Домохозяйства, максимизируя собственную прибыль, стремились увеличить национальный доход (НД) (совокупность величин заработной платы рабочих и жалования служащих, дополнительных выплат, рентных доходов владельцев собственности, чистого процента по потребительским кредитам, прибылей корпораций и доходов собственников) и своими действиями увеличивали величину  $h$ , вследствие линейной зависимости величин ВВП и НД. Следовательно, если описать  $h$  некоторой функцией  $G(p, q)$ , то она будет

эмпирическим законом зависимости ВВП от объема основных фондов и количества рабочей силы и может быть истолкована как результат кооперативной деятельности между двумя описанными выше обобщенными игроками: производителем товаров потребления и домохозяйствами, который проявляется в каждый текущий момент времени. Таким образом, для построения модели, описывающей рассматриваемую ситуацию, достаточно иметь статистические данные об объеме основных фондов  $p$ , количестве рабочих  $q$  и ВВП  $h$ , на протяжении некоторого промежутка времени  $t = 0, \dots, N$ .

Для строгой постановки игровой задачи необходимо выработать критерии оптимальности, однако на основании имеющихся статистических данных и в связи со сложностью, случайностью и разнообразием возможных способов достижения поставленной цели (как производителями, так и домохозяйствами) этого сделать невозможно. Но если провести аналогию с постановкой кооперативных дифференциальных игр при воздействии на динамическую систему неопределенных помех, функцию  $G(p, q)$  будем трактовать как функцию выигрыша в кооперативной игре, когда производитель товаров потребления и домохозяйства выбирают независимо свои стратегии  $p \in P^*$  и  $q \in Q^*$  из некоторых замкнутых и ограниченных множеств  $P^*$ ,  $Q^*$ . Предлагаемая трактовка дает основания предположить, что эволюция величин  $p(t)$  и  $q(t)$  изучаемого процесса кооперации проходит вдоль градиентной кривой функции  $G(p, q)$ . Тогда, следуя [3], функции  $p(t)$  и  $q(t)$  являются решением системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dp}{dt} = u(t) \frac{\partial G(p, q)}{\partial p}, \quad \frac{dq}{dt} = v(t) \frac{\partial G(p, q)}{\partial q} \quad (1)$$

при начальных условиях  $p(0) = p^*(0)$ ,  $q(0) = q^*(0)$ , где  $p^*(0)$  и  $q^*(0)$  – значения соответствующих показателей в нулевой момент времени из исходных статистических данных. Так как в работе строится дескриптивная модель экономики, которая базируется на ретроспективном анализе данных, то формально функции  $u(t)$  и  $v(t)$  следует определять из имеющихся статистических данных так, чтобы при  $t = 1, \dots, N$  решения  $p(t)$  и  $q(t)$  уравнений (1) приближенно удовлетворяли равенствам

$$p(t) \approx p^*(t), \quad q(t) \approx q^*(t), \quad t = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Содержательный смысл функций  $u(t)$  и  $v(t)$  следующий: функция  $u(t)$  характеризует скорость, с которой производитель инвестировал средства в развитие основных фондов, а функция  $v(t)$  характеризует скорость, с которой стимулировался прирост рабочей силы (например, с помощью социальных гарантий и дотаций в зависимости от необходимости вложений труда в рост ВВП). Если рассмотреть систему (1) с экономической точки зрения, можно заметить, что ее первое уравнение представляет скорость роста основных фондов ( $\dot{p}$ ) как произведение скорости капитальных вложений  $u(t)$  в данный момент времени на эффективность расширения объема основных фондов для



роста чистой прибыли  $\frac{\partial G(p, q)}{\partial p}$ , что полностью согласуется с экономической теорией [2] и подтверждает адекватность экономического применения построенной модели.

С другой стороны, систему (1) можно рассматривать как управляемую систему, в которой  $u$  и  $v$  являются функциями управления. В работе они зависят только от времени, т. е. рассматривается система с чистым управлением. В этом случае считается, что решения о значениях функций  $u(t)$  и  $v(t)$  в каждый момент времени  $t$  принимаются только на основании опыта лица принимающего решения или экспертных оценок. Также можно было бы предположить, что состояние системы (1) в текущий момент времени будет влиять на функции  $u$  и  $v$  (например, скорость капитальных вложений будет зависеть от текущей стоимости основных фондов и от скорости их прироста, и чем выше последняя, тем больше целесообразность инвестировать средства в их развитие при данной норме эффективности вложений). Поэтому можно выбирать функции управления исходя из экономических соображений, например, строить их в виде  $u(t, p, q, \dot{p}, \dot{q})$  и  $v(t, p, q, \dot{p}, \dot{q})$ , тогда это будет более сложное, но эффективное управление с обратной связью, которое можно применять, например, в оптимизационных моделях.

Для идентификации модели (1) выберем функции  $u(t)$  и  $v(t)$  в виде

$$\begin{aligned} u(t) &= b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_k t^k, \\ v(t) &= c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + \dots + c_m t^m, \end{aligned} \quad (3)$$

где степени  $k$  и  $m$  устанавливаются экспериментально. Об оптимальном выборе степеней полиномов (3) будет сказано ниже.

Задача оценивания неизвестных коэффициентов (задача идентификации модели) теоретически может быть решена несколькими способами [4], но процедуры их численной реализации требуют настолько много вычислений, что проведение полной процедуры идентификации модели (1) затруднительно. Поэтому в работе предложен другой подход к ее решению, который базируется на эконометрическом аппарате и позволяет не только провести регрессионный и корреляционный анализ модели, но и оценить качество приближения с помощью коэффициента детерминации  $R^2$  [5].

Для этого перепишем систему (1), в отличие от [1], в интегральной форме:

$$\begin{cases} p(t) = p_0 + \int_0^t u(t) \frac{\partial G(p(t), q(t))}{\partial p} dt, \\ q(t) = q_0 + \int_0^t v(t) \frac{\partial G(p(t), q(t))}{\partial q} dt. \end{cases} \quad (4)$$

Интегральная запись (4) позволяет сгладить случайные выбросы в исходных статистических данных и избежать процедуры их предварительной фильтрации, которая внесет в них дополнительные неточности, т. е. (4) будет

более устойчива к ошибкам в исходных данных, что является неизбежным при моделировании экономических систем.

Следуя (4), в работе предлагается следующая приближенная модель:

$$\begin{aligned} p_t &= p_0 + b_0 \sum_{i=0}^{t-1} \frac{\partial G(p(i), q(i))}{\partial p} + \dots + b_k \sum_{i=0}^{t-1} i^k \frac{\partial G(p(i), q(i))}{\partial p} + u_k, \\ q_t &= q_0 + c_0 \sum_{j=0}^{t-1} \frac{\partial G(p(j), q(j))}{\partial q} + \dots + c_m \sum_{j=0}^{t-1} j^m \frac{\partial G(p(j), q(j))}{\partial q} + v_m, t = 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь степени  $k$  и  $m$  определены в (3),  $p_0, q_0, b_i$  ( $i = 0, \dots, k$ ),  $c_j$  ( $j = 0, \dots, m$ ) – неизвестные константы, подлежащие оцениванию,  $u_k$  и  $v_m$  – случайные отклонения модели.

Применение модели (5) позволит не только идентифицировать функции  $u(t)$  и  $v(t)$ , оценив неизвестные коэффициенты методом наименьших квадратов, но и, в силу того, что значения величин  $p$  и  $q$  в момент времени  $t$  зависят только от их значений в предыдущие моменты времени, дать краткосрочный прогноз динамики развития изучаемых величин.

Для выбора оптимальных степеней полиномов, аппроксимирующих функции управления  $u(t)$  и  $v(t)$ , в работе предлагается использовать эконометрический аппарат, который применяется для оценивания значимости вклада добавленного члена в уравнение регрессии [5]. Для этого рассмотрим, например, первое уравнение системы (5) как простую полиномиальную регрессию, в которую с наращиванием степени добавляются новые члены. Для установления того, что вновь добавленная независимая переменная

$$X_k = \sum_{i=0}^{t-1} i^k \frac{\partial G(p(i), q(i))}{\partial p} \text{ действительно оказывает влияние на зависимую}$$

переменную  $p$ , воспользуемся двусторонним критерием значимости коэффициента  $b_k$ :

$$\left| \frac{\hat{b}_k}{\hat{\sigma}_{b_k}} \right| > t_{kp}, \quad (6)$$

где  $\hat{b}_k$  – оценка коэффициента  $b_k$ ,  $\hat{\sigma}_{b_k}$  – его стандартная ошибка,  $t_{kp}$  – критическое значение Стьюдента, соответствующее данному числу степеней свободы  $N-k$  и уровню значимости  $\alpha$ .

Применить односторонний критерий, хотя он и дает меньшую ошибку второго рода, мы не можем, в силу того, что неизвестна направленность влияния  $X_k$  на переменную  $p$ . Если критерий (6) выполнится для  $\hat{b}_k$ , но не выполнится для коэффициентов  $\hat{b}_{k+1}$  и  $\hat{b}_{k+2}$ , то, следуя [6], можно заключить, что  $k$  является оптимальной степенью полинома, так как добавление следующих членов не дает значимого вклада в уравнение регрессии. Как

показал численный эксперимент, именно оптимальные (в описанном выше смысле) степени полиномов (3) позволяют давать наиболее точные прогнозные значения исследуемых величин при использовании модели (4). Функция  $G(p, q)$  может быть любой гладкой производственной функцией, связывающей показатели в системе (1). Условие гладкости будет гарантировать существование производной в любой точке этой функции. Например, функция Леонтьева [5] является производственной, но она, в силу того, что является кусочно-гладкой, не может быть использована в модели (1). Применение в качестве  $G(p, q)$  мультипликативной производственной функции типа Кобба-Дугласа

$$G(p, q) = a_0 \cdot p^\alpha \cdot q^\beta \quad (7)$$

позволяет не только замкнуть модель, но и дать качественное экономическое обоснование полученным результатам.

Например, показатели  $\alpha$  и  $\beta$  являются коэффициентами эластичности выпуска (ВВП) по затратам основного капитала ( $p$ ) и труда ( $q$ ):

$$\alpha = \frac{p}{G} \cdot \frac{\partial G}{\partial p}, \quad \beta = \frac{q}{G} \cdot \frac{\partial G}{\partial q}.$$

Показатели  $\alpha$  и  $\beta$  должны быть больше нуля, так как увеличение затрат ресурсов  $p$  и  $q$  вызывает рост ВВП. С другой стороны,  $\alpha$  и  $\beta$  должны быть меньше единицы, так как разумно предположить, что увеличение затрат  $p$  и  $q$  приводит к более медленному росту ВВП в силу правила насыщения [2]. Если по отдельности показатели эластичности  $\alpha$  и  $\beta$  указывают на процентное увеличение (или уменьшение) ВВП при однопроцентных колебаниях величин капитала  $p$  и труда  $q$ , то их сумма  $\alpha + \beta$  отражает уже общую реакцию производства на указанные изменения показателей. Она характеризует эффект от масштаба производства. При  $\alpha + \beta = 1$  имеем постоянный эффект от масштаба производства (ВВП увеличивается в той же пропорции, что и  $p$ , и  $q$ ), наблюдается постоянная отдача факторов. Если  $\alpha + \beta > 1$ , ВВП растет в большей пропорции и наблюдается возрастающий эффект от масштаба производства. Если же  $\alpha + \beta < 1$ , налицо убывающий эффект от масштаба производства (ВВП растет в меньшей пропорции, чем  $p$  и  $q$ ), наращивание затрат ресурсов оборачивается снижением их продуктивности [5]. В подобных ситуациях говорят об экономическом спаде (неэффективном использовании ресурсов) страны [7].

Отметим, что соотношение (7) следует рассматривать совместно с системой (5). Однако после проведения описанной выше процедуры идентификации получаются значения величин  $p$  и  $q$ , которые не будут соответствовать ни табличным данным, ни системе (5), (7). Чтобы устранить эти недостатки в работе предлагается использовать следующий итерационный алгоритм.

1. Строим производственную функцию  $G(p, q)$ , например, вида (7). Для этого ее неизвестные коэффициенты определяем с помощью метода наименьших

квадратов из условий близости функции  $G(p, q)$  исходным статистическим данным о динамике величины  $h$ .

2. Используя (5), осуществляем процедуру идентификации этой модели. После чего получим новый набор значений  $p$  и  $q$  ( $p^*$  и  $q^*$ ).

3. Вычисляем новый набор значений  $h$  ( $h^*$ ) по формуле (7), подставляя в нее коэффициенты, найденные в п. 1, и значения  $p^*$  и  $q^*$ .

4. Повторяем шаги 1-3, пока не удовлетворятся заданная точность по всем изучаемым величинам. В качестве критерия остановки итерационной процедуры может быть использовано неравенство

$$\max_i |x_i - x_i^*| < \varepsilon, \quad (8)$$

где  $x$  – значения величины на предыдущей итерации,  $x^*$  – значения этой же величины в текущий момент,  $\varepsilon$  – точность.

5. Вычисляем прогнозные значения величин  $p$  и  $q$  с помощью формулы (5). Прогнозное значение  $h$  находится подстановкой найденных величин в функцию (7).

Продemonстрируем практическую применимость предложенной модели на примере динамики развития Украины в период 1970-1988 гг. [8]. Построение модели проведем на данных 1970-1986 гг., а на 1987 г. и 1988 г. будем вычислять прогнозные значения изучаемых величин.

Таблица 1. Макроэкономические показатели Украины в период 1970-1988 гг.

$t$	Год	Основные фонды $p$ (млрд. руб.)	Численность рабочих $q$ (млн. чел.)	ВВП $h$ (млрд. руб.)
0	1970	102.11	16.13	122.44
1	1971	109.25	16.61	131.01
2	1972	116.40	17.10	135.95
3	1973	124.57	17.42	148.15
4	1974	133.76	17.90	155.49
5	1975	140.91	18.23	161.62
6	1976	151.12	18.71	168.96
7	1977	161.33	19.03	177.53
8	1978	170.52	19.35	184.88
9	1979	179.71	19.68	187.33
10	1980	194.00	20.00	191.00
11	1981	205.23	20.16	195.97
12	1982	217.48	20.32	203.24
13	1983	229.74	20.32	211.81
14	1984	243.01	20.48	219.16
15	1985	255.00	20.70	242.00
16	1986	265.20	20.70	249.26
17	1987	277.95	20.60	258.94
18	1988	290.70	20.40	266.20

Аппроксимируем зависимость величины валового внутреннего продукта от объема основных фондов и численности рабочих страны функцией вида (7). После оценивания неизвестных коэффициентов методом наименьших квадратов получим:

$$G(p, q) = 3.220 \cdot p^{0.578} \cdot q^{0.357}, \quad R^2 = 0.9815.$$

Здесь высокое значение коэффициента детерминации  $R^2$  указывает на высокую степень соответствия построенной модели исходным данным, поэтому данная модель позволяет провести экономический анализ полученных результатов.

Анализ показывает, что коэффициенты эластичности основных фондов и рабочей силы равны  $\alpha = 0.578$  и  $\beta = 0.357$  соответственно. Так как  $\alpha + \beta < 1$ , то наращивание затрат ресурсов оборачивается снижением их продуктивности и можно заключить, что в экономике Украины в рассматриваемый период имел место экономический спад (неэффективное использование ресурсов). Вместе с тем, так как  $\alpha > \beta$ , то можно заключить, что имел место интенсивный рост экономики, который характеризуется увеличением затрат на развитие основных фондов, а не повышением эффективности использования трудовых ресурсов (повышением производительности труда). Проведенные расчеты в целом согласуются со сложившейся в то время экономической ситуацией (табл. 1) и подтверждают адекватность применения мультипликативной производственной функции в целях описания динамики развития страны.

Для того чтобы проследить динамику развития величин  $p$  и  $q$  была проведена процедура идентификации функций  $u(t)$  и  $v(t)$ , описанная выше. В результате получены следующие функции:

$$u(t) = 11.0125 - 0.310 \cdot t + 0.241 \cdot t^2 - 0.0115 \cdot t^3, \quad p_0 = 101.67;$$

$$v(t) = 0.176 - 0.0112 \cdot t, \quad q_0 = 16.10.$$

При добавлении новых членов к указанным полиномам существенного влияния на улучшение качества аппроксимации изучаемых величин они не оказывают. Визуальные представления функций  $u(t)$  и  $v(t)$  представлены на рис. 1.

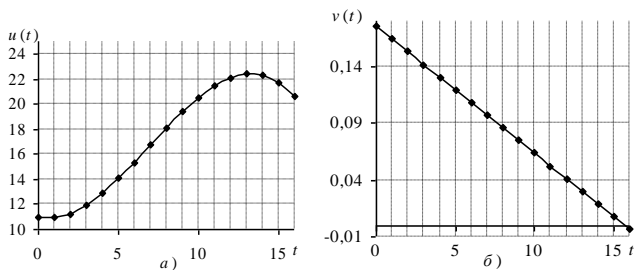


Рис. 1. Графики функций  $u(t)$  и  $v(t)$

Анализируя первый график (а), можно заметить, что в 1970-1972 годы наблюдалась практически неизменная скорость вложений в развитие основных фондов, которая сменилась их стремительным ростом в 1973-1983 годах, и последующим снижением вложений в эту отрасль, что способствовало снижению темпов роста стоимости основных фондов в 1984-1986 гг. (табл. 1). На втором графике (б) на протяжении всего периода четко видна тенденция к уменьшению темпа прироста количества рабочей силы, который к 1986 году принял отрицательное значение. Сказанное еще раз подтверждает, что высокие показатели роста ВВП Украины того периода были обусловлены развитием основных фондов, а не значимым улучшением роста производительности труда или вклада рабочей силы. Также из этих графиков очевидна тенденция к назревавшему кризису в экономике, так как наряду со снижением темпа роста рабочей силы, что может быть вызвано различными социальными факторами, наблюдается спад темпов прироста основных фондов.

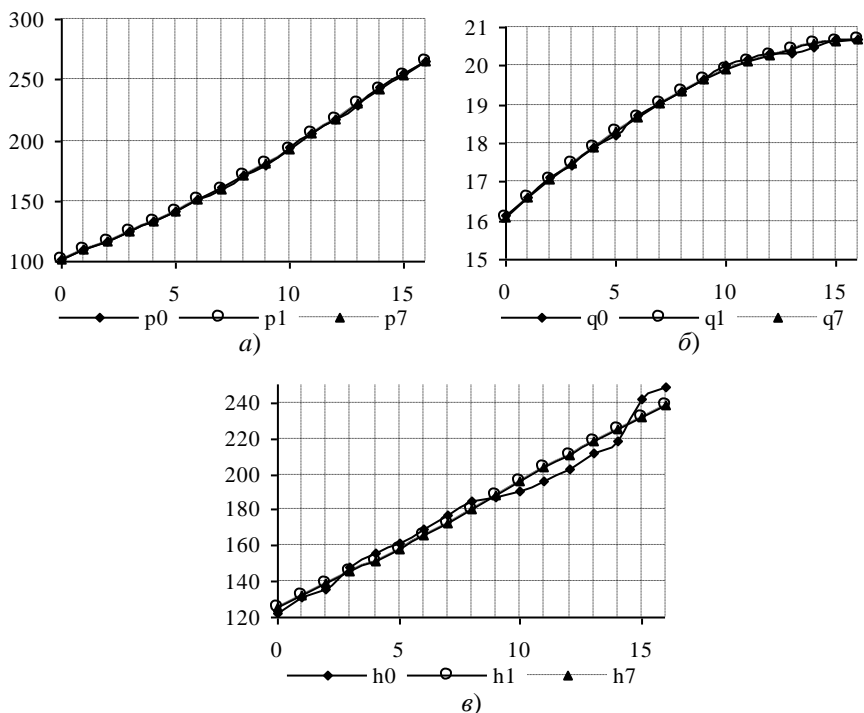


Рис. 2. Итерационный процесс и исходные значения  $p$  (а),  $q$  (б) и  $h$  (в)

Применение предложенного выше итерационного алгоритма при  $\varepsilon = 10^{-5}$  приводит к следующим результатам. При статистических данных, приведенных в табл. 1, для стабилизации величин  $p$ ,  $q$  и  $h$  достаточно всего 7 итераций. Итерационный процесс и исходные значения изучаемых величин изображены на рис. 2, где  $x_0$ ,  $x_1$  и  $x_7$  – значения соответствующих величин после нулевой (исходные данные), первой (классическая раздельная оценка уравнений (5) методом наименьших квадратов) и последней (сошедшейся) итераций. Как видно из представленных графиков, значения первой и последней итераций отличаются незначительно, о чем свидетельствуют и коэффициенты детерминации: для  $p$  имеем  $R_1 = 0.9995$ ,  $R_7 = 0.9996$ ; для  $q$  –  $R_1 = 0.9973$ ,  $R_7 = 0.9973$ ; для  $h$  –  $R_1 = 0.9682$ ,  $R_7 = 0.9684$ . Однако следует заметить, что именно данные, полученные на последней итерации, точно соответствуют системе (5), (7).

Рассчитанные по модели (5) прогнозные значения на 1987 г. равны 276.54 и 20.66 для  $p$  и  $q$  соответственно, относительные погрешности составили 0.51% для стоимости основных фондов и 0.29% для количества рабочей силы. На 1988 г. прогнозные значения величин  $p$  и  $q$  равны 286.15 и 20.60, погрешности прогноза составили 1.59% и 0.96% соответственно.

**Выводы.** Высокая степень соответствия модели исходным данным указывает на то, что предложенный метод построения и идентификации математических моделей экономических процессов может быть использован для качественного и количественного анализа явлений, происходящих в регионе с целью выработки предварительных управленческих решений о воздействии на экономику региона. Очевидно, что данная методика также может применяться для описания деятельности отдельных предприятий, отраслей производства и т.д. Высокая точность прогнозов для рассматриваемых данных дает предпосылки к использованию предложенного алгоритма для обработки статистических данных временных рядов с целью краткосрочного прогнозирования эволюции изучаемого экономического процесса.

**Список литературы:** 1. Назаренко А. М. Об эконометрико-игровом методе построения и идентификации математических моделей макроэкономических процессов // Механизм регулирования экономики – Сумы: ИТД «Университетская книга», 2006. – №1. – С. 105-114. 2. Макконелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: принципы, проблемы, политика: Пер. с 13-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 1999. – XXXIV, 974 с. 3. Antipin A. Gradient approach of computing fixed points of equilibrium problems. // Journal of Global Optimization, 2001. P. 1-25. 4. Альбрехт Э.Г., Быстрый Г.П. О динамических моделях эволюции некоторых макроэкономических процессов // Исследование федерализма в России: междисциплинарный подход. – Екатеринбург: Институт философии и права УрО РАН, 1999. – С. 214-232. 5. Назаренко О. М. Основы эконометрики: Підручник. – Київ: „Центр навчальної літератури”, 2004. – 392 с. 6. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т.: Пер. с англ. / Под ред Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тьюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с. 7. Сулов В.И., Ибрагимов Н.М., Тальшиева Л.П., Цыплаков А.А. Эконометрия. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 744с. 8. Народное хозяйство Украинской ССР: Стат. Ежегодник. – Киев: ЦСУ УССР.

Поступила в редколлегию 07.04.06

*В. Г. КАМБУРГ*, д-р техн. наук,

*Є. М. ПОТАПЧУК*, д-р псих. наук, НАПВУ

*В. П. НЕЗДОРОВІН*, канд. хім. наук,

*Н. П. ГАЛУШКО*, начальник кафедри організаційно-правових основ діяльності митних органів Хмельницького Центру ДМСУ

*А. В. СИМОН*, студент Хмельницького національного університету

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ КАДРОВОГО РЕЗЕРВУ КЕРІВНИКІВ СЕРЕДНЬОЇ ЛАНКИ МИТНИХ ОРГАНІВ**

У даній статті розглядається створення та аналіз моделі підтримки рішень у соціальній сфері, зокрема при формуванні кадрового резерву, за допомогою теорії графів та матричного моделювання. Запропонований метод може застосовуватись у будь-яких сферах життя, технічних, економічних та інших системах.

**1. Постановка проблеми.** Ефективність діяльності будь-якої установи, організації чи підприємства залежить від розбудови чіткої, оптимально виваженої управлінської ієрархії, розстановки на кожному її рівні менеджерів, з відповідним рівнем кваліфікації та особистісними якостями, та формування дієвого кадрового резерву для своєчасного заміщення вакантних посад керівників

Отже, проблема відбору та послідовної підготовки резерву керівних кадрів, з урахуванням особливостей діяльності на усіх рівнях управлінської ієрархії, вимагає більш ґрунтовного комплексного вивчення з точки зору різних наукових дисциплін, у тому числі математичного моделювання.

Однак, соціальна сфера, зокрема підбір управлінських кадрів, є однією з галузей, що достатньо складно формалізується. Ця складність полягає у змістовному встановленні взаємних зв'язків між головними чинниками впливу при всебічній оцінці осіб.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема підготовки управлінських кадрів, формування кадрового резерву починає частіше підніматися у дослідженнях провідних вітчизняних та зарубіжних науковців з менеджменту, психології управління, роботи з персоналом тощо. Під резервом керівних кадрів розуміють спеціально сформовану групу працівників, що по якостях відповідає вимогам, які висуваються до керівників певного рангу, пройшли атестаційний добір, спеціальну управлінську підготовку і досягли позитивних результатів у професійній діяльності. [15, 16, 19, 20].

Особливою актуальністю проблема формування кадрового резерву набуває в сучасних умовах розвитку державної служби в Україні, й митної служби зокрема, і регламентуються значною кількістю нормативних документів [1, 2, 5, 8, 9]. Однак сьогодні ще не створено комплексної системи формування



кадрового резерву митної служби з чітким визначенням послідовності її головних етапів, яка б ґрунтувалася на методологічних і науково-практичних підходах до підбору та відповідної підготовки управлінських кадрів, яка б відповідала сучасним вимогам до державної служби в Україні й стала передумовою оптимізації кадрового забезпечення митної служби та підвищення ефективності її діяльності в цілому.

Таким чином, реальний стан роботи з формування повноцінного кадрового резерву державних службовців - працівників митних органів ще не повною мірою відповідає вимогам сучасності. Сьогодні необхідно сконцентруватись на відпрацюванні чіткої послідовності роботи з формування кадрового резерву на посади керівників, зокрема керівників структурних підрозділів митних органів. Саме тому при дослідженні цих проблем доцільно залучати фахівців достатньо широкого кола прикладних дисциплін, зокрема з прикладної математики.

**3. Постановка завдання.** Ця стаття є спробою розробити на основі математичного моделювання найбільш ефективну схему послідовності роботи з кадровим резервом в митних органах, яка охоплює основні етапи його формування.

**4. Основний виклад матеріалу.** Головними завданнями формування кадрового резерву є:

- виявлення серед працівників установи, підрозділу осіб, що мають потенціал для призначення на керівну посаду;
- підготовка осіб, зарахованих до резерву керівних посад;
- здійснення планової горизонтальної ротації з метою розширення професійної компетентності;
- забезпечення своєчасного заміщення вакантних посад керівників з числа компетентних і здатних до управлінської роботи працівників, що пройшли підготовку у складі кадрового резерву;
- створення належних умов для наступності та сталості управління організацією та її підрозділами.

Отже спробуємо узагальнити існуючу систему роботи з кадровим резервом в митних органах, по блоках виділяючи її головні складові.

**Блок I. Підбір до кадрового резерву відповідно до формальних критеріїв.**

Підбір кандидатів у кадровий резерв здійснюється на підставі вимог професійно-кваліфікаційної характеристики відповідної посади шляхом вивчення матеріалів особової справи, результатів останньої атестації, характеристик на кандидата й відгуків його керівників, результатів співбесід з кандидатом, щорічної оцінки виконання працівником покладених на нього обов'язків і завдань, результатів підвищення кваліфікації, підсумкового контролю знань у системі професійного навчання без відриву від роботи або стажування на цій посаді. Також, беруться до уваги: вік (до кадрового резерву

не включаються особи передпенсійного віку), стаж роботи, професійна підготовка, ділові й особисті якості, необхідні для здійснення управлінської діяльності, результати роботи на займаній посаді, рекомендації атестаційних і конкурсних комісій. [4, 5, 8, 9,13, 14]

**Блок II. Вивчення ділових та особистісних якостей осіб, зарахованих до кадрового резерву** (на основі експертних оцінок та психологічного тестування).

*Експертна оцінка.* Методика експертних оцінок визначення особистих і ділових якостей управлінських працівників має на меті виявити суспільну думку про ступінь відповідності посаді зазначених якостей керівника. Цю думку виявляють за допомогою анкетного опитування заздалегідь визначеного контингенту працівників, здатних дати об'єктивні відповіді на поставлені в анкеті питання.

*Психологічне тестування.* Процедура тестування фактично передбачає оцінку особистісних, ділових та інших якостей керівників, зарахованих до кадрового резерву. Діагностичні методики повинні відповідати вимогам знань, умінь і навичок, особистих якостей, які необхідні працівнику для ефективної роботи на посаді керівника. [9]

**Блок III. Підготовка, реалізація та контроль виконання особистого річного плану осіб, зарахованих до кадрового резерву**

*Реалізація особистого річного плану.* Відповідно до п.4.1. Положення про систему організації роботи з кадровим резервом митної служби України, з особами, зарахованими до кадрового резерву, проводиться робота згідно з їх особистими річними планами, що затверджуються їх безпосередніми керівниками.

*Оцінка досягнутих результатів та аналіз виконання особистого річного плану.* Контроль та вивчення ступеня підготовленості здійснюється шляхом аналізу виконання особистого річного плану. Особи, що перебувають у резерві, кожні півроку звітують про виконання плану відповідному керівнику.

Щорічна оцінка виконання посадовими особами митної служби покладених на них обов'язків і завдань проводиться під час підведення підсумків роботи митного органу за минулий рік протягом січня наступного за звітним року.

**Блок IV. Навчання кадрового резерву**

*Навчання кадрового резерву* здійснюється за такими напрямками:

- підвищення кваліфікації в навчальному закладі за програмою підготовки кадрового резерву (періодичність підвищення кваліфікації кадрового резерву встановлюється залежно від виробничої потреби, але не рідше одного разу на три - п'ять років);
- професійне навчання без відриву від роботи (проводиться в митному органі з метою безперервного систематичного поповнення знань, умінь і навичок, набутих працівниками митних органів у навчальних закладах під час підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації);

- робота за програмою постійно діючого семінару з основ менеджменту та психології управління (мета програми: поглибити знання слухачів з найважливіших тем менеджменту та психології управління; звернути увагу на особливості формування колективу та складні моменти у керівництві структурним підрозділом; сформувати навички прийняття управлінських рішень, планування та ефективного використання робочого часу; розглянути основні особливості управлінського спілкування) [3, 4, 6, 9, 10, 11]

*Контроль знань.* Як правило здійснюється у формі написання випускної роботи (реферату) після завершення цільового підвищення кваліфікації, заліку за результатами професійного навчання без відриву від роботи, тестування відповідно до програми постійно діючого семінару з основ менеджменту та психології управління

Контрольне тестування проводиться після завершення навчання на семінарі. Тестові завдання складаються на основі теоретичного матеріалу відповідно до навчальної програми та практичних ситуацій. [6, 12, 13, 14]

Після проведення аналізу виконання особистого річного плану, результатів щорічної оцінки виконання посадовими особами покладених на них обов'язків і завдань, узагальнення інформації про роботу за попередніми етапами, приймається рішення щодо подальшої долі працівника, зарахованого до кадрового резерву. [6, 7, 12].

При попередньому розгляді та усій, на перший погляд, визначеності послідовності роботи з кадровим резервом виникає низка питань.

1. Оскільки початковий відбір та зарахування до кадрового резерву здійснюється за поданням безпосереднього керівника, чи повною мірою такий підхід виключає суб'єктивне ставлення керівника до підлеглого?

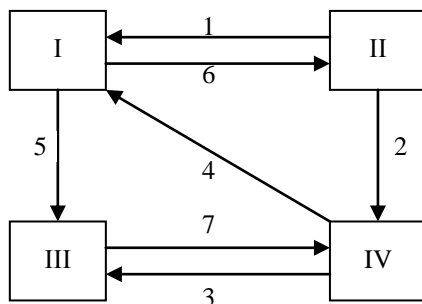
2. Чи враховуються особисті прагнення молодих фахівців у кар'єрному просуванні?

3. Можливо, з метою всебічного вивчення особистості та визначення найбільш здібних до управлінської діяльності працівників, спочатку проводити психологічне тестування?

4. Що є більш доцільним на початковому етапі: формування списку кадрового резерву чи навчання основам менеджменту та психології управління з подальшим відбором найбільш підготовлених та здібних осіб?

Отже, для відповіді на поставлені питання спробуємо на основі теорії графів розглянути один з можливих підходів до створення моделі формування кадрового резерву керівників для митної служби. [21, 22]. Виділені вище блоки визначимо як логічні складові, а зв'язки між ними – як інформаційні потоки.

Отримуємо наступний оргграф:



Для розрахунку порядку ієрархії системи робимо наступні кроки: визначаємо наявність циклів у схемі та, власне, розраховуємо порядок ієрархії системи.

1 крок. Шукаємо комплекси логічних блоків у системі. Для цього:

а) Будуємо матрицю суміжності. Число рядків і стовпців дорівнюють кількості логічних блоків; якщо в орграфі є інформаційний потік з  $i$ -го логічного блоку у  $j$ -й, то елемент матриці суміжності  $a_{ij} = 1$ , а в протилежному випадку  $a_{ij} = 0$ :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

б) Знаходимо комплекси, підносячи матрицю суміжності  $A$  до степені за правилами булевої алгебри, доки вона не повторить сама себе або поки всі її елементи не стануть одиницями:

$$c) \quad A^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad A^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

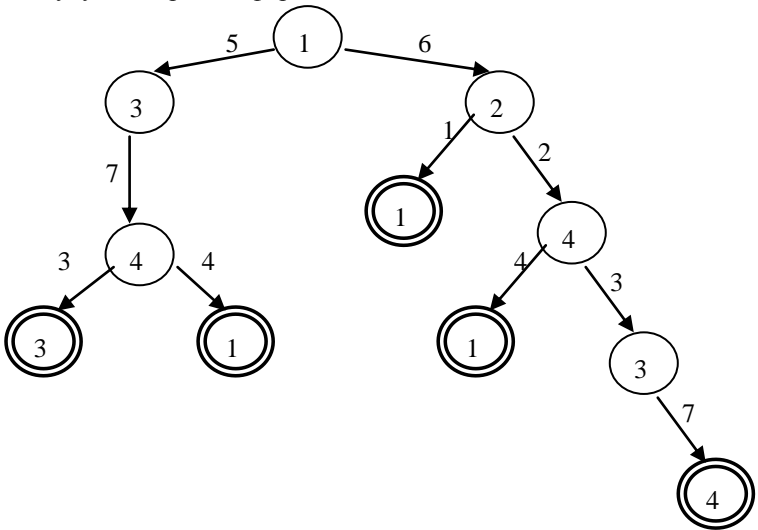
Так як всі елементи матриці  $A$  стали одиницями, то вся система є комплексом.

2 крок. За допомогою матриці Лі розраховуємо порядок ієрархії системи. Для цього робимо наступні кроки:

а) Будуємо таблицю інформаційних потоків:

№ потоку	З якого блоку виходить	В який блок входить
1	2	1
2	2	4
3	4	3
4	4	1
5	1	3
6	1	2
7	3	4

б) Побудуємо дерево інформаційних потоків:



с) Будуємо цикли по потоках:

№ циклу	1	2	3	4	5
№ потоку	3 7	4 7 5	1 6	4 2 6	7 3

d) Будуємо матрицю Лі:

№ потоку	1	2	3	4	5	6	7	Ранг
№ циклу								
<b>1</b>	0	0	1	0	0	0	1	2
<b>2</b>	0	0	0	1	1	0	1	3
<b>3</b>	1	0	0	0	0	1	0	2
<b>4</b>	0	1	0	1	0	1	0	3
<b>5</b>	0	0	1	0	0	0	1	2
$\Sigma$	1	1	2	2	1	2	3	

Для того, щоб утворити лінійну структуру, розриваємо 6 та 7 потоки.

e) Будуємо нову матрицю суміжності після розриву 6-го та 7-го потоків.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

f) Викреслюємо нульові стовпці та рядки. Отримуємо наступний розрахунковий порядок ієрархії системи: 2; 4; 1; 3.

**5.Висновки.** У даній роботі для визначення найбільш ефективної послідовності роботи з кадровим резервом державних службовців - працівників митних органів застосовано теорію графів та матричне моделювання підтримки рішень у соціальній сфері, у результаті чого отримано наступний розрахунковий порядок системи: 2;4;1;3. Отже, згідно визначеної послідовності, формування кадрового резерву доцільно розпочинати з вивчення ділових та особистісних якостей претендентів на зарахування до кадрового резерву. Наступним кроком має стати навчання основам менеджменту та психології управління на тематичних семінарах, у процесі професійного навчання без відриву від роботи в митних органах, цільового підвищення кваліфікації, що розкриває можливість професійного та особистісного розвитку майбутніх керівників. На наступному етапі здійснюється перевірка на відповідність формальним критеріям, тобто враховуються рівень освіти, стаж, досвід (широкий чи вузький) тощо. Завершується робота реалізацією особистого річного плану особи, зарахованої до кадрового резерву.

**Список літератури:** 1.Указ Президента України від 10.11.1995р. №1035/95 “Про затвердження програми кадрового забезпечення державної служби”. 2.Указ Президента України від 19.05.1995р. №381/13 “Про заходи щодо вдосконалення роботи з кадрами в органах виконавчої влади, з керівниками підприємств, установ і організацій”. 3.Положення систему підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації державних службовців, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 08.02.97 № 167 4.Положення про єдиний порядок підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації керівників державних підприємств, установ і організацій, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 08.02.97 № 167 5.Положення про формування кадрового резерву для державної служби, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 28.02.01 № 199 6.Положення про порядок стажування у державних органах, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 01.12.94 № 804 7.Порядок проведення конкурсу на заміщення вакантних посад державних службовців, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 15.02.02. № 169 8.Рекомендації Голодержслужби України щодо застосування окремих норм Положення про формування кадрового резерву для державної служби, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 28.02.01 №199 (лист від 22.05.02 №41/2770) 9.Положення про систему організації роботи з кадровим резервом митної служби України, затверджене наказом Держмитслужби України від 05.12.03. № 837. 10.Положення про систему підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації особового складу митної служби України, затверджене наказом Держмитслужби України від 07.07.03 № 439. 11.Положення про організацію професійного навчання особового складу митної служби України без відриву від роботи, затверджене наказом Держмитслужби України від 07.07.03 № 439. 12.Порядок проведення іспиту кандидатів на заміщення вакантних посад у митній службі України, затверджений наказом Держмитслужби України від 28.01.02 № 590 13.Загальний порядок проведення щорічної оцінки виконання державними службовцями покладених на них обов’язків та завдань, затверджений наказом Голодержслужби України 31.10.03. №122 14.Положення про порядок проведення щорічної оцінки виконання посадовими особами митної служби покладених на них обов’язків і завдань, затверджене наказом Держмитслужби України від 28.01.03 №55 15.*Веснин В.Р.* Основы менеджмента. – М.: Институт международного права и экономики им. А.С. Грибоедова, 1999. 16.*Крушельницька О.В., Мельничук Д.П.* Управління персоналом: Навч. посібник. - К., Кондор. - 2003. 17.*Лозниця В.С.* Психологія менеджменту: Навч. посібник. - К.: КНЕУ, 1997. 18.*Машков В.Н.* Психологія управління: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2000. 19.*Савченко В.А.* Управління розвитком персоналу: Навч. посібник. - К.: КНЕУ, 2002. 20.*Самарський А.А., Михайлов А.П.* Математическое моделирование: М.: Физматлит – 2002. 21.*Таран Т.А.* Основы дискретной математики: Киев - 1997. 22.*Шкатула В.И.* Настольная книга менеджера по кадрам. - М.: НОРМА - ИНФРА, 1999.

*Надійшла до редакції 23.10.06*

УДК 519.685

***И. П. ГАМАЮН***, доктор технических наук, ***О. В. БОРИСЕВИЧ***

## **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОБОСНОВАННОСТИ РЕШЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА СБОРКИ**

В статті пропонується постановка задачі, яка забезпечує урахування факторів, що дозволяють підвищити рівень обґрунтованості рішення при визначенні технологічної структури системного

технічного об'єкту складання. Технологічна структура визначається як компромісний варіант технологічної схеми складання на повній множині варіантів цих схем.

In the paper proposed the task definition that ensures the improvement of the solution quality regarding the search of optimal structure of the technological object of assembly. Technological structure defined as the best alternative among the full set of structure variants.

**Введение.** На первом этапе синтеза технологического процесса сборки изделий машиностроения, приборостроения, рассматриваемых как системные технические объекты сборки (СТОС), исследуется реализация организационных принципов его построения. Одним из главных организационных принципов является распараллеленность процессов сборки. Для отражения степени распараллеленности используется технологическая схема сборки (ТСС), которая показывает порядок введения в сборочный процесс структурных элементов СТОС – элементов (деталей) и подсистем (технологических сборочных единиц) различных иерархических уровней в варианте структуры СТОС заданного вида. Различным степеням реализации принципа распараллеленности соответствуют различные варианты ТСС системного технического объекта (ТСС СТО), являющиеся результатом преобразования вариантов структуры СТОС, получаемых на основе определенного элементного состава и связей между элементами конструкции СТОС [1,2].

Реализация системного подхода для определения или выбора технологической структуры СТОС связывается с решением следующих основных задач: формирования множества альтернативных вариантов ТСС СТО, формирование множества локальных критериев для оценки вариантов ТСС СТО и, наконец, определение или выбор компромиссного варианта ТСС СТО.

Обоснованность решения, получаемого путем реализации системного подхода, зависит от полного множества альтернатив, мощности множества локальных критериев и от числа принципов компромисса, используемых для определения или выбора компромиссного варианта среди рассматриваемых альтернатив. Современный уровень обоснованности решения при определении технологической структуры СТОС достигается использованием полного множества альтернативных вариантов ТСС СТО, на котором ведется поиск компромиссного варианта с учетом двух локальных критериев – продолжительность цикла сборки и объем ресурса, необходимого для построения процесса сборки по варианту ТСС СТО. При этом в качестве принципа компромисса используется принцип гибкого учета приоритета рассматриваемых локальных критериев [3].

Поэтому концепцией повышения достигнутого уровня обоснованности может быть увеличение мощности множества локальных критериев и числа принципов компромисса, на основе которых определяется компромиссный вариант ТСС СТО.



**Постановка задачи исследования.** Сформулированной концепции повышения уровня обоснованности решений соответствует следующая постановка задачи исследования.

Определить технологическую структуру СТОС как компромиссный вариант ТСС СТО на полном множестве альтернативных вариантов ТСС СТО путем:

- увеличения мощности множества локальных критериев за счет добавления к ранее используемым критериям продолжительности цикла сборки ( $T$ ), объема ресурсов ( $R$ ) еще одного критерия, характеризующего неравномерность использования ресурса в течении цикла сборки ( $W$ );
- использования разных принципов компромисса – принципов жесткого и гибкого учета приоритетов локальных критериев, а также целого ряда принципов, не учитывающих приоритеты локальных критериев (принцип равномерности, справедливой уступки, выделения главного критерия и т.д.).

Если обозначить через  $j$  индекс альтернативного варианта ТСС СТО ( $j \in \overline{1, N}$ ), где  $N$  – число вариантов в их полном множестве, и принять во внимание что каждому принципу компромисса  $i \in \overline{1, M}$  соответствует некоторый тип отношения  $\Phi_i$  на рассматриваемой тройке локальных критериев, то приведенная содержательная постановка задачи исследования формулируется как

$$\forall i \in \overline{1, M} \min_{j \in \overline{1, N}} \Phi_i \langle T(j), R(j), W(j) \rangle \quad (1)$$

**Метод решения задачи.** Для оценки значения локальных критериев  $T(j), R(j)$  ( $j \in \overline{1, N}$ ) в выражении (1) используются топологические свойства моделей вариантов ТСС СТО в виде соответствующих вариантов сетей Петри, в которых позиции и переходы распределяются по уровням иерархии  $l \in \overline{0, L_j}$  [3]. Если оценки критериев обозначить как  $\tilde{T}(j)$  и  $\tilde{R}(j)$ , то

$$\tilde{T}(j) = L_j, \quad (2)$$

$$\tilde{R}(j) = \max_{t_{kl}^i \in T_{js}^i} \{I(t_{kl}^i) - 1\} + \sum_{\mu \in m, t_{kl}^i \in T_{js\mu}^i} \max \{I(t_{kl}^i) - 1\}, \quad (3)$$

где  $T_{js}, T_{js_\mu}$  – множества переходов  $t_{kl}^j$ , которые соответственно образуют ветви общей и узловой сборки ( $\mu$  - индекс подсистемы или узла).

Определение  $\tilde{T}(j)$  с помощью выражения (2) основывается на допущении о возможности перехода с одного уровня модели ТСС СТО на другой за один такт времени.

Определение же  $\tilde{R}(j)$  с помощью выражения (3) основывается на распараллеленности процесса сборки, в полной мере отражаемой моделью в виде сети Петри. При этом распараллеленность реализуется двумя способами – введением ветвей сборки, которые выполняются параллельно (одновременно), и параллельным (одновременным) сопряжением нескольких структурных элементов СТОС в рамках каждой ветви варианта ТСС СТО.

Каждый из этих способов требует ресурсного обеспечения. Поэтому значение  $\tilde{R}(j)$  на реализацию процесса сборки по варианту ТСС СТО ЯЯЯ представляет собой сумму, число слагаемых в которой определяется числом ветвей сборок, а значение каждого слагаемого определяется максимальным числом структурных элементов, сопрягаемых одновременно в каждой ветви.

Оценкой меры неравномерности использования ресурса на интервале, равном циклу сборки, является среднеквадратическое отклонение функции использования ресурса  $\tilde{R}_T(j)$  от значения среднего этой функции  $\tilde{R}'_T(j)$ . Эта оценка аналогична той, которая используется в сетевом планировании и управлении, и определяется выражением:

$$\tilde{W}(j) = \frac{1}{\tilde{T}(j)} \frac{1}{\tilde{T}(j)} \int_0^{\tilde{T}(j)} (\tilde{R}_T(j) - \tilde{R}'_T(j)) dt, \quad (4)$$

где среднее значение функции использования ресурса определяется как

$$\tilde{R}'_T(j) = \frac{1}{\tilde{T}(j)} \int_0^{\tilde{T}(j)} \tilde{R}_T(j) dt.$$

Функция  $\tilde{R}_T(j)$  имеет кусочно-постоянный характер на всем интервале своего изменения  $T(j)$  и изменяет свои значения в точках сопряжения структурных элементов. Основой для построения  $\tilde{R}_T(j)$  является вариант ТСС СТО или его модель в виде сети Петри с учетом распределения ресурса, необходимого для выполнения действий для сопряжения структурных элементов СТОС.

Для определения компромиссной альтернативы оценки локальных критериев (2), (3), (4) преобразуются с помощью выражений:

$$\begin{aligned}
 K_1(j) &= \frac{\tilde{T}(j) - \tilde{T}_{\min}}{\tilde{T}_{\max} - \tilde{T}_{\min}}, \\
 K_2(j) &= \frac{\tilde{R}(j) - \tilde{R}_{\min}}{\tilde{R}_{\max} - \tilde{R}_{\min}}, \\
 K_3(j) &= \frac{\tilde{W}(j) - \tilde{W}_{\min}}{\tilde{W}_{\max} - \tilde{W}_{\min}},
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Где  $\tilde{T}_{\max}, \tilde{T}_{\min}, \tilde{R}_{\max}, \tilde{R}_{\min}, \tilde{W}_{\max}, \tilde{W}_{\min}$  соответственно максимальные и минимальные значения оценок локальных критериев оптимальности на множестве альтернативных вариантов ТСС СТО.

Преобразование (5) обеспечивает выполнение следующих требований [4]:

Учитывает необходимость минимизации величины отклонений от оптимальных значений по каждому локальному критерию оптимальности;

Имеет общее начало отсчета и один порядок изменения значений на всем множестве допустимых альтернатив;

Сохраняет отношения предпочтения на множестве альтернатив, сравниваемых по множеству локальных критериев оптимальности, и тем самым не изменяет множества эффективных альтернатив, среди которых находится искомая компромиссная альтернатива.

Альтернативы  $j \in \overline{1, N}$  распределяются в пределах куба показанного на рис. 1. Одна из вершин куба со стороны равной единице совпадает с началом координат пространства  $E^3$ , а три ребра, сходящиеся в этой вершине, располагаются на положительных осях.

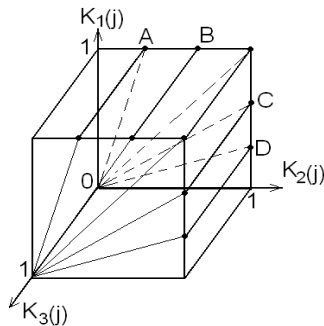


Рис. 1. Область в виде куба в пространстве  $E^3$ , в которой располагаются допустимые альтернативы  $j \in \overline{1, N}$ .

Эффективные альтернативы, среди которых находится искомый компромиссный вариант, определяются минимизацией по  $j \in \overline{1, N}$  критерия

$$\sum_{v \in \overline{1,3}} \alpha_v K_v(j), \text{ где } \alpha_v \geq 0 (v \in \overline{1,3}), \sum_{v \in \overline{1,3}} \alpha_v = 1 \text{ при различных значениях}$$

$$\alpha_v (v \in \overline{1,3}).$$

Высокий уровень трудоемкости определения эффективных альтернатив обуславливается, главным образом, большой размерностью задачи (большим значением  $N$ ) и переборным характером алгоритма решения задачи.

Снижения уровня трудоемкости можно добиться за счет структуризации области (куба), в которой распределяются допустимые дискретные альтернативы. Эта структуризация аналогична той, которая реализуется для решения задачи определения компромиссной альтернативы в случае двух критериев оптимальности и заключается в распределении области допустимых альтернатив на части в соответствии с типом производства – массового, крупносерийного, среднесерийного, мелкосерийного и единичного [3]. В каждой из выделяемых частей число альтернатив значительно меньше, чем в исходной области, что сокращает перебор. Кроме этого, если в некоторой части, соответствующей определенному типу производства, отсутствуют альтернативы, то это означает непригодность рассматриваемой конструкции СТОС для этого типа производства.

Для разбиения куба на части, соответствующие различным типам производства, воспользуемся соотношением между значениями критериев  $K_1(j)$  и  $K_2(j)$ . Чем больше степень распараллеленности, выражаемой некоторым вариантом ТСС СТО, и соответственно чем выше серийность производства, тем больше значение  $K_2(j)$  и меньше значение  $K_1(j)$ . Соотношение между значениями  $K_1(j)$  и  $K_2(j)$  позволяет разбить координатный угол  $K_2(j)OK_2(j)$  лучами  $OA, OB, OC, OD$  на пять частей, соответствующих пяти рассматриваемым типам производства [3]. Далее, проводя плоскость через указанные лучи и ось  $OK_3(j)$ , получаем требуемое разделение куба допустимых альтернатив на части, которые соответствуют рассматриваемым типам производства, что и показывается на рис. 1.

**Заключение.** Анализ факторов, влияющих на обоснованность решения многокритериальной задачи по определению технологичной структуры СТОС, показал, что существуют резервы для повышения уровня по таким факторам, как увеличение мощности множества локальных критериев и числа принципов компромисса, используемых для определения компромиссной альтернативы. В данной статье поставлена и решена задача по определению технологической структуры СТОС как компромиссного варианта ТСС СТО

на полном их множестве допустимых вариантов в случае трех локальных критериев оптимальности и нескольких принципов компромисса, что значительно повышает уровень обоснованности решения по сравнению с ранее полученным результатом решения этой же задачи.

**Список литературы:** 1. Гамаюн И. П. Автоматизированный синтез структурированного представления сложной технической системы // Управляющие системы и машины. – Киев, 2000. - №1. –С.21-26. 2. Гамаюн И. П., Борисевич О. В. Автоматизация процесса формирования математической модели системного технического объекта сборки // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. - №7 (Т. 1). – С.3-14. 3. Гамаюн И. П., Коваленко Е. С. Определение оптимального варианта технологической схемы сборки с учетом типа производства // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. - №18. – С.19-24. 4. Михалевиц В.С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука. – 1982. – 287 с.

*Поступила в редакцию 31.10.06*

УДК 681.3.07

**Е.П.ПУТЯТИН**, д-р техн. наук, **А.В.ГОРОХОВАТСКИЙ**

## **ПОСТРОЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ МОМЕНТНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОМЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ**

Наведено результати досліджень по формуванню інваріантних до геометричних перетворень ознак зображень. Інваріанти базуються на застосуванні перетворення Радона з подальшим представленням у вигляді послідовності моментів, обчислених для одновимірних проєкцій. Отримано аналітичний вигляд інваріантів, наведено результати дослідження швидкодії їх обчислення та завадозахищеності при розпізнаванні зображень цифр.

The results of researches on formation of invariant attributes in geometrical transformations are given. Invariants are based on application of transformation of Radon with the further representation as sequence of the moments calculated for one-dimensional functions. Analytical expressions of invariants are received, results of speed of their calculation and noise immunity are resulted at recognition of images of figures.

**1. Введение.** Построение инвариантов и нормализация геометрических преобразований – это основные проблемы компьютерного зрения [1]. Эффективным путем их решения с точки зрения быстродействия является построение признаков проєкций изображения, формируемых на базе применения преобразования Радона [2,3]. Достоинствами проєкций есть высокая помехозащищенность, а также простая и быстрая реализация соответствующих алгоритмов. Быстродействие таких методов в сотни раз выше соответствующих показателей корреляционного метода [2]. Известны применения классических инвариантных моментных признаков на базе преобразования Радона при распознавании подписей [4]. При этом вопросы изменения образов Радона под воздействием геометрических преобразований еще недостаточно исследованы. Естественным путем упрощения инвариантов является их построение для одномерных пространств функций проєкций. Это должно обеспечить упрощение процедур

распознавания с сохранением высокой помехозащищенности и быстродействия.

Цель работы – построение инвариантных к геометрическим преобразованиям значений признаков на базе одномерных проекций.

Задачи исследования – вывод аналитических значений инвариантов, исследование влияния параметров геометрических преобразований на функции проекций, оценка быстродействия и помехозащищенности соответствующих методов распознавания.

**2. Построение инвариантов.** Моментные инварианты являются удобной и надежной системой признаков при распознавании визуальных объектов [1,5,6]. Распространение получили в основном двумерные инварианты, сформированные в том числе и на основе двумерных сигналов, полученных применением к исходному изображению  $V(i, j)$  преобразования Радона [4]. Рассмотрим выражение для одномерных моментов в виде:

$$m_k = \int_X f(x) x^k dx, \quad (1)$$

где  $f(x)$  – функция, для которой вычисляется момент,  $X$  – область определения функции  $f(x)$ ,  $k = 0, 1, \dots$  – порядок момента. Считается, что область определения  $X$  функции  $f(x)$  не изменяется при её геометрических преобразованиях [1]. Использование моментов в качестве признаков базируется на теореме, устанавливающей взаимно однозначное соответствие между функцией  $f(x)$  и набором её моментов  $m_k$  [5].

Выражение для центральных моментов имеет вид

$$\mu_k = \int_X f(x) \left(x - \frac{m_1}{m_0}\right)^k dx, \quad (2)$$

где  $m_0$ ,  $m_1$  – соответственно моменты нулевого и первого порядка, вычисленные по формуле (1). Известно, что центральные моменты  $\mu_k$  инвариантны к преобразованиям смещения функции  $f(x)$ .

При смещениях изображения  $V(i, j)$  в поле зрения  $D$  с параметрами  $a_1, a_2$  в виде  $V(i + a_1, j + a_2)$  его радоновский образ  $R(p, \theta, a_1, a_2)$  задается выражением [2]:

$$R(p, \theta, a_1, a_2) = R(p + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta, \theta)$$

что при фиксированном  $\theta$  соответствует однопараметрическому смещению по параметру  $p$  в пространстве радоновских образов. Таким образом, центральные моменты  $\mu_k$ , вычисленные для функции  $R(p, \theta, a_1, a_2)$  по

переменной  $p$  при фиксированном  $\theta$ , являются инвариантами к смещениям исходного изображения. В то же время величины  $\mu_k$  можно рассматривать как функции от параметра  $\theta$ .

При преобразованиях однородного масштаба вида  $B(i\alpha, j\alpha)$ , где  $\alpha$  - параметр масштаба, соответствующий радоновский образ изменяется по закону [2]:

$$R(p, \theta, \alpha) = \frac{1}{\alpha} R(\alpha p, \theta).$$

В этой ситуации для построения инвариантов на базе функции  $R(p, \theta, \alpha)$  предлагается использовать следующие значения:

$$\xi_k = \frac{m_k}{\frac{k+2}{(m_0)^2}}, \quad (3)$$

построенные на основе моментов вида (1).

Докажем их инвариантность к преобразованиям однородного масштаба. В значениях моментов в выражении (3) сделаем замену:  $p' = \alpha p$ . При подстановке получаем:

$$\xi_k = \frac{\frac{1}{\alpha^{k+2}} \int R(p', \theta) p'^k dp'}{\frac{1}{\alpha^2} \int R(p', \theta) dp'} \frac{P}{\frac{k+2}{P}} = \frac{\int R(p', \theta) p'^k dp'}{\int R(p', \theta) dp'} \frac{P}{\frac{k+2}{P}},$$

где  $P$  - область определения параметра  $p$  преобразования Радона. Видно, что последнее выражение уже не зависит от  $\alpha$ , а, значит, значение  $\xi_k$  является инвариантом к однородному масштабированию.

Инвариантами к комбинации преобразований смещений и однородного масштаба исходного изображения  $B(i, j)$  являются величины

$$\zeta_k = \frac{\mu_k}{\frac{k+2}{(\mu_0)^2}}, \quad (4)$$

полученные подстановкой в (3) значений центральных моментов  $\mu_k$  вместо моментов  $m_k$ . Заметим, что в вычислительном аспекте величина (4) является более

сложной, чем (3).

При неоднородном масштабировании изображения с параметрами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в виде

$B(i\alpha_1, j\alpha_2)$  для преобразования Радона имеем выражение [2]:

$$R(p, \theta, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \iint_D B(x', y') \delta(p - \frac{x'}{\alpha_1} \cos \theta - \frac{y'}{\alpha_2} \sin \theta) dx' dy', \quad (5)$$

где  $B(x', y')$  - функция изображения с областью определения  $D$ . В частности, при  $\theta = 0$  радоновский образ согласно (5) имеет вид зависимости:

$$R(p, 0, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_2} R(\alpha_1 p, 0),$$

а при  $\theta = 90^\circ$

$$R(p, 90^\circ, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_1} R(\alpha_2 p, 90^\circ),$$

что говорит о глубокой взаимосвязи величин поворота  $\theta$  и масштабирования  $\alpha_1, \alpha_2$  в радоновском пространстве.

В качестве инвариантной системы признаков для преобразований неоднородного масштаба предлагаются функции вида:

$$v_k = \frac{\int (R(p, \theta))^{k+1} p^k dp}{(m_0)^{k+1}}, \quad (6)$$

построенные на функциональных моментах [1] степени  $k+1$  от радоновского образа  $R(p, \theta)$ . Докажем их инвариантность. Для этого выполним замену переменных в соотношениях (5),(6), после чего получаем:

$$v_k = \frac{\left(\frac{1}{\alpha_1 \alpha_2}\right)^{k+1} \int R(p', \theta)^{k+1} p'^k dp'}{\alpha_1 \alpha_2 P} = \frac{\int R(p', \theta)^{k+1} p'^k dp'}{P} = \frac{\left(\frac{1}{\alpha_1 \alpha_2}\right)^{k+1} (\int R(p', \theta) dp')^{k+1}}{P} = \frac{(\int R(p', \theta) dp')^{k+1}}{P}.$$

Как видим, результирующее выражение не зависит от параметров масштаба  $\alpha_1, \alpha_2$ , что означает его инвариантность.

Инвариантами к смещениям и неоднородным масштабам будут следующие



величины

$$\gamma_k = \frac{\int (R(p, \theta))^{k+1} \left(p - \frac{m_1}{m_0}\right)^k dp}{(\mu_0)^{k+1}} \quad (7).$$

Основная идея построения инвариантов вида (3), (4), (6), (7), как видим, состоит в формировании выражений в виде отношения моментов (линейных функционалов), в которых исключено влияние заданных параметров геометрических преобразований.

Рассмотрим теперь построение инвариантов при преобразованиях поворота изображения на угол  $\varphi$ . Радоновский образ при этом изменяется по закону [2]:

$$R(p, \theta, \varphi) = R(p, \theta - \varphi).$$

Как видим, поворот исходного изображения на угол  $\varphi$  приводит к соответствующему смещению радоновского образа по параметру  $\theta$  при фиксированном значении  $p$ . Это делает возможным применение уже полученных соотношений (2), (4) в качестве инвариантных признаков к поворотам. Значения моментов в выражениях (2), (4) теперь надо вычислять по переменной  $\theta$ .

Рассмотрим теперь пути построения инвариантов для более сложных комбинированных преобразований изображений. Такие инварианты можно построить на использовании уже полученных соотношений.

Так при комбинации преобразований масштабирование-поворот предлагается использовать интегрирование инвариантных функций (3) и (6) по переменной  $\theta$ , в результате получим соответствующие инварианты в виде

$$\int \xi_k(\theta) d\theta, \quad \int v_k(\theta) d\theta.$$

При преобразованиях метрической группы (масштабирование, поворот, смещения) применим интегрирование инвариантных функций (4), (7) по переменной  $\theta$ . Полученные инварианты имеют вид интегралов

$$\int \zeta_k(\theta) d\theta, \quad \int \gamma_k(\theta) d\theta. \quad (8)$$

### 3. Реализация

При дискретном представлении функция изображения и его преобразование Радона имеют вид матриц. Пусть  $N \times N$  - размер исходного изображения,  $M \times N$  - размер его матрицы преобразования Радона, где  $N$  - количество дискретных значений по переменной  $p$ ,  $M$  - количество дискретов по переменной  $\theta$ . Подсчитаем количество необходимых арифметических операций для вычисления классических и предложенных инвариантов. Для этого сравним число операций при вычислении стандартного двумерного центрального момента  $\mu_{02}$  и предложенного инварианта (4). Обе эти величины есть инвариантами к преобразованиям смещения, а величина (4) является еще и инвариантом к однородному масштабу. Время формирования классического

инварианта можно оценить величиной:

$$N \times N \times t_c \times (1 + 6t_c + 9t_c^2),$$

где  $t_c$  - время сложения, а время умножения для определенности принято равным значению  $3t_c$ . Для предложенных инвариантов (4) на базе одномерных проекций оценка составляет:

$$N \times t_c \times (2 + 12t_c + 15t_c^2).$$

Сравнивая приведенные значения оценок, видим, что быстродействие вычисления предложенных инвариантных значений по отношению к классическим инвариантам несколько выше, так как соотношение описанных

величин равно примерно  $\frac{3}{5} N$ . Видно, что выигрыш растет пропорционально размеру изображения  $N$ .

#### 4. Эксперименты

На рис. 1 в качестве примера приведены изображения и полученные для них значения инвариантов (7) к комбинации преобразований неоднородного масштаба и смещений. На рис.2 приводятся изображения и нормированные по количеству строк значения инвариантов вида (8) к поворотам.

Исходное бинарное изображение имеет размеры  $64 \times 64$ , яркость информационной части сигнала изображения принята равной 0, яркость фона – значению 255. После сегментации яркость сигнала равна 1, фона – 0. Инварианты вычисляются для сегментированных изображений.

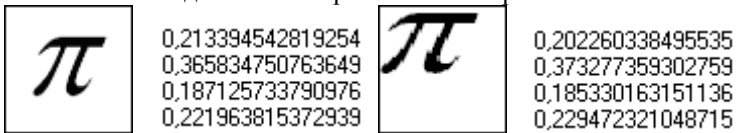


Рис.1 Изображения и инварианты (смещения, масштабирование)



Рис.2 Изображения и инварианты к повороту

Как видим, вычисление описанных инвариантов осуществляется с достаточно высокой точностью, которая для принятого в эксперименте поля зрения находится в пределах значения 5%.

Изучим теперь действие аддитивного гауссового шума на примере наиболее простых инвариантов вида (4) к смещениям. Отношение сигнал-шум на сегментированном изображении будем измерять величиной  $\psi = \frac{1}{\sigma}$ ,

где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение аддитивного шума с нулевым средним,  $1$  – амплитуда сигнала изображения.

На рис. 3 приведены примеры изображений и соответствующие значения инвариантов: 3,а) – для эталонов, 3,б) – при  $\psi = 0,2$ .



Рис.3 Действие аддитивного шума на инварианты к смещениям:  
а) изображение и инварианты без шума, б) изображение и инварианты при соотношении  $\psi = 0,2(\sigma = 5)$ .

Исследования показали, что инварианты на базе преобразования Радона с точки зрения помехозащищенности намного эффективнее по сравнению с классическими инвариантами, построенными на двумерных центральных моментах. При уровнях  $\psi = 0,2(\sigma = 5)$  и  $\psi = 0,1(\sigma = 10)$  относительная погрешность в определении значений предлагаемых инвариантов вида (4) составила 1% и 3% соответственно. Для классических же инвариантов при  $\psi = 0,2$  погрешность еще находится в допустимых пределах (3%), но уже при  $\psi = 0,1$  эти инварианты использовать нельзя, так как погрешность достигает величины 50%.

Статистические эксперименты по исследованию помехозащищенности применения предложенных и классических инвариантов состояли в следующем. В качестве распознаваемого набора выбраны изображения цифр шрифта Times New Roman с яркостью 1 на фоне яркости 0 в поле  $64 \times 64$ . Непосредственно изображения цифр при этом находились в пределах прямоугольника размером  $15 \times 20$ , т.е. относительная площадь распознаваемых цифр равнялась примерно 7,3% поля зрения. На вход подавалось преобразованное, зашумленное действием аддитивного шума изображение, выбранное случайным образом из набора 10 эталонов. Вероятность распознавания оценивалась как частота правильных решений в серии из 1000 реализаций шума.

Эксперименты показали, что вероятность распознавания цифр до уровня  $\psi = 0,3(\sigma = 3)$  равна 1, а при уровне шума  $\psi = 0,2(\sigma = 5)$  составляет

величину 0,99 как с использованием предложенных, так и классических инвариантов. При дальнейшем росте уровня помех  $\psi = 0,15(\sigma = 7)$  соответствующие вероятности равны 0,97 и 0,8, а при  $\psi = 0,1(\sigma = 10)$  преимущество предлагаемых одномерных инвариантов становится подавляющим, т.к. вероятности правильного распознавания равны 0,86 и 0,4.

## 5. Выводы

Научная новизна предложенного подхода состоит в сочетании интегральных свойств преобразования Радона с переходом из двумерного пространства изображений в пространство векторов-проекции, что в результате дает повышение эффективности применительно к задачам построения инвариантов и распознавания. Преобразование Радона позволяет выделить спектр существенных свойств сигнала изображения. Помехозащищенность при использовании одномерных проекций из-за влияния интегральных свойств преобразования Радона остается на высоком уровне, а время вычислений значительно сокращается в линейной пропорции к размеру изображения.

Практическая значимость работы заключается в повышенном быстродействии предложенных процедур распознавания по сравнению с классическими подходами, а также высокой устойчивости к шуму, что подтверждается экспериментами на реальных изображениях.

Использование полной информации о матрице преобразования Радона в виде множества функций проекций позволяет построить для любого фиксированного набора эталонов достаточное для качественного распознавания количество эффективных инвариантных признаков.

**Список литературы:** 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990.- 320 с. 2. *Гороховатский А.В., Путятин Е.П.* Применение преобразования Радона для нормализации изображений. // Бионика интеллекта. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. №1(62).- с. 3-9. 3. *Хермен Г.* Восстановление изображений по проекциям.- Москва: Мир, 1983.- 350с. 4. *Трипольська В.В.* Класифікація підписів на основі інваріантних моментів простору ознак перетворення Радона // Прикладна геометрія і комп'ютерна графіка, 2002, №71, с. 235-239. 5. *Анисимов Б.В., Курганов В.Д. Злобин В.К.* Распознавание и цифровая обработка изображений. Учебное пособие для вузов. – Москва: Высшая школа, 1983. -294с. 6. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. Пер. с англ. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с.

*Поступила в редколлегию 11.10.06*

УДК 681.3.07

**В.А. ГОРОХОВАТСКИЙ**, кандидат технических наук

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕДУР ГОЛОСОВАНИЯ В СТРУКТУРНЫХ МЕТОДАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Приведено результати досліджень по розпізнаванню зображень шляхом порівняння їх представлень у вигляді множин локальних ознак. Розглянуті методи голосування с

універсальними при застосуванні до різноманітних практичних задач та мають високу стійкість до дії фонових та локальних завад. Обговорюються варіанти практичного застосування та оцінка якості роботи відповідних алгоритмів.

Results of researches on recognition of images are resulted by comparison of their representations as sets of local attributes. The considered methods of voting possess universality of application for a different practical problems and high stability to action of background and local distortions. Variants of practical realization, and also quality estimation of work corresponding algorithms are discussed.

## 1. Введение

В структурно-иерархических методах распознавания изображений необходимо устанавливать сходство визуальных объектов, представленных в виде множеств локальных признаков [1,2]. Эффективным путем вычисления этого сходства и распознавания можно отнести применение процедур голосования [3]. Суть голосования сводится к тому, что каждый структурный элемент объекта отдает свой «голос» (или вес) в пользу одного (или нескольких) из принимаемых решений. Окончательно решение принимается по суммарному количеству голосов для каждого из вариантов.

Методы голосования применительно к анализу изображений обладают таким важным свойством, как возможность формирования группового сходства на основе похожих элементов объектов, невзирая на несоответствие их отдельных локальных признаков. Это делает рассматриваемые методы устойчивыми к действию фона и влиянию помех. Близкую идею использует преобразование Хафа (Hough) [3,4], где при переходе в пространство параметров подсчитывается количество точек объекта, голосующих за конкретное значение параметра при заданной аналитической модели объекта.

Цель работы – построение универсальных методов распознавания объектов на изображениях путем применения структурного анализа и процедур голосования.

Задачи исследования – создание теоретического подхода к установлению сходства на множестве эталонов, анализ особенностей применения, исследование свойств и эффективности метода.

## 2. Описание подхода

Пусть принятие решения о классе объекта  $V(x, y)$  выполняется на основе анализа совокупности фрагментов  $b_k(x, y) \subset V(x, y)$ . Функция  $V(x, y)$  определена в поле зрения  $D, (x, y) \in D$ . Функции фрагментов  $b_k(x, y)$  определены на подобластях  $D_k \subset D$ , полученных в процессе сужения  $D$  на  $D_k$ , причем  $D = \bigcup D_k$ . Преимущества подхода основаны на том, что отдельные части визуальных объектов изменяются по своему виду в меньшей степени, чем целый объект [8].

Функция  $V(x, y)$  в результате приобретает вид множества функций

$$V(D) = \{b_1(D_1), b_2(D_2), \dots, b_s(D_s)\}, \quad (1)$$

где  $s$  – количество фрагментов.

Для целей распознавания изображения в структурном представлении построим на множестве фрагментов решающее правило в виде иерархической системы

$$\eta = \psi(r_1(b_1), \dots, r_s(b_s)), \quad (2)$$

где  $r_k(b_k)$  – локальные решения,  $\psi$  – функция обработки локальных решений. Пусть  $i$  – номер класса изображения (или распознаваемых визуальных объектов),  $i = 0, \dots, m$ ,  $m$  – количество классов, номер 0 соответствует случаю, когда фрагмент не относится ни к какому из  $m$  классов. Пусть множество локальных решений  $A_k$  – это либо фиксированное значение "i" класса изображения, либо ограниченное множество номеров классов, к которому может относиться анализируемый фрагмент изображения  $b_k$ . Конкретному локальному решению  $r_k(b_k)$  соответствует конечное множество  $A_k$  в виде  $A_k = i$  либо  $A_k = \{i_1, \dots, i_k\}$ ,  $i \in \{0, \dots, m\}$ ,  $i_q \in \{0, \dots, m\}$ . Применение процедуры голосования в задаче распознавания выглядит следующим образом. Голосующую функцию  $T(i)$  для  $i$ -го класса при варианте  $A_k = i$  определим как

$$T(i) = \sum_k \alpha_k, \quad \forall k [r_k = i], \quad i = 0, \dots, m, \quad (3)$$

где  $\alpha_k > 0$  – вес решения  $k$ -го фрагмента. В значении  $\alpha_k$  отражаются свойства «важность», «вероятность появления», «информативность» и т.д. Суммирование ведется по тем значениям  $k$ , для которых принято решение  $r_k = i$ . При равноценных фрагментах считается  $\alpha_k = 1$ .

При учете голосования фрагментов одновременно за представителей нескольких классов ( $A_k = \{i_1, \dots, i_k\}$ ) голосующая функция будет иметь вид

$$T(i) = \sum_k \alpha_k, \quad \forall k [i \in A_k], \quad i = 0, \dots, m. \quad (4)$$

Глобальное решение определяется по значению функции  $T(i)$ . Объект считается принадлежащим эталону с номером  $k^*$ , если выполняется условие

$$k^* = \arg \max_i T(i). \quad (5)$$

Учитывая, что решение (2) в виде (5) принимается «коллективом» фрагментов, можно ставить вопрос о выборе подмножества наиболее информативных (компетентных) фрагментов, решение которых часто является определяющим независимо от решений остальных фрагментов. Будем считать, что такой анализ отражается в значениях  $\alpha_k$  в (3),(4).

### 3. Пространство локальных признаков

Реализация решения (2) в виде (3)-(5) осуществляется путем сопоставления фрагментов в построенных пространствах локальных признаков [3-6].

Сформируем набор локальных признаков, вычисленных для фрагмента  $b_k$ , в виде вектора  $v^k = (v_1, \dots, v_n)^k$ ,  $v_j \in \mathbb{R}$ , где  $\mathbb{R}$  - пространство действительных чисел,  $j = \overline{1, n}$ ,  $n$  - размер вектора. В большинстве задач компьютерного зрения [3-6] компоненты  $v_j$  считаются нормированными величинами, вносящими одинаковый вклад в решающее правило. Обычно  $v_j$  - это отклики локальных фильтров. Для установления идентичности векторов локальных признаков  $v^1, v^2$  можно использовать одну из мер сходства в пространстве векторов  $\mathbb{R}^n$ , например

$$\rho(v^1, v^2) = \sum_{i=1}^n |v_i^1 - v_i^2|. \quad (6)$$

В классическом описании признаки -  $n$ -мерные векторы  $v = (v_1, \dots, v_n)$  с нормальным распределением и известными параметрами: математическим ожиданием  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_n)$  и матрицей ковариации признаков  $\Sigma = \{\sigma_{ij}\}$ .

Важной также есть информация о пространственном расположении конкретного фрагмента в структурном представлении объекта, так как она определяется взаимным расположением фрагментов, составляющих объект. Иногда удается также формализовать множество отдельных типов рассматриваемых фрагментов в виде «угол», «отрезок», «край», «перепад», «линия» и т.д. Пусть эта информация для  $k$ -го фрагмента содержится в некотором кортеже  $\beta^k = \{z_k, t_k\}$ ,  $k = \overline{1, s}$ . Здесь  $z_k$  - информация о координатах,  $t_k$  - о типе фрагмента (характерной точки).

Формирование компонентов  $v_j$  вектора признаков требует определенных усилий. В целях оптимизации признакового пространства при вычислении значений  $v_j$  нужно принимать решения как о значимости величин  $v_j$ , так и о значимости вектора признаков  $v$  в целом. При этом считаем неделимой единицей анализируемых данных фрагмент (и соответствующий ему вектор  $v$ ). Значимость понимается как степень проявления (или информативности) признака, заложенная в его значении. Этим отсекаются неперспективные для анализа фрагменты и в результате уменьшаются требования по вычислительной сложности.

Распознавание обычно осуществляется в условиях геометрических преобразований объектов. Поэтому важным моментом является обеспечение инвариантности компонентов  $v_j$ . Можно считать, что все признаки  $v_j$

обладают свойством инвариантности к группе преобразований  $G$ . Для этого  $v_j$  должны быть получены применением некоторых процедур  $\varphi_j$ , инвариантных к преобразованиям из группы  $G$  в виде  $v_j = \varphi_j(b_k)$ .

Пусть в результате представления изображения объекта получено конечное множество векторов  $V = \{v^j\}$ , относительно которого нужно принять решение, соответствует ли оно эталонному описанию. Эталонная информация в зависимости от решаемой задачи может быть задана либо одним множеством векторов  $E = \{e^q\}$  (задача обнаружения), либо конечным множеством векторов  $E_i = \{e^q\}_i$  (задача распознавания), где  $i = 0, 1, \dots, m$ .

Таким образом, речь идет о необходимости построения конкретных отображений  $\Omega: (V, E) \rightarrow (0, 1)$  либо  $\Omega_i: (V, \{E_i\}) \rightarrow (0, 1)$ . Здесь отображение  $\Omega$  устанавливает соответствие (1) или несоответствие (0) фиксированному эталону. Отображение  $\Omega_i$  в качестве результата применения имеет либо номер эталона  $i$ , либо вывод о несоответствии ни одному из эталонов (0).

Одним из наиболее эффективных путей построения отображений  $\Omega, \Omega_i$  в силу оптимальности является метод сравнения с эталоном [3, 8]. Известны метрическая, статистическая и спектральная интерпретации этого подхода. Каждое из отображений в рамках этой модели можно реализовать с помощью построения глобальной меры сходства между множествами векторов признаков, сформированных для фрагментов объекта и эталонов. Результирующая мера при этом базируется на величине локальной меры  $\rho$  для отдельно взятых векторов.

Принимая во внимание изменчивость визуальных данных и трудности формирования эффективных систем признаков, для получения локальных решений по отдельному фрагменту можно рекомендовать метод «ближайших соседей» [6]. Он заключается в отнесении неизвестного вектора признаков к тому классу, к эталонному образцу которого этот вектор наиболее близок. Допускается наличие более одного образца из класса. Классификация по ближайшему соседу эффективна, даже если классы имеют сложную структуру или перекрываются. К более быстрой действующим, чем метод ближайших соседей, подходам можно отнести методы классификации по среднему и дисперсионный анализ, которые, однако, накладывают существенные ограничения на формирование пространства признаков и распознаваемые классы.

#### **4. Алгоритмы и реализация**

Принятие решения для задачи обнаружения можно предложить путем реализации следующей последовательности действий.



1. Вычисляем значения локальных сходств  $\rho_{i,j} = \rho(v^i, e^j) \quad \forall i, j$ , которые определяются для всевозможных пар «вектор признаков изображения – вектор признаков эталона». Необходимость применения полного перебора возможных соответствий объясняется отсутствием в общем случае информации об ограничениях на соответствие пар фрагментов, принадлежащих анализируемому объекту и эталону. Если такая информация имеется, то количество анализируемых пар векторов можно уменьшить за счет вычисления сходства только для заранее допустимых соответствий. Например, применяют некоторый предикат эквивалентности в виде

$$P_1(v^i, v^j) = \begin{cases} 1, & \text{если допускается эквивалентность } v^i \text{ и } v^j, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Фрагменты, для которых  $P_1(v^i, v^j) = 1$ , допускаются к дальнейшей обработке. Основанием для построения предиката  $P_1$  может быть, например, близость координат центров сопоставляемых фрагментов на базе информации, имеющейся в кортеже  $\beta_k$ .

2. Формируем подмножество  $\{\rho_{i,j}^*\}$  значимых локальных сходств как результат применения предиката  $P_2$

$$\rho_{i,j}^* = P_2(\rho_{i,j}), \quad \text{где } P_2(\rho_{i,j}) = \begin{cases} \rho_{i,j}, & \text{если } \rho_{i,j} \leq \delta_1, \\ 0, & \text{если } \rho_{i,j} > \delta_1. \end{cases}$$

Здесь  $\delta_1$  - некоторый порог для величины локального сходства, с помощью которого отсеиваются фрагменты, которые нельзя считать эквивалентными. Этот этап реализуется путем сравнения с эталоном или методом ближайшего соседа.

3. На базе совокупности значений  $\{\rho_{i,j}^*\}$  устанавливаем результирующее сходство  $\eta = \psi[\{\rho_{i,j}^*\}]$ , по величине которого и принимаем решение о соответствии объекта эталону, т.е. об обнаружении заданного эталона на изображении. Естественным видом функции  $\psi$  может быть, например, формирование суммы  $\eta = \sum \rho_{i,j}^*$  всех значений локальных сходств, прошедших логическую обработку на этапах 1,2. Такую сумму, конечно, нужно нормировать количеством используемых в решении векторов или фрагментов объекта. Другим вариантом есть подсчет количества фрагментов объекта, сходство которых с эталоном удовлетворяет перечисленным требованиям. На этом этапе незримо присутствует некоторый порог  $\delta_2$  для величины  $\eta$ , с помощью которого задается достоверность обнаружения. Величину этого порога можно оценить статистическим путем [2,7]. В

качестве значения  $\delta_2$  можно использовать количество фрагментов, «голосующих» за присутствие объекта.

В результате применения приведенной последовательности действий путем анализа локальных сходств каждого из элементов множества фрагментов объекта с фрагментами эталона выбирается подмножество фрагментов объекта, «голосующих» за эталон. Количественно значение результирующего голоса определяется значением величины  $T(i)$ . По результатам голосования, т.е. по отобранным фрагментам (их номера нужно зафиксировать), теперь можно оценить параметры геометрических преобразований обнаруживаемого объекта.

При решении более сложной задачи распознавания с использованием рассмотренного подхода проводится минимизация расстояния между голосом и эталонами классов, которое формируется на процедуре голосования. Реализация этой процедуры сводится к следующему: каждый вектор информативных признаков объекта сопоставляется со всеми векторами информативных признаков фрагментов каждого из эталонов. В аккумуляторе в соответствии с (3),(4) накапливается количество или суммарная мера сходства  $T(i)$  подмножества фрагментов каждого из эталонов, отдавших предпочтение этому вектору объекта. При этом допустимо разнообразие путей построения функции  $T(i)$ . Например, если локальные признаки считать значениями одной и той же  $n$ -мерной случайной величины (признаки одинаковые), то в качестве  $T(i)$  можно подсчитать количество признаков на конкретном эталоне, локальное сходство с которыми анализируемого признака  $v$  находится в пределах порога  $\delta_1$ .

Эффективность распознавания в существенной мере зависит от грамотно проведенной процедуры обучения, которая в данной ситуации сводится к выбору для каждого из эталонов системы фрагментов, значения признаков которой существенно различаются между собой. Здесь может быть учтена и информация о координатах выбранных фрагментов.

Мера сходства  $\eta$  в обсуждаемой реализации вычисляется в два этапа. На первом этапе с помощью локальной меры  $\rho$  устанавливается допустимое соответствие фрагментов, а на втором определяется окончательное значение меры. Здесь возможны разнообразные модели построения итогового сходства, включая многоэтапный анализ, пространственные комбинации фрагментов и др.

Перспективным направлением в построении процедур голосования есть принятие решений по совокупностям (комбинациям, комплексам) фрагментов. Понятно, что если, например, два разных фрагмента объекта, расположенных некоторым фиксированным образом, «проголосовали» за один и тот же эталон, в структуре которого их эталонные соответствия расположены аналогично, то ценность их общего голоса значительно возрастает. Если же их расположение не идентично размещению в структуре

эталона, то ценность такого локального решения должна быть существенно меньше. С другой стороны, здесь нужно опираться на строгую формализацию понятий «расположены аналогично», учитывая наличие геометрических преобразований и инвариантность значений элементов векторов  $v^j$ . Таким же образом можно построить комбинации трех и более признаков. При этом можно сформировать новые инварианты более глобального плана на базе этих комбинаций либо анализировать взаимное расположение уже сформированных инвариантных векторов.

Экспериментальное компьютерное моделирование метода проводилось на полутоновых изображениях автомобилей размером  $64 \times 64$  с 256 градациями яркости на сложном фоне. Использовался вариант голосования каждого вектора признаков только за один наиболее похожий эталон (класс). При действии аддитивных случайных помех для амплитудного соотношения сигнал-шум более 6 достигнута вероятность распознавания выше 0,96. Эта же вероятность для метода частных корреляций [1] достигается при соотношении сигнал-шум более 3. Как видим, устойчивость метода частных корреляций в этом случае несколько выше. Для случая локальных помех вероятность распознавания при применении методов голосования достигает значения более 0,95 при соотношении сигнал-шум выше 1/4, в то время как для частных корреляций эта же вероятность достигается при соотношении сигнал-шум выше 1/2,5. Здесь уже значительно эффективнее предлагаемый подход. Время распознавания в эксперименте для предлагаемого метода при количестве эталонов, равном 3, и размеру вектора признаков, равном 4, оказалось в пять раз меньше, чем для метода частных корреляций.

## 5. Заключение

Научная новизна метода состоит в построении и реализации на базе процедур голосования меры для структурного сопоставления изображений в пространстве векторов признаков, что позволяет существенно повысить эффективность распознавания в условиях сложного фона, локальных помех и неполной информации об анализируемых изображениях объектов.

Практическая значимость работы заключается в высоком быстродействии метода по сравнению с корреляционными подходами и устойчивости к локальным помехам, что подтверждается экспериментами на полутоновых изображениях.

Рассмотренный подход обладает также такими несомненными достоинствами, как универсальное формирование вектора информативных признаков для произвольных задач структурного анализа, не накладывая особых ограничений на выбор эталонов и конкретный вид голосования. Успех его применения зависит прежде всего от вида и свойств функций  $\varphi$  формирования информативных локальных признаков, локального сходства  $\rho$ , предикатов логической обработки  $P_1, P_2$ , порогов  $\delta_1, \delta_2$ , функционала  $\psi$  построения глобального сходства. К параметрам метода также относятся:  $s$  -

количество фрагментов (а также способ разбиения на фрагменты),  $n$  - размер вектора признаков,  $m$  - количество эталонов.

Основное предназначение процедур голосования состоит в повышении эффективности принятия решений в условиях неполного представления объектов, вызванного действием фона и помех [2]. Перспективным направлением является разработка методов голосования комбинаций фрагментов.

**Список литературы:** 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. Москва: Машиностроение, 1990. 320с. 2. *Гороховатский В.А.* Распознавание изображений в условиях неполной информации. Харьков: ХНУРЭ, 2003. 112 с. 3. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. Пер. с англ. -Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928с. 4. Зарубежная радиоэлектроника, 1987, №10. 5. Schmid C., Mohr R., Vauckhage C. Evaluation of interest point detectors. - Internation Journal of Computer Vision, 2000, V. 2, №37. P. 151-172. 6. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. Пер. с англ.- Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с. 7. Гороховатский В.А. Структурно-иерархические методы определения сходства изображений объектов // АСУ и приборы автоматики, 2005, вып.131, с. 55-62. 8. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен.- Москва: Мир, 1976. 512с.

*Поступила в редакцию 11.10.06*

УДК 519.87

**В.Н. ГЛУШКО**, аспирант каф. АСУ НТУ «ХПИ»,  
**А.Е. ГОЛОСКОКОВ**, канд. техн. наук

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

В статті пропонується підхід до дослідження систем управління складними технологічними процесами. В основі підходу покладені принципи імітаційного моделювання. В рамках підходу наводиться структурно-функціональна схема до дослідження функціонування системи управління технологічним процесом. Також наводиться умовний приклад використання розглянутого підходу, та деякі загальні питання реалізації запропонованої схеми за допомогою мови програмування високого рівня.

**1. Актуальность проблемы апробирования систем управления сложными динамическими ТП.** При построении моделей систем управления (СУ) сложными технологическими процессами (ТП) актуальной является проблема проверки адекватности моделей ТП и исследования их при различных режимах работы ТП. Можно выделить два подхода к проведению такого исследования [1, 3]: апробация СУ на реальном ТП и апробация СУ на аналитической или имитационной модели ТП. Анализ существующих на сегодняшний день печатных и электронных источников информации (в частности [1, 3]) показал, что наиболее эффективным является исследование СУ ТП с использованием имитационных моделей ТП. Отметим, что ИМ при исследовании реальных ТП используется для решения таких задач, как исследование полноты наличия и качества функционирования оборудования

ТП и персонала ТП, оценки производительности ТП, оценки оперативных процедур управления ТП и т.д [3].

В настоящее время существует большое количество программных средств, позволяющих осуществлять построение имитационных моделей ТП. Однако, как правило, такие средства предоставляют только инструментарий для создания моделей, зачастую без использования каких либо методологических основ к построению моделей. Поэтому при моделировании ТП исследователю необходимо рассматривать задачу определения как общей стратегии исследования модели ТП, так и стратегий каждого этапа. В данной статье рассматривается системный подход к исследованию СУ сложными ТП с использованием имитационного моделирования (ИМ), в рамках которого выполнена постановка задачи исследования, определена структура ИМ системы «СУ-ТП» и рассмотрены программные аспекты реализации на языках высокого уровня.

**2. Качественная постановка задачи.** Пусть имеется некоторый технологический процесс  $TP$ . Будем считать, что ТП, в общем случае, обладает такими свойствами как нелинейность, динамичность и сложность.

Предположим, что ТП характеризуется  $n$  входами и  $m$  выходами. При этом некоторые, или в общем случае все, выходы могут быть одновременно и входами. То есть рассматриваемый ТП характеризуется обратной связью по выходам. Состояние входов ТП в момент времени  $t$  будем обозначать вектором  $X^t = \{x_i^t\}_{i=1}^n$ .

Введем в рассмотрение понятие цикла ТП. Под циклом ТП будем понимать набор операций в рамках ТП, выполняемых при прохождении материала от входа ТП к его выходу, необходимых для полной обработки исходного элемента, поступающего извне ТП. Время, затрачиваемое на элементарный цикл ТП, обозначим через  $\Delta T_0$ . При этом время  $\Delta T_0$ , фактически, не является жестко фиксируемым и в действительности соответствует времени  $\Delta T_0 \pm \delta$ , где  $\delta$  - отклонения от расчетного времени цикла ТП, обусловленные наличием случайной составляющей в динамике ТП.

Состояние выходов ТП, соответствующее входам, значения которых заданы вектором  $X^t$ , в момент времени  $t + \Delta t$  будем обозначать вектором  $Y^{t+\Delta t} = \{y_j^{t+\Delta t}\}_{j=1}^m$ .

Значения выходов  $Y^{t+\Delta t}$  получаются вследствие изменения входных значений под влиянием воздействий двух факторов: возмущения, обусловленные природой ТП и составляющих его подпроцессов, а также внешней средой, и управляющие воздействия, обусловленные вмешательством человека-оператора ТП. Возмущения первого типа могут накладывать дополнительные ограничения на функциональные зависимости, определяемые физической природой рассматриваемого ТП. Воздействия

второго типа будем обозначать вектором  $C^{t_k} = \{c_{i=1}^{t_k}\}^L$ . Будем называть составляющие технологический процесс подпроцессы – технологическими потоками (ТПк).

В первом приближении структура ТП представлена на рис. 1:

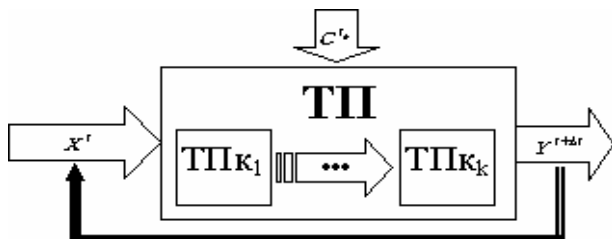


Рис. 1. – Типовая структура СУ ТП

Применение ИМ для исследования СУ ТП представляет собой итерационный процесс, каждая итерация которого состоит из следующих этапов [1]:

1. Изучение ТП и окружающей среды.
2. Создание концептуальной модели ТП.
3. Реализация концептуальной модели на компьютере.
4. Проведение численных экспериментов.
5. Анализ и внедрение результатов моделирования.

В данной статье рассматривается создание концептуальной модели при построении ИМ для исследования СУ ТП и некоторые аспекты реализации концептуальной модели на компьютере.

**3. Общая схема построения имитационной модели для исследования СУ произвольным ТП.** В составе имитационной модели для исследования СУ ТП можно выделить следующие структурные элементы с таким функциональным назначением:

1. Блок входов ТП: предоставляет доступ к значениям входных параметров;
2. Блок выходов ТП: предоставляет доступ к значениям выходных параметров;
3. Блок генератора текущей ситуации: на основе результатов функционирования блоков №№ 2-8 в соответствии с заданным алгоритмом, определяемым физической природой ТП, осуществляет генерирование текущей ситуации с последующей ее подачей на вход блока №1;
4. Блок обратной связи по выходам: реализует передачу части или, в общем случае, всех значений выходов на дополнительные входы блока №3. В предельном варианте в случае отсутствия обратной связи по входам для простых ТП данный блок может отсутствовать;
5. Блок связи по управлению: реализует передачу результата принятия решения по управлению с системы управления на вход блока № 3;

6. Блоки технологических потоков ТП: представляют собой декомпозицию рассматриваемого ТП. Каждый из блоков данной серии по возможности реализует некоторую структурно-функциональную часть всего подпроцесса. Данные блоки вводятся для более детального изучения протекающих процессов, а также с целью более тщательной проверки адекватности системы управления рассматриваемому ТП. Если физическая природа ТП не позволяет реализовать составляющие его подпроцессы (вследствие их сложности, недостаточной изученности или взаимного перекрытия, например), то допускается не проводить декомпозицию рассматриваемого ТП, а реализовать его в виде одного структурного блока;

7. Блок непредвиденных ситуаций: вводится с целью добавления элемента случайности к моделируемому процессу. Данный блок предназначен для моделирования аварийных режимов функционирования ТП. Функциональный состав данного блока определяется физической природой рассматриваемого ТП;

8. Блок запаса ресурсов ТП: вводится с целью отражения ресурсных ограничений на функционирование ТП. Все ресурсы, необходимые в процессе функционирования ТП, а также их ограничения определяются на этапе исследования предметной области рассматриваемого ТП.

Взаимосвязь блоков отображена на рис. 2:

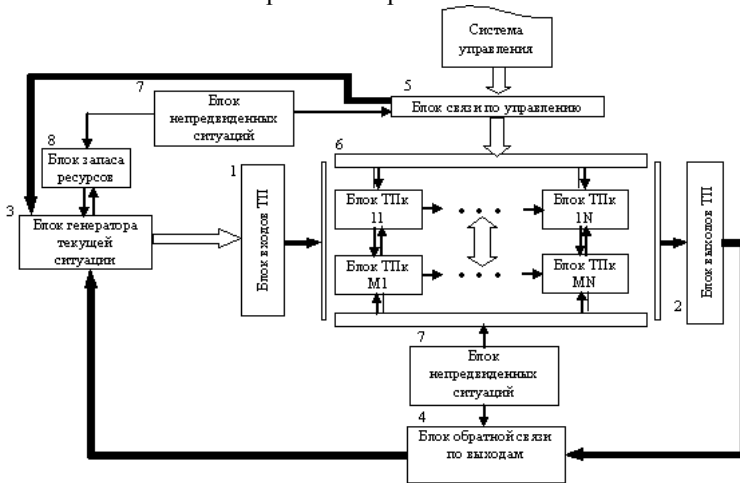


Рис. 2. – Структурно-функциональная схема

Рассмотрим функционирование структурных блоков более подробно.

Блок 1 осуществляет формирование из отдельных значений, сгенерированных в блоке 3 для входов модели ТП, и передачу вектора  $X$  с выхода блока 3 на вход блока 6.

Блок 2 осуществляет формирование из отдельных значений выходов ТП вектора  $Y = TP(X)$  и передачу его с выхода блока 2 на вход блока 3.

Блок 4 реализует передачу вектора  $Y = TP(X)$  с выхода блока 2 на вход блока 3.

Блок 5 осуществляет формирование вектора управляющих решений с выхода системы управления и передачу его на вход блока 3.

Блок 6 реализует суперпозицию функций  $f_i$ , каждая из которых задает протекание элементарного технологического потока. Вид функций  $f_i$  определяется физической природой моделируемого процесса, т. е.  $Y = TP(X) = f_1 \circ f_2 \circ \dots \circ f_N$ , где  $\circ$  – любая допустимая математическая операция над функциями технологических потоков. В общем случае для построения математического описания процессов, протекающих в данном блоке, могут использоваться либо методы классической теории управления [2], либо альтернативные методы построения систем управления, например методы теории нечеткой логики и управления [4].

Блок 7 осуществляет моделирование элемента случайности окружающей среды и ТП. В основе функционирования блока 7 лежит генератор случайных чисел. Для каждого элемента векторов  $X$ ,  $Y$  и  $C$ , требуемых ресурсов, а также параметров технологических потоков ТП (индивидуальных для каждого ТП) осуществляется выработка некоторого случайного возмущения. Каждое случайное возмущение определяется следующим выражением:

$$\delta_i = s_i F_i (\Delta_{\max} - \Delta_{\min}),$$

где  $s_i$  – определяет знак возмущения, то есть, является ли генерируемое возмущение положительным или отрицательным. При этом

$$s_i = \begin{cases} '+', & \text{если } Ps_i > c \\ '- ', & \text{если } Ps_i \leq c \end{cases},$$

где  $Ps_i$  – случайное число из интервала  $[a, b]$  с заданным законом распределения  $P(x)$ . При этом  $c$  – середина интервала  $[a, b]$ . Для генерирования последовательности таких случайных чисел, подчиняющихся заданному закону распределения, может использоваться метод обратных функций или свойства кумулятивного закона распределения [1,3];  $F_i$  – сила воздействия возмущения  $\delta_i$  на параметр  $\Delta$ , изменяющаяся в пределах  $[0, 1]$ . При этом значение равное 0 можно рассматривать как полное отсутствие возмущений в функционировании системы управления, а равное 1 – как наличие возмущений максимальной силы воздействия;  $\Delta_{\min}$ ,  $\Delta_{\max}$  – минимальная и максимальная границы диапазона допустимых значений возмущаемой переменной, задаваемые исследователем.



С учетом введенного выше возмущения для переменных системы любая контролируемая переменная  $\Delta^i$  в момент времени  $t + \Delta t$  будет иметь вид:

$$\Delta_{t+\Delta t}^i = \Delta^i + \delta_i^t.$$

Блок 8 реализует ресурсные ограничения на контролируемые параметры  $\Delta^i$ . Будем считать, что для функционирования ТП требуется  $\Omega$  типов ресурсов. В момент времени  $t$  каждый ресурс характеризуется объемом  $R = \{ R_{\Delta_i}^t \}$ , который со временем при функционировании ТП уменьшается в соответствии с некоторым законом, определяемым спецификой ТП. Скорость уменьшения зависит от физических характеристик ТП. Поэтому для устойчивого и продолжительного функционирования ТП необходимо контролировать объем ресурсов. Такой контроль и оценка производятся в блоке 3. Изменение ресурсных ограничений задается путем введения функций  $r_{\sigma}(R_{\Delta_i}^t)$ . Вид этих функций определяется спецификой ТП.

Блок 3 координирует работу модели в целом. На основе информации, поступающей из блоков 4, 5 и 8, в нем происходит формирование текущей ситуации. Таким образом, для формирования текущей ситуации в момент времени  $t + \Delta t$  используется информация о входах ТП до применения управляющего воздействия  $X^{t-1}$ , о выходах ТП после применения управляющего воздействия  $Y^t$ , информация о качественных и количественных характеристиках управляющего воздействия  $C^t$ , а также информация об объеме имеющихся в наличии ресурсов, необходимых для функционирования ТП  $R^t$ . Рассмотрим эти составляющие:

1. Вектора входов ТП  $X^{t-1}$  и выходов  $Y^t$  - представляют собой базис для формирования текущей ситуации в момент времени  $t + 1$ .
2. Вектор управляющих воздействий  $C^t$  - позволяет оценить знак и величину изменения параметров ТП.
3. Вектор  $R^t$  - являет собой ограничения на функционирование ТП, т.е. изменение его параметров.

Функционирование данного блока может быть представлено в общем виде функцией  $S^{t+1} = \Phi(Y^t, C^t, R^t)$ . Конкретный вид функции  $\Phi$  определяется особенностями моделируемого ТП.

**4. Фазы функционирования произвольного ТП.** ТП представим в виде совокупности трех последовательных режимов: запуск ТП, рабочий режим и остановка ТП. Моменты перехода ТП с режима на режим представляют собой переходной режим функционирования ТП. В течение переходного режима происходит возмущение параметров ТП. Дальнейшая их стабилизация полностью определяется конструктивом оборудования и условиями протекания ТП, определяя устойчивость функционирования ТП. Если ТП

устойчив, то переход с режима на режим осуществляется за конечное время. В случае неустойчивого ТП гарантировать достижение следующего режима, не используя управляющие воздействия, не представляется возможным [2]. В последнем случае имеет место, так называемый аварийный режим работы ТП. Очевидно, что в процессе запуска ТП осуществляется вывод параметров ТП с нулевого значения в значения рабочего режима; в ходе рабочего режима осуществляется стабилизация параметров ТП на заранее заданных нормативных (оптимальных) значениях, в процессе остановки ТП осуществляется уменьшение значений параметров ТП до нуля. При этом функционирование ТП во всех трех фазах осуществляется в соответствии с некоторыми критериями, например отсутствие угроз человеческой жизни, минимальные затраты ресурсов, выпуск качественной продукции и т.д.

При рассмотрении вопросов построения имитационной модели для исследования СУ ТП важным также является вопрос о модельном времени  $T$  генерирования каждой новой текущей ситуации. Очевидно, что это значение определяется типом и характеристиками ТП, а также свойствами системы моделирования.

Для исследования полученной имитационной модели «СУ – ТП» можно использовать, так например, классический трехфазный подход исследования имитационных моделей [3].

**5. Построение формальной схемы имитационной модели исследования СУ на примере процесса поддержания требуемого уровня жидкости в резервуаре.** Для иллюстрации приведенного выше подхода рассмотрим следующий пример [2]. Структура рассматриваемого ТП показана на рис. 3.

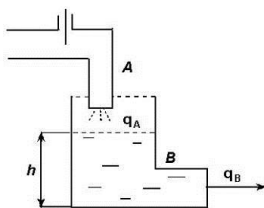


Рис. 3. – Схема процесса поддержания уровня жидкости в резервуаре

Задача заключается в поддержании требуемого уровня жидкости в резервуаре  $B$ . В данном случае управляемой переменной является угол поворота  $\theta$  вентиля на трубе  $A$ , а управляющей переменной – уровень жидкости в резервуаре  $h$ . Рассматриваемый процесс характеризуется удельным объемом поступающей жидкости  $q_A$  и удельным объемом расходуемой жидкости  $q_B$ . Будем также считать, что выходной поток жидкости не регулируется.

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс, имеет следующий вид:

$$\dot{h} = k_1 \Delta\theta - k_2 \Delta q_B, \quad (1)$$

где  $k_1 = a/S$ ,  $k_2 = 1/S$ . При этом  $a = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0}$  ( $\theta_0$  – угол поворота вентиля в

номинальном режиме,  $\Phi = \Phi(\theta) = q_A$  – функциональная зависимость, определяющая пополнение жидкости в резервуаре), а  $S$  – площадь поперечного сечения резервуара. Более подробно см. [2].

Таким образом, процесс регулирования уровня жидкости в резервуаре представляет собой процесс, описываемый дифференциальным уравнением (1). Будем предполагать, что для функционирования ТП задан ресурс – запас жидкости – объемом  $R$ .

Для рассмотренного выше объекта управления построена система управления. Принимаемые решения полностью описываются дифференциальным уравнением ТП. Все управляющие решения будут применяться по отношению к управляемой переменной  $\Delta\theta$ . Таким образом, можно выделить следующие управляющие воздействия:

1. открыть вентиль, повернув его на угол  $\Delta\theta$  или  $C_{\Delta\theta}^+$ ;
2. закрыть вентиль, повернув его на угол  $\Delta\theta$  или  $C_{\Delta\theta}^-$ ;
3. не изменять положение вентиля или  $C_0^0$ .

Полное множество управляющих решений будет иметь вид:

$$C = \langle C_{\Delta\theta}^+, C_{\Delta\theta}^-, C_0^0 \rangle.$$

Рассмотрим построение имитационной модели для исследования СУ ТП выше.

1. Блок 1 характеризуется двумя входными переменными: отклонением угла поворотного вентиля  $\Delta\theta$  и величиной удельного расхода жидкости  $\Delta q_B$ .

2. Блок 2 характеризуется одной выходной переменной  $\dot{h}$ .

3. Блок 3 осуществляет генерирование входной ситуации

$S_t = (\Delta\theta^t, \Delta q_B^t, \dot{h}^{t-\Delta t}, C^{t-\Delta t}, R^{t-\Delta t})$  для текущего шага процесса моделирования в момент времени  $t$ . При этом на блок 1 подаются только 2 первых составляющих текущей ситуации. Построение текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, осуществляется на основе предыстории его функционирования в момент времени  $t - \Delta t$ , т.е. на основе ситуации:

где  $\xi_{\Delta\theta}^{t-\Delta t}$ ,  $\xi_{\Delta q_B}^{t-\Delta t}$ ,  $\xi_{\Delta h}^{t-2\Delta t}$ ,  $\xi_C^{t-2\Delta t}$  и  $\xi_R^{t-2\Delta t}$  - случайные составляющие для соответствующих моделируемых переменных, отражающие случайности реального мира относительно текущего момента модельного времени  $t$ .

На первой итерации работы модели начальная ситуация имеет вид:

$$S_0 = (0, 0, 0, C_{\Delta\theta}^+, R).$$

4. Блок 4 в момент времени  $t - \Delta t$  относительно текущего момента модельного времени  $t$  осуществляет передачу мгновенного значения изменения уровня жидкости в резервуаре  $h^{t-\Delta t}$ .

5. Блок 5 в момент времени  $t - \Delta t$  относительно текущего момента модельного времени осуществляет передачу управляющего решения  $C^{t-\Delta t}$ .

6. Блок 6 реализует ТП, моделирование которого производится. Данный процесс описывается дифференциальным уравнением (1).

7. Функционирование блока 7 подробно описано выше в разделе 3.

Построенная имитационная модель может быть исследована, например, с помощью трехфазного метода моделирования.

**6. Аспекты программной реализации имитационной модели «СУ-ТП».** В настоящее время при построении имитационных моделей исследователю доступны два варианта реализации построенной модели [3]: с помощью языков программирования общего назначения (C/C++, Object Pascal и т.д.) или с помощью модельных языков программирования (Arena, GPSS/H, SIMUL8, Simulink (Matlab) и т.д.). Более дорогостоящим и быстрым методом создания имитационных моделей, но в то же время и менее гибким является второй подход. Поскольку результаты данной статьи авторы предполагают использовать в процессе создания СУ ТП обжига клинкера мокрым способом, например при обучении оператора ТП или при апробации программно-аппаратной модели СУ ТП, то ниже будут рассмотрены некоторые вопросы создания архитектуры имитационной модели на языке высокого уровня общего назначения.

Предполагается, что программное обеспечение (ПО), реализующее имитационную модель «СУ-ТП», должно быть запущено все время исследования системы управления. При этом необходимые входные/выходные данные с ПО – это реакция ТП на вырабатываемые управляющие воздействия, подаваемая на вход программы-анализатора качества функционирования системы управления. Поэтому наиболее оптимальной будет реализация в виде СОМ-объекта, представленного в виде исполняемого процесса в операционной системе W2K/XP/W2K3. Для упрощения гибкости при исследовании будем разделять реализацию ТП и реализацию СУ. Осуществим реализацию полной модели ТП без СУ в виде подключаемого к СУ модуля посредством некоторого интерфейса. Сама СУ будет представлять собой обычное оконное приложение Windows. Поэтому предполагается осуществлять реализацию модели ТП в виде СОМ-объекта,

представленного в виде DLL-библиотеки. Общая схема реализации имитационной модели показана на рис. 4:

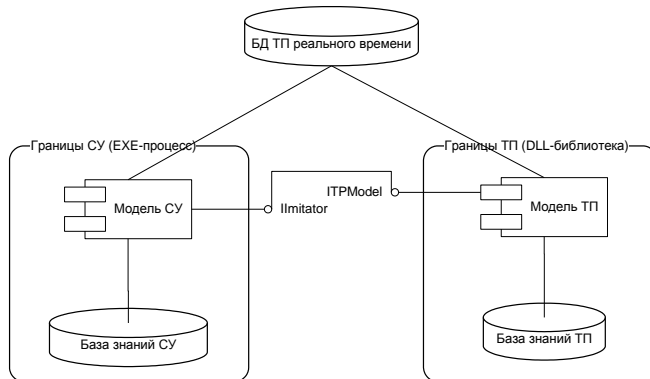


Рис. 4. – Общая схема реализации имитационной модели

**Выводы.** Таким образом, в данной статье были рассмотрены вопросы использования методов имитационного моделирования к исследованию СУ сложными ТП. Полученные результаты авторы предполагают использовать для исследования СУ сложным ТП обжига клинкера мокрым способом во вращающейся печи.

**Список литературы:** 1. Robinson S. Simulation: the practice of model development and use. – John Wiley & Sons, Ltd, 2004. – 316р. – ISBN 0-470-84772-7 2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с. 3. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: BHV, 2004. – 847с. 4. Голоскоков А.Е., Глушко В.Н. Управление сложными технологическими процессами на основе нечетких систем продукционных правил, Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». - №45. – 2004. – 180с.

*Поступила в редколлегию 23.10.06*

УДК 330(075.8)

**О. А. МАСЛОВА**, аспирант НТУ «ХПИ»

**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук,

## **О ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ**

В статті розглянута роль організаційної структури управління підприємством, наведені типи організаційних структур. Звертається увага на проблему гнучкості структур та можливість підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок адекватності організаційної структури. Запропонована структура математичної моделі залежності організаційної структури від наведених факторів.

**Актуальность проблемы.** Одним из основных способов повышения эффективности хозяйственного механизма является совершенствование организационных форм и структур управления.

Структурно-функциональная неупорядоченность организационного управления - наиболее общая проблема многих современных предприятий. Данная проблема проявляется в разрыве связей между структурообразующими элементами: целями, задачами, экономическими условиями, технико-технологическим базисом, функционально-поведенческим укладом и др. Несогласованность отмеченных фундаментальные основ приводит к множеству отклонений, проблемных и конфликтных ситуаций, неэффективному использованию ресурсов и другим экономическим проблемам [1].

В решении этих задач существенную роль играет вопрос о поиске и формировании рациональных форм организационных структур управления предприятий.

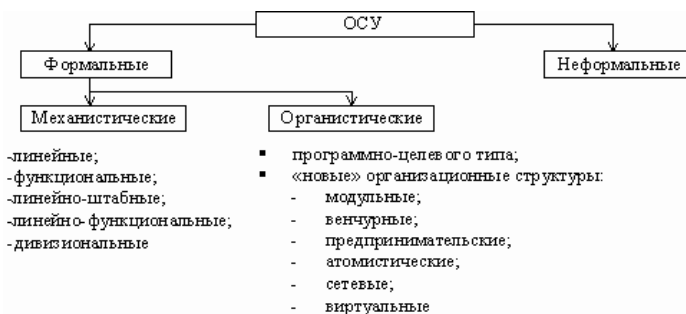
**Обзор типов организационных структур.** Организационная структура управления может рассматриваться как совокупность элементов, упорядоченных в соответствии с их местом в процессе управления. Она создает условия для осуществления предприятием своей деятельности в достижении установленных целей. Организационная структура развивается и изменяется под воздействием особенностей стратегии предприятия, его внутренней сложности и изменений во внешней среде. Разнообразие организационных структур связано с различиями в области деятельности, характере и сложности выпускаемых продуктов, размерах, степени дифференциации и территориальном расположении предприятий [2].

В настоящее время организационные структуры управления (ОСУ) претерпели значительную эволюцию. Анализ эволюции ОСУ предусматривает определенную типизацию. При всем многообразии подходов к решению этого вопроса можно принять классификацию представленную на рисунке.

Механистическая (бюрократическая) структура выступает как жесткая иерархия, как пирамида управления. Органистические структуры являются более гибкими и адаптивными. Для них характерно небольшое число управленческих уровней, правил и инструкций, большая самостоятельность в принятии решений на низовом уровне. Конечно, такая классификация достаточно условна. В больших организациях многоуровневые ОСУ дифференцируются одновременно по нескольким признакам. В этом контексте различают “стратифицированные” и “совмещенные” ОСУ.

В первой половине XX века доминирующими были сначала линейные и функциональные ОСУ, а затем их комбинации. Во второй половине крупные западные корпорации стали практически повсеместно переходить к дивизиональным структурам.

Однако опыт многих крупных компаний показал, что дивизиональная ОСУ может способствовать повышению эффективности управления лишь до определенных пределов, после чего начинают ощущаться все большие трудности.



#### Классификация типов ОСУ

Проблему гибкости организационных структур пытались решить, создавая новые варианты комбинированных структур путем внедрения в основной костяк структуры новых элементов, что привело к появлению новых ОСУ. Все эти варианты ОСУ получили общее название программно-целевых структур. При этом роль и место руководителя программы меняется в зависимости от условий, в которых осуществляется управление.

Современными модификациями программно-целевых ОСУ являются венчурные и инновационные. Крупные фирмы интегрируют такие структуры в свой менеджмент.

Корпорация XXI века — это взаимосвязанная совокупность модулей, ориентированных на потребителя [3]. Причем при сохранении общего руководства корпорацией у модулей должна быть своя полноценная система управления. И каждый модуль должен иметь возможность принимать самостоятельные решения по вопросам взаимодействия с внешней средой и с другими модулями. Такая организация корпорации обеспечит гибкость и возможность быстро вносить изменения в производственные процессы.

**Постановка задачи.** Организационная структура, даже если она идеально отлажена на какой-то момент времени, уже в следующий момент требует коррекции и настройки, иначе изменениями внешних или внутренних условий функционирования приводят организацию к диспропорциям функционирования.

Задача состоит в том, чтобы выбрать ту структуру, которая лучше всего отвечает целям и задачам организации, а также воздействующим на нее внутренним и внешним факторам. «Наилучшая» структура – это та, которая наилучшим образом позволяет организации продуктивно и целесообразно распределять и направлять усилия своих сотрудников, эффективно взаимодействовать с внешней средой и, таким образом, удовлетворять потребности в выпускаемой продукции и достигать своих целей с высокой эффективностью. Повышение эффективности возможно за счет снижения затрат или за счет повышения адекватности организационной структуры решаемым задачам, что повышает оперативность и обоснованность задач управления, приводит к их расширению.

Организационная структура должна соответствовать размеру организации и не быть более сложной, чем это необходимо. Обычно влияние размера организации на ее организационную структуру проявляется в виде увеличения числа уровней иерархии управления организацией.

Выбор организационной структуры осуществляется с учетом определенных критериев, в качестве которых могут выступать прибыль, рост социального статуса предприятия, завоевание нового рынка, стабильное развитие и т.д. Критерии выбора типа организационной структуры могут зависеть от вида деятельности предприятия, его масштаба, государственной политики и т.д. При выборе организационной структуры следует учитывать определенные ограничения, на располагаемые ресурсы и требования существующих стандартов [3].

Рассмотрим математическую модель зависимости организационной структуры  $O_{str}$  от факторов. В самом общем виде ее можно представить следующим образом:

$$O_{str} = F\{H_R, T_T, G, I_T, V_{Int}, St, L_c, \dots\}, \quad (1)$$

где  $F$  - некоторый функционал;

$$H_R = \bigcup_i H_{Ri} - \text{персонал};$$

$H_{Ri}$  - сотрудник (уровень квалификации, опыт, образование, мотивация труда,...);

$T_T$  - техника и технология, используемые в управлении предприятием;

$G$  - продукт, выпускаемый предприятием (сложность изготовления, спрос);

$I_T$  - уровень использования современных информационных технологий;

$V_{Int}$  - масштаб предприятия (статус, объем производства, форма собственности);

$St$  - стратегия предприятия (задачи, цели, миссия);

$L_c$  - стадия жизненного цикла предприятия.

Основными ограничениями выступают потребности в ресурсах. Количество этих ограничений зависит от характеристик структуры:

$$R(O_{str}) \in \bar{R} \quad (2)$$

где  $\bar{R}$  - допустимое множество ресурсов.

Выбор структуры осуществляется с учетом векторного критерия эффективности:

$$\bar{F}(O_{STR}) \rightarrow \text{extr} \quad (3)$$

Для решения задачи выбора организационной структуры необходимо идентифицировать зависимости (1-3), классифицировать полученную задачу, выбрать и реализовать метод ее решения.

**Выводы.** Научно обоснованное формирование организационных структур управления – актуальная задача современного этапа адаптации



хозяйствующих субъектов к рыночной экономике. В настоящее время назрела настоятельная необходимость в разработке математических моделей, описывающих структуру управления организации, и являющихся основой для разработки методов структурных преобразований, поэтому математическое моделирование управления развития организационных структур становится перспективной и все более актуальной задачей. Модели должны обладать требуемой адекватностью, способствовать своевременной и объективной аналитической подготовке принятия управленческих решений.

**Список литературы:** 1. *Валуев С.А., Игнатъева А.В.* Организационный менеджмент. М., 1993. 278 с. 2. *Мильнер Б.З.* Теория организации. М., 2005. 648 с. 3. *Маслова О.А., Шевченко С.В.* О концептуальных основах моделирования процесса выбора организационной структуры// Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами. 2006.

*Поступила в редколлегию 25.10.06*

УДК 62-50

**К.В. МЕЛЬНИК**, аспирант каф. АСУ,  
**А.Е. ГОЛОСКОКОВ**, канд. техн. наук, проф.

## **ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПАЦИЕНТА**

В статті розглядається вирішення проблеми комплексного лікування серцево-судинної системи пацієнта. Висвітлюється структурна схема побудови стратегії лікування хворого. Наводиться аналіз підходів до побудови системи підтримки прийняття рішень для лікування серцево-судинної системи людини.

**Введение.** В настоящее время в связи с развитием промышленности, испытаний в сфере ядерной физики, усиленного освоения природных ресурсов наблюдается прогрессирующее ухудшение экологической обстановки. Это оказывает существенное влияние на общий уровень здоровья нации в целом, увеличивая количество заболеваний. Центральное место среди нарушений здоровья занимают заболевания сердечно-сосудистой системы. А именно: нарушение ритма работы сердечно-сосудистой системы, нарушение проводимости сердечных клапанов, ишемическую болезнь сердца, что в свою очередь, приводит к увеличению смертности населения. Поэтому в области здравоохранения существует актуальная проблема решения задачи комплексного лечения больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

**Анализ последних исследований** данной проблемы в литературе и других источников информации показал, что решения рассматриваемой проблемы предполагает решение комплекса задач:

1. Экспресс – анализ состояния пациента, то есть первичная постановка диагноза заболевания по внешним признакам, проявляющимся у пациента.

2. Диагностирование состояния пациента по ряду проведенных анализов: ЭКГ, УЗИ, клинический анализ крови. Данная задача обычно решается с помощью системы диагностирования или основана на опыте врача - кардиолога.

3. Разработка стратегии лечения, состоящая в назначении и приеме лекарственных препаратов пациентом в определенные промежутки времени.

4. Реализация стратегии лечения, заключающаяся в промежуточном диагностировании больного, и корректировке стратегии в случае несоответствия диагноза либо не восприятности организмом пациента назначенных лекарственных средств.

5. Окончательный диагноз состояния сердечно-сосудистой системы пациента и выписка пациента.

Рассматриваемые задачи решаются в итеративном порядке, структура взаимосвязи между которыми представлена ниже на рисунке.



Структура взаимосвязи этапов решения комплексного лечения пациента

**Постановка задачи решения проблемы комплексного лечения сердечно-сосудистой системы пациента.** Каждый этап комплексного лечения больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы предполагает решение ряда проблем.

Первичная постановка диагноза проводится врачом по внешним признакам, проявляющимся у пациента. Таких признаков может быть около тридцати – сорока. Результаты постановки первичного диагноза не всегда оказываются верными, поэтому необходимо проводить ряд анализов для подтверждения либо корректировки первичного диагноза.

Второй этап комплексного лечения подразумевает под собой постановку диагноза с учетом проведенных исследований организма пациента. Данная задача может выполняться с помощью системы диагностирования либо основываться на опыте врача – кардиолога.

На ранних этапах развития медицины диагностирование осуществлялось только на опыте медицинского работника: вследствие недостаточной

мощности технического оборудования того времени и существовавшего математического аппарата не было возможности осуществить эффективное агрегирование знаний экспертов в данной предметной области в рамках одной системы. С увеличением мощности технических средств и появлением эффективных методов принятия решений (классическая методология принятия решений, нейронные сети, нечеткая логика) начали появляться первые экспертные системы в области диагностирования заболеваний сердца. Эта стадия датируется 70-ыми годами 20 в. Развитие и совершенствование таких систем происходит и в настоящее время.

На сегодняшний момент на рынке представлено достаточное количество систем диагностирования, которые построены на различном математическом аппарате, с применением большого количества технологических устройств и приборов.

Существующие средства диагностирования представляют собой экспертные системы, позволяющие определять заболевания сердечно-сосудистой системы человека с достаточной эффективностью, а также выдавать комплекс рекомендаций и профилактических мер по их устранению. Однако данные системы все еще не могут заменить опытного врача-кардиолога в силу отсутствия стопроцентной достоверности принимаемых ими решений. Поэтому все еще актуальной является проблема дальнейшего исследования в направлении повышения точности и достоверности систем такого рода. Следует отметить, что существующие системы диагностирования характеризуются следующими свойствами:

- отсутствие стопроцентной достоверности принимаемых решений, то есть наличие риска,
- обязательное наличие врача-кардиолога,
- сложность в использовании, подразумевающая применение специалистов, обученных работе с данным прибором,
- дороговизна в обслуживании и высокая стоимость оборудования.

Исходя из вышеуказанных факторов, следует отметить, что приобретение такого дорогостоящего оборудования доступно не всем медицинским учреждениям. Отсюда возникает актуальность создания системы диагностирования, которая должна характеризоваться рядом свойств:

- простота интерфейса,
- невысокая стоимость программного обеспечения системы диагностирования,
- легкость в обслуживании.

Решение задачи третьего и четвертого этапов подразумевает под собой разработку стратегии лечения, применение которой будет эффективно воздействовать на процесс выздоровления пациента. Стратегия лечения – это периодический прием лекарств в определенных дозах для улучшения состояния здоровья пациента и контроль данного процесса. Постоянный мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы и организма в целом у пациента конкретным врачом – экспертом в области кардиологии невозможен

в силу либо отсутствия последнего в одной и той же палате в виду специфики работы, либо наличия малого опыта и знаний в области диагностирования сердца.

Для успешного решения комплекса рассмотренных проблем необходимо разработать систему поддержки принятия решения для врачей – кардиологов.

Система поддержки принятия решений (СППР) – компьютерная информационная система, используемая для поддержки различных видов деятельности при принятии решения в ситуациях, где невозможно или нежелательно иметь автоматические системы, которые полностью выполняют весь процесс принятия решений [1]. Система поддержки принятия решений не заменяет полностью лица, принимающего решение, а оказывает ему помощь в ходе решения поставленной задачи.

В свою очередь, разработка и реализация СППР подразумевает под собой соответственно решение комплекса задач:

- Постоянный мониторинг состояния пациента.
  - Накопление статистической информации о пациентах с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.
  - Разработка и ведение базы данных пациентов, всех необходимых им анализов, результаты УЗИ, ЭКГ.
  - Осуществление постановки диагноза на основе полученных результатов анализов.
  - Назначение лечения, то есть разработка стратегии лечения.
  - Проверка результатов анализов, полученных уже в ходе лечения.
- На данном этапе происходит пересмотр процесса лечения, если анализы неодобрительные, либо изменение диагноза.
- Проверка результатов анализов и выписка пациента в случае успешного лечения.

Исходя из целей, поставленных перед СППР, вытекает необходимость учитывания такого свойства проектируемой системы, как модульность, то есть разделение функциональных задач всей системы на отдельные подзадачи. В ходе выполнения исследовательской работы предполагается разработка каждого модуля в отдельности для каждой задачи. Выполнение данного свойства при разработке системы поддержки принятия решений позволит в дальнейшем вносить корректировку структуры модуля и его функционала, не внося изменений в общую структуру СППР и не нарушая ее целостности.

Для уменьшения риска принятия ошибочного решения проектируемой системой, к ее функционированию должны предъявляться требования специалистов из разных областей – требования кардиолога, требования разработчика, требования пользователя. Таким образом, необходимо отметить, что свойства системы поддержки принятия решений должны удовлетворять следующим требованиям:

- Модульность
- Своевременность
- Непротиворечивость
- Адаптивность
- Точность
- Достоверность

Рассматриваемую систему поддержки принятия решения можно построить на основе формализации знаний опытного кардиолога. Решение данной задачи можно осуществить несколькими способами: использование базы нечетких продукционных правил, либо нечетких ситуационных сетей, либо подхода, основанного на нейроинформатике. Рассмотрим некоторые из них. Первые два подхода, которые будут положены в основу построения СППР, являются перспективными и эффективными для формализации знаний эксперта и процесса принятия решений. Данные подходы построены на использовании основ нечеткой логики. Нечеткая логика как подход к исследованию поставленной задачи была выбрана в виду того, что с ее помощью можно описывать нечеткие понятия и знания, делать нечеткие выводы. Она являет собой средство отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Нечеткое управление применимо с большой эффективностью в том случае, когда исследуемые процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно, как, например, знания врача-кардиолога.

Первый подход - это создание базы нечетких продукционных правил. Данная база правил, представляющая собой механизм нечетких выводов, имеет в основе базу знаний, формируемую специалистами в рассматриваемой предметной области, в данном случае являющуюся кардиологией, в виде совокупности нечетких предикатных правил вида [2]:

$$\Pi_1 : \text{если } R_{preserd} = 1 \text{ И } R_{zhelud} = 1 \text{ И } ЧСС_{preserd} = 1 \text{ И } ЧСС_{zhelud} = 1 \text{ И } P = 1 \text{ И } QRS_{aVL} = -1 \text{ И } QRS_{V_4} = -1 \text{ И } T_1 = -1 \text{ И } T_{aVL} = -1 \text{ И } QT = 1 \text{ И } TO = 1 \text{ И } IM_{\text{переднебоковой}}$$

где  $R_{preserd}$ ,  $R_{zhelud}$ ,  $ЧСС_{preserd}$ ,  $ЧСС_{zhelud}$ ,  $P$ ,  $QRS_{aVL}$ ,  $T_{aVL}$ ,  $QT$  - входные переменные,  $y$  - переменная вывода (имя для значения данных, которое будет вычислено). Использование базы правил представляет собой процедуру, состоящую из нескольких этапов:

- фаззификация (введение нечеткости - функции принадлежности, определенные на входных переменных, применяются к их фактическим значениям для определения степени истинности каждой предпосылки каждой продукции),
- логический вывод (найденные значения истинности каждой продукции применяется к заключениям каждого правила),
- композиция (все переменные вывода каждой продукции объединяются в одно нечеткое подмножество),
- дефаззификация (приведение к четкости, то есть приведение нечеткого подмножества переменной вывода к четкому числу).

Построение нечеткой ситуационной сети (НСС) - второй подход, используемый при принятии решений в СППР. НСС представляет собой нечеткий ориентированный взвешенный граф переходов по ситуациям [3]. Нечеткие ситуационные сети представляют собой дальнейшее развитие и обобщение нечеткой продукционной базы правил. Набор продукций, необходимых для вывода решения в текущей ситуации, а также последовательность их просмотра определяются стратегией управления — нечетким маршрутом в нечеткой ситуационной сети между исходной и целевой ситуациями. Выбор целевой ситуации из множества всех ситуаций может осуществляться либо посредством использования некоторой продукционной системы, либо непосредственно по нечетким ситуационным сетям [3]. В нечетком ориентированном взвешенном графе переходов по ситуациям вершинами являются эталонные нечеткие ситуации, дугами — определенные управляющие решения, необходимые для перехода по ситуациям, со степенью предпочтения подобного решения нечетким эталонным ситуациям. Применительно для рассматриваемой специфики предметной области, вершины — определенные состояния сердечно-сосудистой системы пациента, целевое состояние — ситуация, соответствующая выздоровлению пациента.

Третий подход, используемый для принятия решений в СППР, это построение и использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Прототипом для создания нейрона, то, из чего состоит ИНС, является биологический нейрон головного мозга, поэтому в основе искусственных нейронных сетей положены многие черты живых нейронных сетей. Такой крепкий фундамент дает основу для решения многих сложных задач: прогнозирование, классификация, диагностирование, распознавание образов. Этому способствуют их свойства: обучение (возможность самонастраивания после предъявления входных сигналов), обобщение (способность видеть образ сквозь шум и искажения), абстрагирование (способность порождения образов, которые никогда не предъявлялись). Таким образом, использование ИНС способствует решению задачи диагностирования состояния пациента и дальнейшей процедуры лечения.

**Выводы.** Таким образом, можно заключить, что рассматриваемая система поддержки принятия решения позволит более эффективно управлять процессом лечения сердечно-сосудистой системы пациента.

**Список литературы:** 1. Марка Д.А., Мак Гоуэн К. Методология структурного системного анализа и проектирования SADT. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с. 2. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с. 3. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С. и др. Ситуационные и советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.

*Поступила в редакцию 23.10.06*

*Е.А. ДРУЖИНИН*, канд.техн.наук, доц., *Е.С. ЯШИНА*, канд.техн.наук, доц., *Е.А. КОВРИКОВА* (Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

## **РАЗРАБОТКА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА**

У статті пропонується один з можливих варіантів формалізації ресурсного забезпечення плану науково-технічного проекту, розроблений на підставі загальних понять теорії множин і за допомогою операцій алгебри логіки. За допомогою розробленої формальної моделі ресурсного забезпечення плану проекту були реалізовані різні види запитів за допомогою мови запитів SQL.

One of the possible variant to formalizations resource planning activity of the scientific-research project designed on the grounds of the general notion theory of sets and by means of operation of the algebra of the logic is offered in article. By means of designed formal model resource planning activity of the project was a marketed different types request by means of language request SQL.

Создание новой техники всегда является сложным и трудоемким процессом, при выполнении которого требуется оперирование большим объемом работ и ресурсов. Проекты, реализующие процесс создания технических систем всегда выполняются в условиях неопределенности и подвержены влиянию различных факторов риска. Риски приводят к перерасходу средств бюджета проекта и к срыву сроков выполнения проекта. Это затрудняет процесс планирования ресурсного обеспечения работ проекта, тем более сложен процесс автоматизации управления научно-технического проекта. Актуальной научной задачей в сфере управления проектами является формализация ресурсного обеспечения плана проекта. Многие авторы указывают на необходимость согласованного решения задач календарного планирования и распределения ресурсов [1 – 3]. Однако, несмотря на довольно интенсивное изучение данной проблемы, она пока далека от разрешения. Задача распределения ресурсов в проекте рассматривается в [4], но приведены в основном решения для частных случаев выполнения работ проекта, когда сетевая модель проекта имеет определенную топологию. Методы анализа динамики финансирования предложены в [5]. Для построения моделей динамики финансирования необходимо проанализировать взаимосвязь между стоимостными и временными параметрами работ. В данной работе ставится задача разработки формального описания ресурсного обеспечения плана проекта с целью дальнейшей алгоритмизации и автоматизации процессов управления проектами в условиях неопределенности и проявлений факторов риска.

**1. Постановка задачи.** Для описания, анализа и оптимизации проектов наиболее подходящими оказались сетевые модели, представляющие собой разновидность ориентированных графов.

Сетевая модель может быть представлена: 1) сетевым графиком, 2) в табличной форме, 3) в матричной форме, 4) в форме диаграммы на шкале времени. Преимущество табличной формы перед графическими представлениями состоит в том, что с их помощью удобно осуществлять анализ параметров сетевых моделей; в этих формах применимы алгоритмические процедуры анализа, выполнения которых не требует наглядного отображения модели на плоскости.

В реальных условиях выполнение отдельных или даже всех работ проектного комплекса можно ускорить путем выделения для них большого количества ресурсов (финансовых, трудовых, материальных). Это приводит к увеличению общих прямых затрат на выполнение работ. Вместе с тем, появляется множество различных комбинаций продолжительности работ, при которых может быть получена некоторая требуемая плановая продолжительность проекта.

Анализ соотношения между сроками и затратами имеет целью составление календарного плана, обеспечивающего минимальные затраты при данной продолжительности проекта. Существует небольшое число частных задач, для которых предложены точные методы решения. В общем случае применяются приближенные и эвристические алгоритмы. Однако в большинстве предлагаемых методов и моделей не учтено то что, проект может реализовываться в условиях неопределенности, иметь случайную структуру (стохастические сети) или вероятностные характеристики работ (вероятностные сети) [4].

Одним из основных преимуществ сетевых моделей является их наглядность. Но для крупных проектов с большим количеством работ формализация системы с помощью сетевых моделей не всегда является удобной из-за своей громоздкости. Не столь наглядным, но более компактным формализованным описанием является математическое описание системы с помощью теории множеств. Теория множеств связана с реляционной алгеброй, и поэтому реализация системы на основе математической модели, построенной с помощью теории множеств и алгебры логики, а также управление большим набором данных по проекту осуществляется просто [6].

Для формализации ресурсного обеспечения плана проекта предлагается применить теорию множеств. Основными достоинствами такой формализации являются:

- простота в определении объектов и их свойств;
- универсальность языка теории множеств;
- возможность применения классических математических операций над нематематическими объектами управления;
- простота дальнейшей алгоритмизации формализованной системы, построенной на языке теории множеств;
- удобство программной реализации с помощью языка запросов SQL, (в этом языке как раз и реализованы операции работы над множествами



набора данных).

Также можно отметить высокую степень абстракции представляемых объектов.

**2. Построение формализованного описания ресурсного обеспечения плана проекта.** Определим объект исследования: рассмотрим проект создания дистанционно пилотируемого летательного аппарата (ДПЛА).

Проектирование ДПЛА включает в себя двенадцать этапов [7]. Каждый этап включает в себя ряд взаимосвязанных работ. В проекте участвуют трудовые (кадровый состав) и технические ресурсы. Объектом исследования является процесс исследования устойчивости проекта по созданию ДПЛА.

Выделим  $G$  – процесс проектирования ДПЛА; процесс содержит несколько этапов:  $G_i \in G$ , где  $G_i$  – множество этапов процесса,  $i = \overline{1, n}$ , где  $n = 6$ ,  $n$  – количество этапов в процессе: «Внешнее проектирование ( $G_1$ ); Общее проектирование ( $G_2$ ); Проектирование частей ( $G_3$ ); Проектирование цеха по изготовлению опытного образца ( $G_4$ ); Изготовление ( $G_5$ ); Испытания ( $G_6$ )».

Выделим подмножество, принадлежащее множеству  $G_i$ :  $g_{ij} \in G_i$ , где  $j = \overline{1, m}$ ,  $g_{ij}$  – подмножество работ этапа,  $m$  – количество работ в этапе.

Например, для этапа «Внешнее проектирование»: «Определение объемов ( $g_{11}$ ); Определение типажа ( $g_{12}$ ); ТТТ( $g_{13}$ ); Область применения ( $g_{14}$ ); Сценарии применения ( $g_{15}$ ); ... Утверждение ( $g_{1.12}$ )»,  $m=12$ .

Каждая работа в проекте характеризуется рядом параметров работ  $\overline{g_{ij}}$ :

$$\overline{g_{ij}} = (\text{Work}, \text{Type}, D_{begin}, D_{end}, T = D_{end} - D_{begin}), \quad (1)$$

где *Work* – название работы; *Type* – тип работы (основная, повторяющаяся, восстановительная);  $D_{begin}$  – дата начала работы;  $D_{end}$  – дата окончания работы;  $T$  – длительность работы.

Например, работа «Определение объема»  $g_{11}$  имеет параметры:

$$\overline{g_{11}} = (\text{Определение объема, основная, 28.01.2003, 16.06.2003}).$$

За каждой работой в проекте закреплены ресурсы как трудовые, так и технические. Следовательно, определяется  $Q$  – множество ресурсов проекта. Рассматривается  $Q_a \in Q$ ,  $a = \overline{1, A}$ , где  $A$  – общее число ресурсов проекта и

$Q_a = R_{tech} \cap R_{hum}$ . В последнем выражении  $r_k^t \in R_{tech}$ , где  $R_{tech}$  – множество технических ресурсов;  $k = \overline{1, K}$ ,  $K$  – количество технических ресурсов, а  $r_l^h \in R_{hum}$ , где  $R_{hum}$  – множество трудовых ресурсов;  $l = \overline{1, L}$ ,  $L$  – количество трудовых ресурсов. Параметры технических ресурсов характеризуются следующим подмножеством  $\overline{r_k^t}$ :

$$\overline{r_k^t} = (\text{Name}, \text{State}, \lambda), \quad (2)$$

где *Name* – название ресурса; *State* – состояние технического ресурса;  $\lambda$  – интенсивность отказа технического ресурса.

Например, такой технический ресурс как стенд для отработки системы управления, используемый на работе «Монтаж силовой установки» имеет следующие параметры  $\overline{r}_k^t$ :

$$\overline{r}_k^t = (\text{Стенд для отработки СУ, Новый}, 10^{-5}).$$

Параметры трудовых ресурсов характеризуются следующим подмножеством  $\overline{r}_i^h$ :

$$\overline{r}_i^h = (\text{Post, Num, Sale, SumSale} = \text{Num} \cdot \text{Sale}, \text{Dept, Alt}), \quad (3)$$

где *Post* – должность; *Num* – число работников на должности; *Sale* – заработная плата; *SumSale* – общая заработная плата; *Dept* – подразделение; *Alt* – альтернатива (возможность замены работника).

Например, трудовой ресурс секретарь имеет следующие параметры  $\overline{r}_i^h$ :

$$\overline{r}_i^h = (\text{Секретарь}, 2, 250, 500, \text{Подразделение}_1, \text{Нем}).$$

Множество работ и множество ресурсов связаны операцией соответствия:  $W \subseteq G_i \times Q_a$ . Для формализации ресурсного обеспечения плана проекта, наконец, можно определить модель как тройку множеств:

$$S = (W, G_i, Q_a), \quad (4)$$

где *S* – модель ресурсного обеспечения плана проекта. В формуле (4) *W* – это такой вид соответствия, при котором, если ресурс  $q \in Q_a$  используется на работе  $g \in G_i$ , то пара «работа-ресурс»  $(g, q)$  является элементом множества *W*.

**3. Использование разработанной модели.** Ставится задача с помощью тройки множеств (4) описать ресурсное обеспечение плана проекта и реализовать некоторые условия выбора данных по проекту с помощью SQL-запросов, предъявляемых к базе данных проекта создания ДПЛА в прототипе системы исследования устойчивости. Язык SQL является удобным инструментом выполнения различных операций над набором данных.

Использование разработанной математической модели продемонстрировано на следующих несложных примерах. В примерах приведены случаи для описания фрагмента сетевой модели проекта в табличной форме и описание с помощью тройки множеств (4), а также запросы к базе данных проекта на вербальном описании, на языке SQL и также с помощью разработанной математической модели.

#### ПРИМЕР 1.

Описать с помощью разработанной математической модели второй этап проекта по созданию ДПЛА «Общее проектирование», фрагмент календарного плана которого представлен в таблице [7].

Код ID	Название работы	Длительность, дни	Начало работы	Окончание работы
1	Внешнее проектирование	....	...	...
...	...	...	...	...
14	Общее проектирование	44	05.11.03	05.01.04
15	ОП-Эскиз	22	05.11.03	04.12.03
16	ОП-НИР	22	05.11.03	04.12.03
17	ОП-Эскиз:назем.	22	05.11.03	04.12.03
18	ОП-Утверждение	22	05.12.03	05.01.04
...	...	...	...	...

Приведенный фрагмент сетевой модели проекта, представленной в табличной форме, можно описать с помощью разработанной математической модели следующим образом:

$$S = \{G_2, Q_2 = R_{tech} \cap R_{hum}\}$$

$$S = \left\{ \begin{array}{l} G_2 = \left( \begin{array}{l} g_{21} = ('ОП - Эскиз', основная, 05.11.03, 05.01.04, 44), \\ g_{22} = ('ОП - НИР', основная, 05.11.03, 04.12.03, 22), \\ \dots \\ g_{25} = ('ОП - Утверждение', основная, 05.12.03, 05.01.04, 22), \end{array} \right) \\ R_{tech} = \left( \begin{array}{l} r_1^t = ('ПЭВМ', работающий, проходящий техобслуж., 2 \cdot 10^{-5}), \\ r_2^t = ('Принтер', работающий, не проходящий техобслуж., 10^{-4}), \\ \dots \end{array} \right) \\ R_{hum} = \left( \begin{array}{l} r_1^h = ('Технический директор, 1, 2500, 2500, Подразделение_1, Нем.), \\ \dots \end{array} \right) \end{array} \right\}$$

### ПРИМЕР 2.

Найти всех работников среди персонала проекта, у которых заработная плата ниже средней. Показать, в каких работах проекта они участвуют.

Подобного рода информацию о заработной плате работников запрашивает руководитель проекта для повышения тарифных ставок или мотивации работников. На языке теории множеств представим этот запрос формулой:

$$S = \left( \overline{r_i^h} \mid Sale = AVG(Sale) \in Q_a \quad \text{и} \quad \overline{g_{ij}} \in G_i \right).$$

На языке SQL запрос выглядит следующим образом:

```
select
St.Worker, St.Salary, T.Task_Name, T.Start_Date, T.Finish_Date
from Task_export_table.db T, Staff.db St
where St.Salary < (
select avg(S.Salary)
from Staff.db S)
```

**Заключение.** С помощью теории множеств и операций алгебры логики была построена математическая модель ресурсного обеспечения плана

проекта. Модель представлена в виде «тройки множеств» – множества работ, множества ресурсов и подмножества их декартового произведения. Последнее подмножество специфично, оно представляет собой набор пар, связывающих ресурсы с теми работами, на которые распределены эти ресурсы. Каждый из элементов разработанной формальной модели ресурсного обеспечения плана проекта может быть расширен и углублен. Разработанная формализованная модель может использоваться для создания алгоритмической и программной моделей системы исследования устойчивости к рискам проектов по созданию новой техники [8]. Модель позволяет описывать распределение ресурсов в проекте, их состояния, характеристики в процессе управления проектами и в перспективе повысить уровень автоматизированного управления проектами.

**Список литературы:** 1. *Ефремов В.С.* Проектное управление: модели и методы принятия решений // Менеджмент в России и за рубежом, 1998, № 6, с. 105 – 139. 2. *Цхай С.М.* Задачи календарного планирования на сети сложной структуры. Новосибирск: изд-во Новосиб. ун-та, 1991. – 148 с. 3. *Модели управления научно-техническим прогрессом на предприятии / Н.Б. Мироносецкий и др.* Новосибирск: Наука, СО, 1989. – 153 с. 4. *Баркалов С. К., Буркова И.В., Глаголев А.В., Колпачев В.Н.* Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 265 с. 5. *Дружинин Е.А., Митрахович М.М., Яшина Е.С.* Методика оценки реализуемости проекта создания новой техники с учётом влияния динамики финансирования // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. Вип. 22.* – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2001. – С. 140-147. 6. *Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М.* Дискретная математика для инженера. – М.: Энергия, 1980. – 344 с., ил. 7. Системный подход и знаниеориентированные методы в управлении проектами создания беспилотных авиационных комплексов. Отчёт о НИР (заключительный) // Нац. аерокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 302-6/2005; ГР № 0105U004286, Инв. № 0202U006484. – Харьков, 2005. – 103 с. 8. *Дружинин Е.А.* Методологічні основи ризик-орієнтованого підходу до управління ресурсами проектів і програм розвитку техніки: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.22 / Нац. аерокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2006. – 34 с.

*Поступила в редколлегию 06.09.06*

УДК 681.3.07

**Е.В. ЯКОВЛЕВА**, канд. техн. наук, доц. каф. информатики ХНУРЭ,  
**И.В. КУСКОВА**, магистрант каф. информатики ХНУРЭ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ МАТРИЦ СОВПАДЕНИЙ**

Робота присвячена вирішенню проблем сегментації зображень. Для сегментації текстурних зображень пропонується використовувати метод матриць збігів. Розглянута можливість використання цього метода при наявності геометричних перетворень, а також для рішення задачі розпізнавання текстурних зображень.

The subject of this research paper is a development of solutions related to the problem of image segmentation. For the segmentation of textural images it is suggested to use coincidence matrix. The paper also contains a study of deploying this method in all cases that involve geometric transformations as well as of using it as a solution for texture image recognition.

Одной из первых задач обработки изображений является задача сегментации. Несмотря, на существующие успехи в ее решении, на сегодняшнее время она

решена лишь для частных задач при определенных ограничениях на тип изображений, наличие геометрических и яркостных искажений и т. д.

Сегментация обычно понимается как процесс поиска интересующих объектов на изображении. Сегментация считается первым этапом анализа изображений. Она является базовой процедурой практически во всех задачах обработки изображений с помощью систем компьютерного зрения. Качественное выполнение задачи сегментации во многом определяет успех решения задачи распознавания изображений, так как ошибки сегментации приводят к серьезным ошибкам последующей обработки изображений, например, их нормализации и распознавания, либо делают изображения вообще не приемлемыми для дальнейшей обработки существующими алгоритмами [1]. Этот этап весьма трудный и в общем виде до конца не алгоритмизированный для произвольных изображений. На данный момент не существует единственного метода сегментации, одинаково хорошо подходящего для всех задач сегментации [2]. Разработчику приложений машинного зрения приходится выбирать один из нескольких известных методов и, чаще всего, модифицировать этот метод с учетом специфических особенностей конкретной задачи.

Анализ существующих методов сегментации позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших исследований в области сегментации. Особый практический интерес представляет вопрос сегментации текстурных изображений. В данной работе рассматривается вопрос сегментации изображений методом матриц совпадений и показана целесообразность его применения для изображений с ярко выраженной текстурой.

При анализе многих типов изображений важной их характеристикой служит текстура. Она присутствует на многих изображениях, например, на изображениях, получаемых с помощью спутниковых мультиспектральных сканирующих устройств (в исследованиях по дистанционному зондированию), на микроскопических изображениях культур клеток и препаратов тканей (в биомедицинских исследованиях), и т.д. Текстуры часто присутствуют на изображениях естественных сцен, содержащих как природные, так и изготовленные человеком объекты. Тем не менее, несмотря на повсеместное присутствие в изображениях и важность текстуры, формального подхода к описанию текстуры и строгого ее определения пока не существует, и методы различения текстур, как правило, разрабатываются отдельного для каждого конкретного случая [3].

Текстура описывает пространственное распределение цветов или значений интенсивности на изображении [4]. Как правило, относится объект к текстуре или нет, зависит от масштаба, при котором он рассматривается. Листок, занимающий почти все изображение, – это объект, но листва дерева – это текстура. Источников текстуры множество. Во-первых, изображения, состоящие из большого количества мелких предметов, лучше всего считать текстурой. В качестве примеров можно назвать траву, листву деревьев, гравий, шерсть, щетину. Во-вторых, многие поверхности покрыты

правильными узорами, которые выглядят как большое количество мелких предметов, например: пятна на шкуре животных, как у гепарда или леопарда; полосы, как у тигра или зебры; узоры на коре деревьев, древесине и коже.

Текстура является характерным признаком, применяемым для сегментации изображений на области интереса и для классификации этих областей. Методы сегментации текстурных изображений делятся условно на две категории: структурные и статистические [2, 5]. При структурном подходе текстура представляет собой множество примитивных текселов, расположенных в некотором регулярном или повторяющемся порядке. При статистическом подходе текстура является количественной характеристикой распределения значений интенсивности в области изображения.

Первый подход может показаться привлекательным и в действительности оказывается применимым для регулярных искусственных текстур. Обнаружить текселы на естественных изображениях обычно намного сложнее, чем на искусственно сгенерированных образах, поэтому на практике чаще применяется более общий второй подход. Вместо обнаружения текселов по пиксельным данным полутоновых (или цветных) изображений вычисляются численные характеристики текстур (текстурные статистики). По сравнению со структурным подходом данный подход менее нагляден, но обладает вычислительными преимуществами и может применяться как для сегментации, так и для классификации текстур.

Примером статистического подхода является использование матриц совпадений, формируемых из исходных изображений, с последующим подсчетом различных статистических характеристик. В работе проведены исследования результатов сегментации изображений этим методом.

Матрица совпадений (англ. the coincidence matrix) – это двумерный массив  $P$ , в котором индексы строк и столбцов образуют множество  $V$  допустимых на изображении значений пикселей. Например, для полутоновых изображений  $V$  может быть множеством допустимых значений интенсивности (яркости), а для цветных изображений  $V$  может быть множеством возможных цветов. Значение  $P(a, b)$  указывает, сколько раз значение  $a$  встречалось на изображении в некотором заданном пространственном отношении со значением  $b$ . Пространственное отношение описывается вектором  $\vec{d} = (dx, dy)$ . Этот вектор задает смещение между пикселем с яркостью  $a$  и пикселем с яркостью  $b$  [2]. Например, в качестве пространственного отношения может быть выбрано «значение  $b$  является правым соседом для значения  $a$ ».

Формально матрица совпадений записывается следующим образом [5]:

$$P_d(a, b) = \sum_{r,s} p(a, b, (r, s), (t, v)),$$

где

$$p(a, b, (r, s), (t, v)) = \begin{cases} 1, & \text{если } B(r, s) = a, B(t, v) = b \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}; (t, v) = (r + dx, s + dy).$$

Мы использовали нормированную матрицу, которая определяется выражением

$$N_d = \frac{P_d(a, b)}{\sum_a \sum_b P_d(a, b)}.$$

Вычисленные, согласно этому выражению значения вхождений принадлежат диапазону [0, 1].

Матрицы совпадений представляют свойства текстуры, но они не удобны для непосредственного применения при анализе изображений, например, для сравнения двух текстур. Данные матрицы совпадений используем для вычисления числовых характерных признаков, которые служат более компактным представлением текстуры. В качестве таких признаков в работе были использованы следующие характеристики [2, 5, 3]:

$$X_1 = \sum_a \sum_b N_d^2(a, b); \quad X_4 = \max_{a,b} N_d(a, b); \quad X_7 = \sum_a \sum_b \frac{N_d(a, b)}{1 + (a - b)^2}.$$

$$X_2 = \sum_a \sum_b \frac{N_d(a, b)}{1 + a + b}; \quad X_5 = \sum_a \sum_b ab N_d(a, b); \quad (1)$$

$$X_3 = \sum_a \sum_b (a - b)^2 N_d^2(a, b); \quad X_6 = \sum_a \sum_b N_d(a, b) \log_2 N_d(a, b);$$

Т.к. некоторые характеристики принимают значения больше 1, поэтому мы их нормализовали с помощью следующей функции:

$$f(x) = \frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}},$$

где коэффициент  $a$  определяет кривизну графика.

В результате нормализации все характеристики принимают значения в диапазоне от 0 до 1.

Одна из проблем при вычислении текстурных характеристик на основе матриц смежности заключается в выборе вектора смещения  $d$ , а также в выборе характеристик, которые будут наиболее эффективными для конкретной задачи [6].

Для определения схожести текстур была использована линейная мера близости:

$$\rho(\bar{X}^i, \bar{X}^j) = \frac{\sum_{l=1}^k |X_l^i - X_l^j|}{k},$$

где  $i, j$  – индексы фрагментов;  $i, j = \overline{1, M}$ ;  $M$  – количество фрагментов;  $\bar{X}^i(X_1, X_2, \dots, X_k)$  – вектор признаков  $i$ -ого фрагмента;  $k$  – количество признаков.

При определении схожести текстур также можно использовать и другие метрики. Преимуществом линейной метрики по отношению к остальным существующим метрикам является быстрота вычисления.

Для решения задачи сегментации, т.е. для разбиения изображения на текстуры разных классов, использовался следующий алгоритм: входное изображение размерностью  $N \times N$  разбивалось на фрагменты размером  $n \times n$ . В результате получали  $M = \left[ \frac{N}{n} \right] \times \left[ \frac{N}{n} \right]$  фрагментов.

Для каждого фрагмента строились четыре матрицы для следующих векторов перемещения:

$$d_1 = (0, 1), d_2 = (0, -1), d_3 = (-1, 0), d_4 = (1, 0). \quad (2)$$

Из полученных матриц получали нормированные матрицы. По полученным матрицам вычислялись характеристики (1). В результате для каждого фрагмента получали вектор характеристик  $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_{28})$ , состоящий из 28 элементов.

В качестве критерия, позволяющего принять решение о принадлежности фрагментов к одному классу текстур, использовалось следующее условие:

$$\rho(\bar{X}^i, \bar{X}^j) \leq \delta, \quad (3)$$

где  $\rho$  – мера близости;  $\bar{X}^i(X_1, X_2, \dots, X_k)$  – вектор признаков  $i$ -ого фрагмента;  $i, j = 1, \dots, \left[ \frac{N}{n} \right], i \neq j$ ;  $\delta$  – некоторая пороговая величина.

В работе проведены исследования работы матриц совпадений при наличии на изображении различных геометрических преобразований, а именно смещений, поворотов и масштаба. Были сделаны следующие выводы:

- при наличии смещений алгоритм вычисления матриц совпадений не требует изменений, т.к. матрица совпадений инвариантна к данному типу преобразований;

- при наличии на изображении одинаковых текстур, расположенных под разным углом вычислялись не 4 матрицы для каждого направления отдельно, а одна для четырех направлений одновременно, а расстояние между точками с яркостью  $a$  и  $b$  ( $a, b = 0,255$ ), определяемое вектором перемещений  $d$ , использовалось как радиус;

- при наличии текстур в различных масштабах увеличивали значение вектора перемещения. При построении матриц для произвольного изображения, не известны масштабы текстур, поэтому строили последовательность матриц для разных значений векторов, но при этом увеличилось время сегментации изображения. Если, масштаб изменялся от 1 до  $\alpha$ , тогда алгоритм необходимо было применить  $\alpha$  раза при длине вектора



перемещений  $\left| \bar{d} \right| = 1, 2, \dots, \alpha$ , при этом время также увеличилось в  $\alpha$  раз. Из этого можно сделать вывод, что время сегментации при увеличении вариантов значений  $d$  увеличивается линейно.

Количество сравнений векторов характеристик при формировании классов текстур можно определить по следующей формуле:

$$L(M-1) - \sum_{i=1}^{k-1} (L-i)m_i,$$

где  $L$  – количество классов текстур на изображении;  $M$  – количество сформированных векторов характеристик (количество фрагментов, на которое разбито изображение);  $m_i$  – количество фрагментов, относящихся к  $i$  – ому классу.

Метод матрицы совпадений также можно использовать при распознавании текстур. При этом необходима база эталонных текстур и их векторов признаков. Как и при сегментации, исходное изображение разбивается на фрагменты определенного размера, и для каждого фрагмента строится вектор характеристик. Затем полученные вектора сравниваются с эталонными векторами. По результатам сравнения принимается решение о принадлежности фрагментов входного изображения некоторому классу эталонных текстур.

Предположим, что задано входное изображение размером  $N \times N$ . Как и при сегментации, оно разбивается на фрагменты размером  $n \times n$ . В результате разбиения получаем  $\left[ \frac{N}{n} \right] \times \left[ \frac{N}{n} \right]$  фрагментов. Затем для каждого фрагмента строятся матрицы, по которым затем вычисляется вектор характеристик  $\bar{X}$ . В итоге для изображения получаем множество векторов характеристик  $X = \left\{ \bar{X}^j \mid j = 1, \dots, \left[ \frac{N}{n} \right] \times \left[ \frac{N}{n} \right] \right\}$ .

Пусть задано множество эталонных векторов классов текстур  $X_0 = \left\{ \bar{X}_0^i \mid i = 1, \dots, L_0 \right\}$ , где  $L_0$  – количество эталонных классов текстур.

Решение о принадлежности  $j$ -ого фрагмента одному из классов принимается на основании выполнения следующего условия:



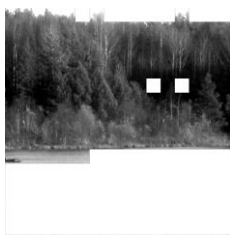


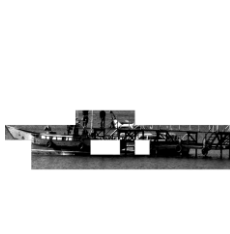



$$I = \arg \min_i \left( \rho \left( \bar{X}_0^i, \bar{X}^j \right) \right),$$

где  $I$  – индекс класса, которому соответствует вектор  $\bar{X}^j$ ;  $i = 0, \dots, L_0$ ;  $\rho$  – мера близости;  $j = 1, \dots, \left[ \frac{N}{n} \right] \times \left[ \frac{N}{n} \right]$ .

Задача сегментации часто возникает при анализе реальных сцен в системах компьютерного зрения. В качестве тестового материала были выбраны типичные для данной задачи изображения, т.е. цветные или полутоновые изображения с ярко выраженной текстурой (табл. 1).

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Входное изображение	Промежуточный результат	Результат сегментации
1			
<p>Размер изображения 512×512 px; размер фрагмента 32×32 px; порог <math>\delta=1</math>; красный, зеленый и синий каналы; количество сформированных классов 5. Классы окрашены в псевдоцвета. Оставлено два класса.</p>			
2			
<p>Размер изображения 512×512 px; размер фрагмента 32×32 px; порог <math>\delta=0.5</math>; синий канал; количество сформированных классов 12. Классы окрашены в псевдоцвета. Оставлен один класс.</p>			
3			
<p>Размер изображения 512×512 px; размер фрагмента 32×32 px; порог <math>\delta=0.7</math>; красный, зеленый и синий каналы; количество сформированных классов 3. Классы окрашены в псевдоцвета. Оставлен один класс.</p>			

Алгоритм был реализован следующим образом. Входное изображение размерностью 512×512 пикселей разбивалось на фрагменты размером 32×32 пикселя. Каждый фрагмент данного изображения рассматривался в трех каналах (красном, зеленом и синем). Для фрагмента в каждом канале строились 4 матрицы для векторов перемещения (2), по которым затем вычислялись характеристики (1). Для каждого фрагмента получали вектор характеристик, состоящий из 28 элементов. В итоге для изображения получали 256 векторов характеристик. Используя критерий принятия решения (3), определяли фрагменты, относящиеся к одному классу текстур. В табл.1 представлены результаты сегментации изображений.

Для анализа классов текстур, формируемых для изображения в процессе сегментации, были получены расстояния между этими классами. В табл. 2 представлены расстояния между классами, построенные для изображения 1, представленного в табл. 1. Для этого изображения значение порога равнялось 1. При этом было получено 5 классов. Из табл. 2 видно, что при значении порога 1.18 третий и пятый классы сольются. Следовательно, выбор порога требует предварительной оценки обрабатываемых изображений.

Таблица 2

Расстояние между классами текстур

№ класса	1	2	3	4	5
1	0	1,2863	3,1456	1,8773	4,3157
2	1,2863	0	4,4392	2,6926	5,6019
3	3,1456	4,4392	0	2,5438	1,17
4	1,8773	2,6929	2,5438	0	3,5564
5	4,3157	5,6019	1,17	3,3564	0

Таким образом, метод матриц совпадений дает хорошие результаты при сегментации естественных изображений с ярко выраженной текстурой. Этот метод можно использовать и при наличии геометрических преобразований, а именно при смещениях, поворотах и масштабах. Также метод матриц совпадений рекомендуется применять для распознавания текстур.

**Список литературы:** 1. Денисов Д.А., Низовкин В.А. Сегментация изображений на ЭВМ // Зарубежная радиоэлектроника, 1985. №10. – С. 5–30. 2. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. Пер. с англ. – М.:Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 3. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР, 1979. Вып. 67. №5. – С. 98–118. 4. Форсайт, Давид А.и др. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 928 с. 5. Путькин Е.П., Панченко Д.С. Сравнительный анализ методов сегментации изображений. // Радиоэлектроника и информатика.– 1999.– №4(9). – С. 109–114 6. Handbook of pattern recognition and computer vision / Chen S.H., Rau L.F. and others – Singapore-New Jersey-London-Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1995. – 984 p.

Поступила в редколлегию 01.11.06

**О.Ю. ЧЕРЕДНИЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**Д.Л. ОРЛОВСКИЙ**, канд. техн. наук, **Э.Е. РУБИН**, канд. техн. наук,  
**Г.А. ЧЕРЕДНИЧЕНКО**

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОФИСНОЙ ТЕХНИКИ**

В статті розглянуто особливості процесу сервісного обслуговування офісної техніки. Одним з найважливіших показників якості сервісної послуги є час обслуговування. Мінімізація часу обслуговування є одним з основних критеріїв ефективної роботи сервісного підприємства. Для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління процесом сервісного обслуговування запропоновано проводити дослідження на основі імітаційної моделі.

В статье рассмотрены особенности процесса сервисного обслуживания офисной техники. Одним из наиболее важных показателей качества сервисной услуги является время обслуживания. Минимизация времени обслуживания – один из основных критериев работы сервисного предприятия. Для принятия обоснованных решений при управлении процессом сервисного обслуживания предлагается проводить исследования на основе имитационной модели.

Введение. Сервис – это специфическая область деятельности, основной продукцией которой является производство услуг. От качества предоставляемой услуги зависит спрос на эту услугу. Для сохранения и увеличения конкурентоспособности сервисной компании необходимо научиться планировать свою деятельность так, чтобы обеспечить предоставление качественных услуг.

В современных условиях сервис приобретает все большее значение с точки зрения эффективного ведения бизнеса. Сервисное обслуживание наиболее актуально для такой группы товаров как товары длительного пользования. Примером таких товаров является офисная техника, без наличия которой не обходится ни одно современное предприятие [1,2,3]. Офисная техника нуждается в профилактическом техническом обслуживании, плановых заменах ресурсных элементов, поставках расходных материалов и т.п. Все это обуславливает создание множества предприятий, предоставляющих сервисные услуги.

Как каждый хозяйствующий субъект, сервисное предприятие обязано учитывать воздействие различных факторов [2]. Эти факторы можно разделить на внешние, характеризующие среду, в которой работает предприятие, и внутренние, обусловленные применяемыми на предприятиях методами планирования и управления.

На конкурентном рынке главной заботой руководителя предприятия становится не налаживание производства, а повышение его эффективности. Для сохранения и увеличения конкурентоспособности нужно научиться планировать свою деятельность. Концепция планирования в рыночной экономике основана на регулярном сборе оперативной информации и анализе

данных, накопленных за предыдущие периоды, и ориентирована на маркетинг, прогнозирование состояния рынка и соответствующие финансовые оценки.

Основной целью оценки конкурентоспособности в сфере сервиса является разработка методов решения комплекса стратегических задач для привлечения максимального числа клиентов, обеспечения в течение многих лет привлекательности услуг, оказываемых сервисной фирмой [4].

Ремонт и обслуживание офисной техники относится к сервису производственного характера, основной задачей которого является предоставление услуг по поддержанию в исправном состоянии офисного оборудования клиента. По причине естественного износа, неправильного использования или случайных поломок офисная техника нуждается в обслуживании в процессе эксплуатации с целью сохранения ее потребительских качеств. Это стимулирует развитие бизнеса в сфере обслуживания. Для быстрого реагирования на изменяющуюся конъюнктуру рынка сервисные предприятия нуждаются в применении систем поддержки принятия решений. Это дает возможность не только аккумулировать большие потоки информации, но и обрабатывать их с целью дальнейшего использования для принятия своевременных управленческих решений.

Цели исследования. Для любого клиента, который обращается в сервисное предприятие, важно время ожидания с момента обращения в сервисный центр до момента полного обслуживания. Минимизация времени сервисного обслуживания во многом зависит от рациональной организационной структуры процесса обслуживания внутри сервисного предприятия.

Для повышения эффективности работы сервисного предприятия, исследования факторов повышения конкурентоспособности предоставляемых услуг, анализа внутренних процессов сервисного предприятия в работе предлагается использовать метод имитационного моделирования.

Формализация процесса сервисного обслуживания. Основной целью сервисного обслуживания является обеспечение бесперебойной работы офисной техники путем предоставления сервисных услуг. Сервисные услуги представляют собой профилактические работы, ремонты, замены ресурсных элементов (РЭ) и запасных частей, продажи и поставки расходных материалов (РМ), различные консультации. Данные виды услуг могут формировать разные типы заявок на сервисное обслуживание (СО). На рисунке 1 приведена классификация типов заявок на сервисное обслуживание.



Рис. 1. Классификация заявок на сервисное обслуживание

Одним из основных показателей качества сервисного обслуживания является время обслуживания клиентов (см. рис. 2).

На этот показатель влияет большое число объективных и субъективных факторов: количество заявок, поступивших на обслуживание, организация процесса внутренней обработки заявки, количество и квалификация сервисных инженеров, наличие расходных материалов и запасных частей на складе. В связи с этим минимизация времени сервисного обслуживания является одним из основных критериев эффективной работы сервисного предприятия.



Рис. 2. Основные критерии оценки качества сервисного обслуживания

Внутренний процесс сервисного обслуживания офисной техники состоит из двух основных этапов [3]: обработка заявки и выполнение сервисных работ (см. рис. 3).

Для исследования процесса сервисного обслуживания с точки зрения временных затрат, связанных с выполнением отдельных этапов, целесообразно построить имитационную модель.

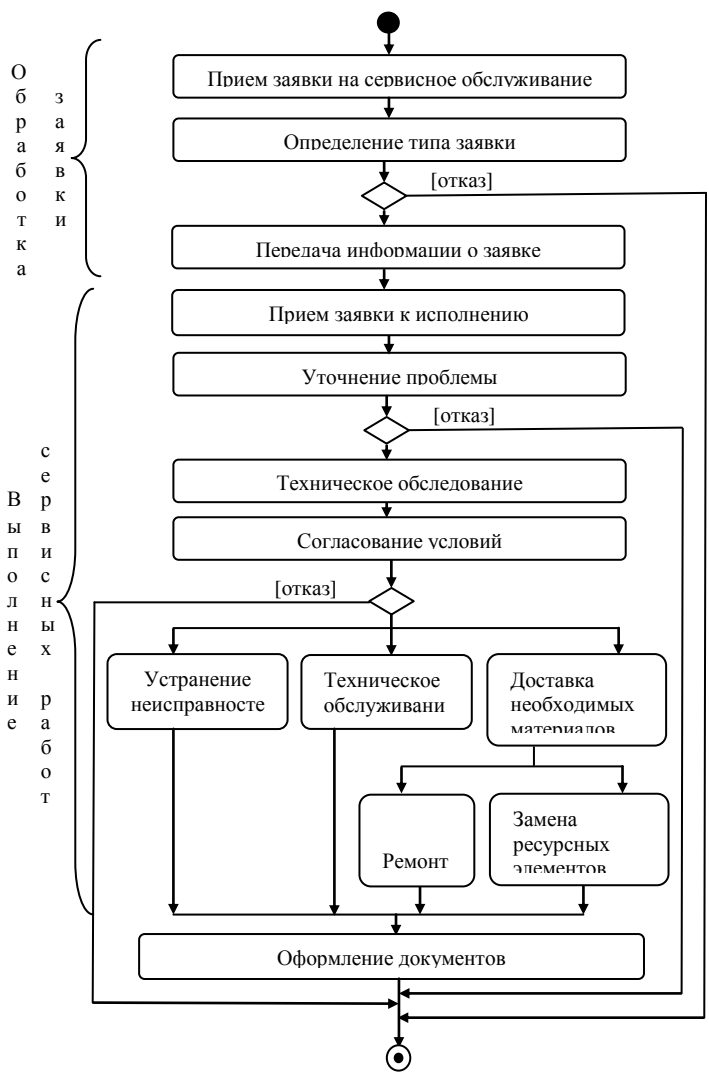


Рис. 3. Процесс сервисного обслуживания офисной техники

Функционирование имитационной модели можно представить в виде взаимодействующих между собой внутренних параметров и параметров внешней среды. Основными компонентами рассматриваемой системы являются (см. рис. 4):

- входной поток;
- механизм обслуживания;

- очередь;
- конфигурация системы.

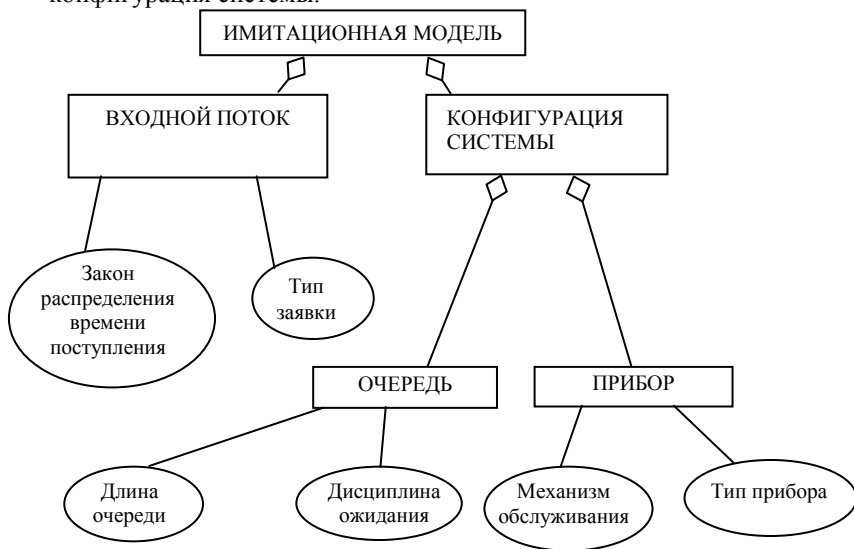


Рис. 4. Компоненты имитационной модели

В сложных системах, работающих в реальном масштабе времени, входной поток заявок, как правило, отличается крайней неоднородностью. При моделировании неоднородный поток может быть представлен совокупностью однородных потоков. В каждый из однородных потоков объединяются заявки с идентичным приоритетом и параметрами, иначе говоря, заявки одного типа. Вообще говоря, различные типы заявок имеют различный приоритет. Входной поток считается заданным, если известна функция распределения интервалов времени между последовательными заявками одного типа.

Очередь, в общем случае, характеризуется числом мест в очереди и дисциплиной ожидания. Дисциплина ожидания определяет правила управления очередью, а также ограничения на длину очереди, времени ожидания т.д.

В работе рассматривается ситуация, когда очередь имеет бесконечную длину, заявки поступают постоянно и, поступившая в очередь заявка остается в ней, пока не освободится один из приборов обслуживания. С другой стороны, рассматривая процесс сервисного обслуживания, целесообразно учитывать различные приоритеты обслуживания для разных типов заявок, а также возможность отказа, связанную с максимальным временем пребывания заявки в очереди.



Конфигурация системы, в общем случае, характеризуется множеством приборов обслуживания разных типов и порядком прохождения заявки через эти приборы.

Следующим компонентом модели является обслуживающий прибор, который характеризуется типом и механизмом обслуживания. В общем случае время обслуживания заявки прибором - это случайная величина, закон распределения которой считается известным.

Эффективность процесса сервисного обслуживания можно охарактеризовать большим числом различных показателей. В данной работе предлагается использовать следующие показатели:

- среднее время ожидания;
- средняя длина очереди;
- среднее время пребывания заявки в системе;
- среднее число заявок в системе.

Выводы. Применение результатов имитационного моделирования процесса сервисного обслуживания позволит руководству сервисного предприятия существенно повысить эффективность внутренних процессов, что приведет к увеличению конкурентных преимуществ данного предприятия на рынке сервисных услуг.

**Список литературы:** 1. *Чердиченко О.Ю., Чердиченко Г.А.* Проблемы повышения эффективности процесса сервисного обслуживания офисной техники // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №19. – С. 133-138. 2. *Орловский Д.Л., Чердиченко Г.А.* Управление процессом сервисного обслуживания офисной техники // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. – С.140-144. 3. *Чердиченко О.Ю., Москаленко В.Ю.* Постановка задачи имитационного моделирования процесса сервисного обслуживания // Тезисы докладов 13 междунар. науч.-техн. конф. г. Винница, 25-28 сентября 2006 г. – Винница: ВНТУ, 2006. – С. 309. 4. Менеджмент сервиса бытовой и офисной техники / под общ. ред. Н.М. Комарова. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2005. – 240 с.

*Поступила в редколлегию 01.11.06*

УДК 519.8

**О.Ю. ЧЕРЕДНИЧЕНКО**, к.т.н., кафедра АСУ, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)  
**Д.В. КУКЛЕНКО**, к.т.н., кафедра АСУ, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)  
**С.И. ЗЛАТКИН**, Department of Information Systems, Massey University  
(Новая Зеландия)

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПРАВИТЕЛЬСТВА К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

В статті розглянуто процес ліцензування вищих навчальних закладів. Запропоновано архітектуру інформаційної системи для підтримки процесу ліцензування вузів на основі концепції електронного уряду.

In this paper a process of licensing higher education institutions is examined. Also an architecture of information system aimed to support that process is proposed based on the concepts of e-Government.

**1. Введение.** Успешное развитие любого государства напрямую связано с уровнем образованности его граждан. Интеллектуальный потенциал общества определяет возможность использования высоких технологий, развития наукоемких производств, инновационного роста и высокого уровня жизни населения. Экономика, ориентированная на наукоемкое, высокотехнологичное производство, требует подготовки специалистов соответствующей квалификации. Ответственность за подготовку квалифицированных специалистов возложена на национальную систему высшего образования.

Основной целью системы высшего образования является обеспечение возможности качественной подготовки специалистов по различным направлениям и специальностям. Основным элементом системы высшего образования является высшее учебное заведение. В процессе предоставления образовательных услуг ВУЗ взаимодействует с различными группами потребителей. В качестве таких групп можно выделить: 1) физических лиц (абитуриенты, студенты, выпускники); 2) юридических лиц (предприятия и организации, принимающие на работу выпускников); 3) государство.

Управление в сфере высшего образования осуществляется на различных уровнях: 1) на уровне ВУЗа; 2) на уровне центрального органа исполнительной власти в сфере высшего образования; 3) на уровне государства. На различных уровнях принятия решений решаются разные задачи управления и координации в системе высшего образования. Для осуществления эффективной деятельности на всех уровнях управления необходимо организовать сбор, хранение, передачу и обработку огромных массивов информации. Такая информация включает в себя результаты взаимодействия системы высшего образования и потребителей образовательных услуг, центрального органа исполнительной власти в сфере высшего образования и ВУЗов, государства и центрального органа исполнительной власти и т.п. [1].

Таким образом, актуальной задачей является разработка информационно-аналитической системы управления и координации в сфере высшего образования. В работе [1] предлагается подход к созданию такой системы на основе концепции электронного правительства.

Основной целью создания такой информационно-управляющей системы является повышение эффективности сбора, хранения и обработки информации в системе управления высшим образованием. С другой стороны, учитывая важную роль государства при управлении и координации в системе высшего образования, на уровне центрального органа исполнительной власти должен решаться ряд функциональных задач. К таким задачам можно отнести: 1) лицензирование и аккредитация; 2) разработка стратегии и планов развития системы высшего образования; 3) распределение государственного заказа на подготовку специалистов; 4) распределение бюджетного финансирования между ВУЗами.

**2. Концепция и задачи электронного правительства: краткий обзор исследований.** Проблематика, связанная с понятием электронного правительства, является актуальной темой научных и практических исследований на протяжении последних лет. Основными предпосылками, побуждающими к изучению проблематики электронного правительства и к практическому внедрению различных результатов этих исследований на практике, являются следующие [1].

- Резкое увеличение скорости жизни и деловой активности людей и организаций в последние годы и десятилетия. Это, в свою очередь, привело к росту скорости процессов обмена информацией между людьми, организациями и государственными структурами;
- Стремительное развитие информационных технологий, в особенности связанных с глобальными коммуникационными сетями.

В современной литературе существует значительное число определений понятию электронное правительство. Так, например, русская версия открытой энциклопедии Wikipedia [2] определяет электронное правительство как «концепцию предоставления государственных услуг по принципу «одного окна» через единый веб-портал». Определение, используемое Всемирным банком [3], подразумевает под электронным правительством «использование информационных и коммуникационных технологий для повышения эффективности, экономичности и прозрачности правительства и возможности общественного контроля над ним». Среди множества англоязычных определений можно также выделить такое [4]: «электронное правительство связано с ситуацией, в которой законодательные, административные, юридические и другие государственные подразделения (относящиеся как к центральным, так и к местным органам власти) переходят к использованию электронных форм документооборота и использованию сетевых информационных систем для повышения качества предоставления публичных сервисов».

В настоящее время существует значительное количество информационных систем, реализующих те или иные аспекты функциональности электронного правительства. Как правило, такие решения связаны с функциями органов регистрации граждан, обработки обращений граждан в государственные органы, иммиграционными службами и т.п. В то же время следует отметить, что в сфере высшего образования системы электронного правительства развиты недостаточно. Как правило, такие системы лишь предоставляют фактическую информацию о ВУЗах и специальностях, по которым осуществляется подготовка.

В работе [1] авторами был предложен подход, связанный с использованием информационных систем, реализующих идеологию электронного правительства, для решения задач обработки данных в национальной системе высшего образования. Среди задач, которые могут решаться на основе предложенного подхода, были выделены задачи построения траектории развития системы высшего образования, задача распределения финансирования между ВУЗами, задача предоставления лицензий и аккредитации.

**3. Цели исследования.** Одной из основных задач, решаемых на уровне центрального органа координации и управления в сфере высшего образования, является задача лицензирования и аккредитации [5]. Данная задача является актуальной, поскольку лицензирование осуществляется регулярно (ввиду ограниченного срока действия выдаваемых лицензий) и при этом необходимо обрабатывать значительные объемы информации. Значительная часть информации, необходимой для проведения лицензирования, по своей природе не является закрытой и в общем случае может быть доступна для публичного ознакомления. Целью данного исследования является анализ задачи лицензирования и аккредитации специальностей и рассмотрение возможного варианта решения данной задачи в рамках системы электронного правительства в сфере высшего образования.

**4. Процесс лицензирования в сфере высшего образования.** Процесс лицензирования и аккредитации дает ВУзам право предоставлять образовательные услуги и выдавать диплом государственного образца. При помощи лицензирования и аккредитации государство контролирует минимальный необходимый уровень качества образования на уровне ВУЗа и гарантирует выпускникам этого ВУЗа признание их квалификации. Управление и координацию деятельности в области лицензирования и аккредитации осуществляют Министерство образования и науки и Государственная аккредитационная комиссия [5]. При этом рассматриваются лицензирование и аккредитация специальности, направления подготовки и ВУЗа в целом.

Процесс лицензирования можно представить следующими основными этапами: сбор необходимой информации; оформление документации, предварительная экспертиза на основе документов, проведение экспертизы, выдача сертификата. Повысить эффективность этой деятельности возможно путем внедрения информационной системы, разработанной на основе концепции электронного правительства.

Процесс лицензионной экспертизы направлен на изучение соответствия состояния ВУЗа лицензионным условиям. Эту процедуру проводят эксперты, в качестве которых могут выступать ведущие специалисты органов власти, учебных заведений и научных организаций, специалисты предприятий, учреждений и организаций, которые имеют соответствующее образование, квалификацию, опыт работы и т.д. [6]. В процессе своей работы экспертная комиссия (или эксперт) проверяет достоверность предоставленной ВУЗом информации, оценивает фактическое состояние ресурсного обеспечения ВУЗа и формулирует выводы о соответствии лицензионным условиям.

Лицензионные условия определяют минимальные нормативы обеспечения учебных заведений материально-технической, учебно-методической и информационной базой, научно-педагогическими и педагогическими кадрами [7]. Лицензионные условия содержат нормативы для подготовки специалистов по различным образовательно-квалификационным уровням.

Значения нормативных показателей формируется на основе фактического состояния ресурсного и правового обеспечения ВУЗа.

В процессе лицензирования (аккредитации) можно выделить три основных вида действующих лиц: 1) государство – формирует перечень и значения нормативов для подготовки специалистов с высшим образованием, контролирует соблюдение лицензионных условий, регулирует деятельность в сфере лицензирования (аккредитации); 2) эксперты – проверяют соответствие требований лицензионных условий и фактического состояния; 3) ВУЗы – предоставляют информацию о соблюдении требований лицензионных условий. Главный вопрос, ответ на который ищут на разных стадиях процесса лицензирования (аккредитации) все участники этого процесса, – соответствует ли фактическое состояние ВУЗа требованиям лицензионных условий. Для этого ВУЗы проводят самоанализ, эксперты – предварительную экспертизу, государство – мониторинг лицензионных условий. Решение этой задачи – основная цель создания информационной системы лицензирования и аккредитации.

Таким образом, информационная система в области лицензирования и аккредитации должна обеспечить решение следующих задач.

1. Сбор информации от ВУЗов об их фактическом состоянии. Эти данные должны отражать количественные и качественные характеристики обеспечения ВУЗа для подготовки специалистов с высшим образованием. Кроме этого, предоставляемая ВУЗами информация должна содержать показатели, отражающие требования лицензионных условий.

2. Предоставление данных о проведении лицензионной экспертизы. Это информация о требованиях и нормативах лицензионных условий, утвержденных значениях нормативных показателей для различных образовательно-квалификационных уровней, список экспертов и т.п.

3. Хранение информации о результатах проведенных экспертиз, в том числе: лицензионные материалы ВУЗа, фактическое состояние ВУЗа на момент проведения экспертизы, выводы экспертной комиссии, номер и дату выдачи лицензии и т.п.

4. Поддержка при проведении предварительной экспертизы. Такая функция в первую очередь актуальна для эксперта, который получил от ВУЗа лицензионные материалы и должен сделать предварительное заключение. Также эта функция важна для ВУЗов, которые готовят документы для прохождения лицензирования (аккредитации). Для осуществления предварительной экспертизы необходимо наличие информации о фактическом состоянии ВУЗа и нормативных значениях показателей лицензионных условий. На основании этой информации необходимо произвести расчет нормативных показателей и их сравнение с требованиями лицензионных условий.

**5. Информационная система поддержки принятия решений при лицензировании.** В процессе лицензирования ВУЗа следует выделить три основных действующих лица: 1) ВУЗ, подающий заявку на получение лицензии; 2) подсистема лицензирования, входящая в комплексную информацион-

ную систему координирующего органа, осуществляющая обработку предоставленной информации; 3) эксперт, осуществляющий проверку предоставленной информации на соответствие лицензионным требованиям. Упрощенная модель процесса лицензирования представлена на рисунке 1 в нотации BPMN [8]. Данная нотация позволяет одновременно описывать внутренние и внешние процессы подсистем, а также моделировать «выполняемые» автоматизированные процессы. Процесс инициируется ВУЗом, который подготавливает необходимые данные для заявки на лицензирование. Аналогичным образом можно сформировать заявку для самоанализа. Затем эти данные передаются подсистеме лицензирования. Передача данных может осуществляться автоматически, при условии наличия соответствующего программного обеспечения у ВУЗа, или же путем заполнения соответствующих форм через веб-портал сотрудником ВУЗа.

В случае если заявка подана для самоанализа, подсистема лицензирования проводит необходимые расчеты и формирует соответствующие рекомендации. В случае официальной заявки на лицензирование подсистема лицензирования назначает эксперта. Это может быть как автоматическая операция, в этом случае из базы экспертов выбирается наиболее подходящий для каждого конкретного случая эксперт, так и ручная, когда эксперт назначается координационным центром. Назначенный эксперт далее может провести как предварительную, так и официальную экспертизу. В обоих случаях он составляет соответствующее заключение, после чего подсистема лицензирования сохраняет все данные и генерирует для ВУЗа результат. Этот результат может включать в себя как решение о лицензировании или его отказе, так и соответствующие рекомендации эксперта или результатов вычислений в случае самоанализа.

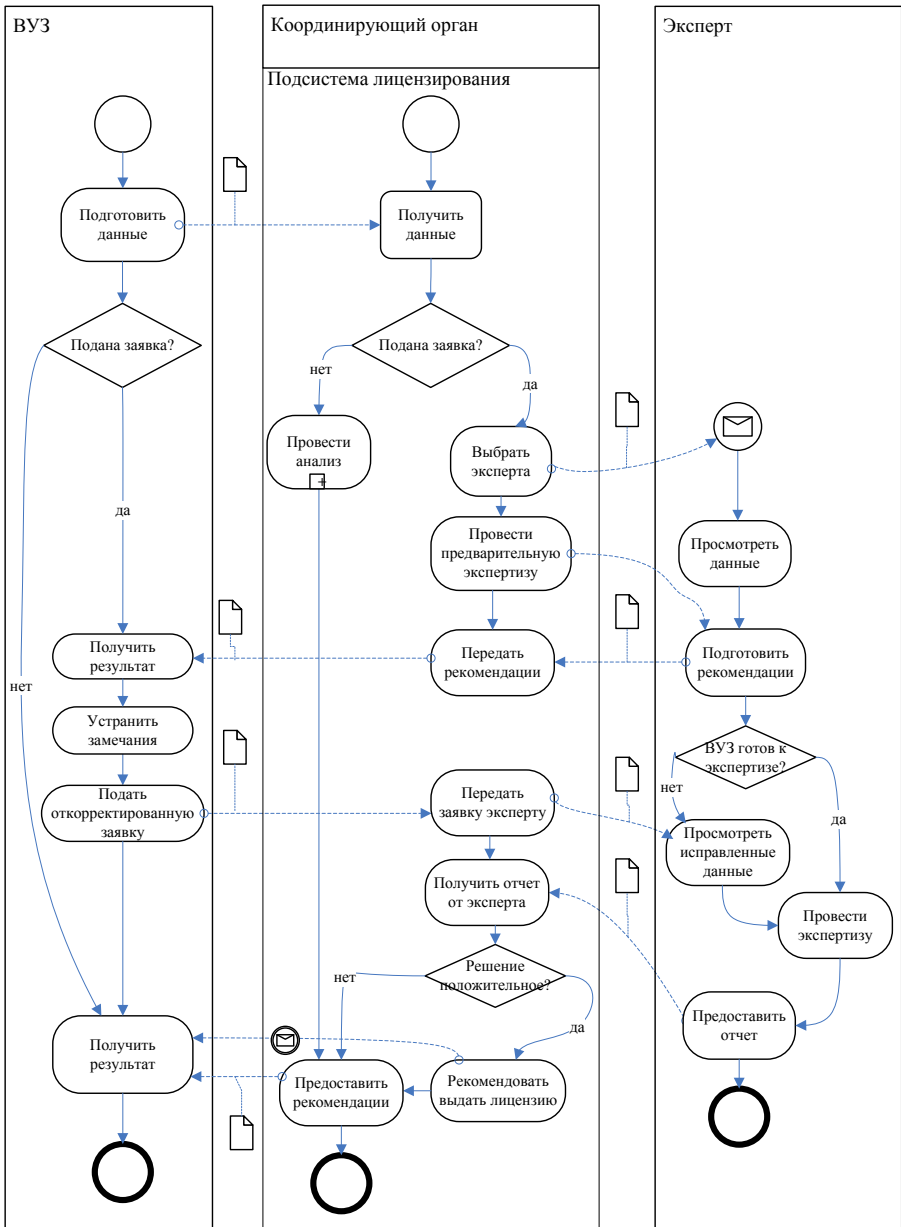


Рис. 1. Предлагаемый процесс лицензирования высших учебных заведений

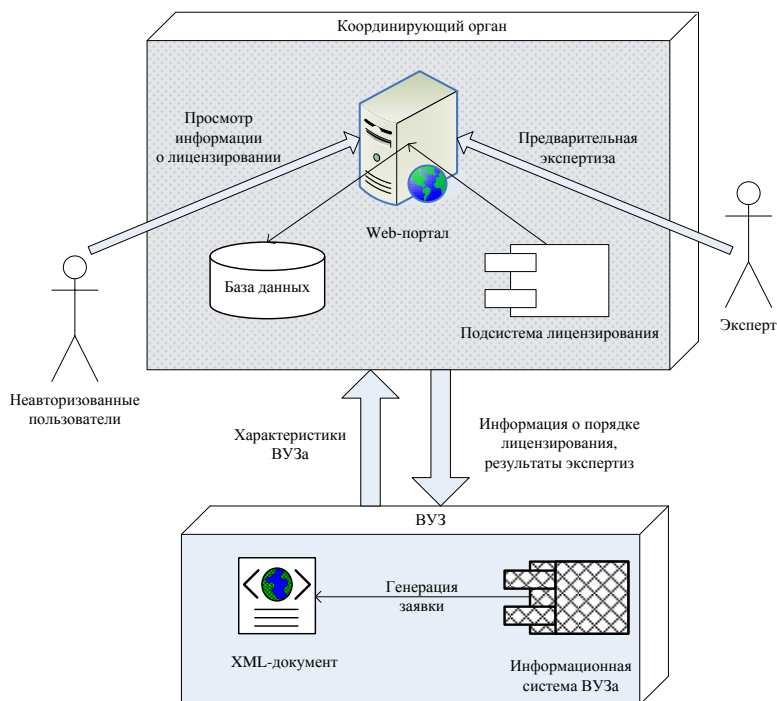


Рис. 2. Архитектура информационной системы поддержки процесса лицензирования ВУЗов

На рисунке 2 приведена архитектура информационной системы, реализующей предложенный процесс. Архитектура системы была разработана в соответствии с приведенной в работе [1] эталонной архитектурой информационных систем для решения задач высшего образования на основе концепции электронного правительства. ВУЗ предоставляет информацию, требуемую для подачи заявки на получение лицензии. Координирующий орган средствами системы проводит предварительную экспертизу, а также предоставляет внешним экспертам полученные в ее ходе данные. Рекомендации эксперта в дальнейшем передаются ВУЗу средствами системы. Также система предоставляет накопленные данные внешним пользователям, желающим получить интересующую их информацию о различных ВУЗах.

**6. Выводы.** В данной статье проанализированы задачи лицензирования и аккредитации специальностей ВУЗов, а также предложено решение автоматизации данных задач с помощью принципов электронного правительства. Для этого был спроектирован процесс лицензирования, выделены основные действующие лица и подсистемы, установлены управляющие и информа-



ционные связи, а также предложена архитектура информационной системы, реализующей данный процесс. В дальнейшем планируется развитие данной темы по следующим направлениям: 1) разработка процедур проведения анализа соответствия ВУЗа лицензионным требованиям на уровне координирующего органа 2) разработка подсистемы лицензирования координационного органа, подсистемы генерации заявки ВУЗа, а также онтологии данных для оптимальной коммуникации данных подсистем.

**Список литературы:** 1. *Cherednichenko O., Kuklenko D., Zlatkin S. Coordinating Higher Education as e-Government Initiative // Information Systems Technology and its Applications. – ISTA'2006. Lecture Notes in Informatics. – Proceedings, P-84, GI-Edition, 2006. – P. 27-38.* 2. *Википедия, Свободная Энциклопедия.* URL: <http://ru.wikipedia.org/> . 3. *Полит анализ.PV.* Определение электронного правительства - Всемирный банк URL: [http://www.politanaliz.ru/articles\\_222.html](http://www.politanaliz.ru/articles_222.html) 4. *Asia Oceania Electronic Market Place Association. E-Government: Definitions and Objectives,* URL: [http://www.aoema.org/E-Government/Definitions\\_and\\_Objectives.htm](http://www.aoema.org/E-Government/Definitions_and_Objectives.htm) 5. Закон Украины о высшем образовании. 6. Положення про експертну комісію та порядок проведення ліцензійної експертизи. 7. Ліцензійні умови надання освітніх послуг у сфері вищої освіти. 8. *Stephen A. White. Introduction to BPMN,* URL: <http://www.bpmn.org/Documents/Introduction%20to%20BPMN.pdf>

*Поступила в редколлегию 06.11.06*

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Куценко А. С., Чан Занг Лю, Конохов С. В.</i> Квазистатическое управление процессом сгорания в котельных агрегатах.....	3
<i>Пальчик А. В.</i> Минимаксный подход в задачах синтеза систем, оптимальных по квадратичному критерию качества.....	12
<i>Себко В. В.</i> Экранное трубчатое многопараметровое вихреотокое устройство.....	17
<i>Мазманишвили А. С., Сидоренко А. Ю., Старушкин Д. А.</i> Дискретный квадратичный функционал качества и эффективное количество его компонент.....	31
<i>Сидоренко А. Ю., Самотой О. Ю.</i> Решение задачи статистического управления механической обработкой колец подшипника методом кластерного анализа.....	36
<i>Никитина Т. Б.</i> Стабилизация динамических характеристик двухканальной системы управления обмоточной машиной с помощью робастного управления.....	41
<i>Самородов Б. В.</i> Результаты исследования эффективности и выбор адаптивных оптимизационных методов прямого поиска при синтезе гидрообъемно-механических трансмиссий.....	49
<i>Левыкин В. М., Кудрявцева М. С.</i> Математические модели вариантов решений по предотвращению аварийных режимов трансформаторного оборудования.....	57
<i>Нагорний Є. В., Дорохов О. В.</i> Послідовність та засоби моделювання системних задач удосконалення транспортних технологій.....	67
<i>Коваленко С. В.</i> Вероятностный подход к планированию ремонтов технических систем на примере систем энергоблока АЭС.....	73
<i>Улеев А. П., Малютин И. Ю., Кильдишев В. И., Шевцов Ю. С.</i> Моделирование таймерных сигналов МВК с заданными параметрами.....	79
<i>Андрейшина Н. Б., Гоцуленко В. В.</i> Повышение эффективности деятельности торгового предприятия оптимальным выбором цены как функции времени.....	84
<i>Шевченко С. В., Климова Е. Ю.</i> Особенности архитектуры эволюционной модели Развития корпоративных компьютерных сетей.....	89
<i>Ницын А. Ю.</i> Приложение геометрической модели психофизического пространства к визуализации трехмерных динамичных сцен.....	96
<i>Серая О. В., Зинченко И. В.</i> Генетическая адаптация генетического алгоритма при решении задачи коммивояжера высокой размерности.....	103
<i>Назаренко А. М., Васильев А. А.</i> Об эконометрическом подходе к решению задач дифференциальной теории игр.....	107
<i>Камбург В. Г., Потапчук Є. М., Нездоровін В. П., Галушко Н. П., Симон А. В.</i> Системний аналіз формування кадрового резерву керівників середньої ланки митних органів.....	117

<i>Гамаюн И. П., Борисевич О. В.</i> Метод повышения обоснованности решения при определении технологичной структуры технического объекта сборки.....	125
<i>Путятин Е. П., Гороховатский А. В.</i> Построение инвариантных моментных признаков изображений с использованием одномерных проекций.....	131
<i>Гороховатский В. А.</i> Применение процедур голосования в структурных методах распознавания визуальных объектов.....	139
<i>Глушко В.Н., Голоскоков А. Е.</i> Имитационное моделирование систем управления сложными технологическими процессами.....	147
<i>Маслова О. А., Шевченко С. В.</i> О задаче моделирования развития организационных структур управления.....	157
<i>Мельник К. В., Голоскоков А. Е.</i> Проблема комплексного лечения сердечно-сосудистой системы пациента.....	161
<i>Дружинин Е. А., Яшина Е. С., Коврикова Е. А.</i> Разработка формального описания ресурсного обеспечения плана научно-технического проекта.....	167
<i>Яковлева Е. В., Кускова И. В.</i> Исследование результатов сегментации изображений методом матриц совпадений.....	173
<i>Чередниченко О. Ю., Орловский. Д. Л., Рубин Э. Е., Чередниченко Г. А.</i> Разработка имитационной модели процесса сервисного обслуживания офисной техники.....	181
<i>Чередниченко О. Ю., Кукленко Д. В., Златкин С. И.</i> Применение концепции электронного правительства к организации процесса лицензирования в сфере высшего образования.....	187

НАУКОВЕ ВИДАННЯ  
**ВІСНИК**  
**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО**  
**УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

**Збірник наукових праць**

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

***Випуск 39***

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

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид № 194-06

Підп. до друку 20.11.06 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний.  
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,5. Облік.-вид. арк. 10,1.  
Наклад 300 прим. Перший завод 1-100. Зам. № 11. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію № 116 від 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня «Технологічний центр». 61058, Харків, вул. Новгородська, 3а,  
тел. 730-32-92.