

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
Выпуск 10

№ 3(76)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2011



Волгоград
2011

Учредитель: ГОУ высшего профессионального образования
"Волгоградский государственный технический университет"

Сборник зарегистрирован в Управлении регистрации и лицензионной работы в сфере массовых коммуникаций федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия ПИ № ФС77–25660 от 13 сентября 2006 г.

Главный редактор сборника «Известия ВолгГТУ»

д-р хим. наук, проф., член-корр. РАН *И. А. Новаков*

Редакционная коллегия серии:

засл. деят. науки РФ д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *В. А. Камаев* (научный редактор)

д-р техн. наук, профессор БрГТУ *В. И. Аверченков*

д-р техн. наук, профессор ПензГУ *А. М. Бершадский*

д-р хим. наук, профессор ВолгГТУ *Л. Н. Бутенко*

д-р техн. наук, профессор МГТУ СТАНКИН *Г. Д. Волкова*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. С. Горобцов*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. М. Дворянкин*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. В. Заболеева-Зотова*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. Г. Кравец*

д-р техн. наук, профессор ТагГРТУ *В. М. Курейчик*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *В. С. Лукьянов*

д-р техн. наук, профессор АстрГТУ *И. Ю. Петрова*

д-р техн. наук, профессор АстрГТУ *О. М. Проталинский*

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. Н. Шилин*

д-р техн. наук, профессор *Юрген Баст* (Технический ун-т Горной Академии, г. Фрайберг, Германия)

д-р техн. наук, профессор *Ле Квет Тан* (Университет г. Канто, Вьетнам)

д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *С. А. Фоменков* (ответственный секретарь)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст.
№ 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – 132 с. (Сер. Актуальные проблемы
управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10).

Содержит работы ученых высших учебных заведений России по следующей тематике: математическое моделирование и численные методы, системный анализ и обработка информации, управление в социальных и экономических системах, автоматизированное проектирование, построение сетей и защита информации.

ISBN 978–5–9948–0604–3

Ил. 64. Табл. 16. Библиогр.: 191 назв.

ISBN 978–5–9948–0604–3

© Волгоградский государственный
технический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Голованчиков А. Б., Первакова Г. И., Бацкин И. С.</i> Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне.....	5
<i>Крушель Е. Г., Степанченко И. В., Степанченко О. В.</i> Алгоритм оценки пространственного распределения приземных концентраций вредных веществ по результатам точечных измерений.....	9
<i>Мирошниченко Д. А., Горобцов А. С.</i> Разработка и отладка алгоритма системы управления многомерным техническим объектом.....	13
<i>Полянская О. Г., Моторкина Т. В., Ильин Д. В., Крохалев А. В., Авдеюк О. А., Приходьков К. В.</i> Статистические исследования особенностей разрушения металлокерамических конструкций в полости рта.....	16
<i>Харламова И. И., Шведов Е. Г.</i> Электронный атлас бифуркационных диаграмм тяжелого волчка в магнитном поле.....	19
<i>Хрящев Д. А.</i> Об одном методе определения наиболее подходящей для анализируемого цифрового изображения модели аддитивного шума.....	24
<i>Шаповалов О. В., Гетманский В. В., Андреев А. Е., Горобцов А. С.</i> Решение систем дифференциально-алгебраических уравнений последовательным исключением множителей Лагранжа.....	31

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Авдеюк О. А.</i> Общие подходы к метрологическому анализу межблочного системного интерфейса при проектировании сложных информационно-измерительных систем.....	34
<i>Андрейчиков А. В., Хорычев А. А.</i> Систематизация и прогнозирование развития инноваций на основе эвристических классификаций (на примере легковых автомобилей).....	38
<i>Бориско С. Н., Васильев И. Н., Лобейко В. И.</i> Оптимизация выбора объектно-ориентированного CASE-средства в жизненном цикле программного продукта.....	42
<i>Брумитейн Ю. М., Иванова М. И.</i> Анализ методов исследования процессов, описываемых взаимосвязанными временными рядами.....	45
<i>Быков С. А., Еременко А. В., Гаврилов А. Е., Скакунов В. Н.</i> Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами.....	52
<i>Дыков М. А., Воробкалов П. Н.</i> Анализ семантики поискового запроса в Интернет-магазине.....	56
<i>Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л., Бобков А. С.</i> Применение нечетких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях.....	60
<i>Катаев А. В., Муха А. В.</i> Модель визуального описания сценария обучающих игр и симуляторов.....	64
<i>Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.</i> Обзор современных автоматизированных систем распознавания эмоциональных реакций человека.....	68

<i>Финогеев А. Г., Богатырев В. Е., Маслов В. А., Финогеев А. А.</i>	
Мониторинг и поддержка принятия решений в системе городского теплоснабжения на базе гетерогенной беспроводной сети.....	73
<i>Щербakov М. В., Скоробогатченко Д. А., Авдеев А. А., М. А. Аль-Гуанид</i>	
Проблемы проектирования систем прогнозирования эксплуатационного состояния автомобильных дорог на основе нечетких нейронных сетей.....	82
III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Албегов Е. В., Бутенко Д. В., Бутенко Л. Н.</i>	
Медицинская консультационная система коррекции здоровья человека на основе принципов традиционной китайской медицины.....	88
<i>Алимов А. А., Шабалина О. А.</i>	
Искусственный интеллект в компьютерных играх. Многоуровневое планирование и реактивное поведение агентов.....	90
<i>Брумитейн Ю. М., Мангаладзе Н. Ф., Ватулева В. П., Пугина Н. Н.</i>	
Анализ некоторых вопросов управления уровнем требований при контроле знаний студентов-заочников вузов.....	94
<i>Гарин М. С., Кравец А. Г., Романенко Е. В.</i>	
Автоматизация бизнес-администрирования в туристической фирме.....	100
<i>Исаев А. В., Кравец А. Г., Мельников М. П., Аль-Шаеби Р. А. А.</i>	
Автоматизированная система поддержки учебной траектории: пример реализации учебного курса.....	103
<i>Лу Лу, Бутенко Л. Н.</i>	
Использование системного подхода для решения задач стратегического маркетинга на основе цикла Вэнь Вана.....	107
IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	
<i>Кандырин Ю. В., Сазонова Л. Т., Шкурина Г. Л.</i>	
Математические модели структурирования альтернатив для решения задач выбора в САПР.....	111
<i>Коробкин Д. М., Фоменков С. А.</i>	
Автоматизированная методика извлечения структурированных физических знаний в виде физических эффектов из текстов на естественном английском языке.....	116
<i>Половинкин А. И., Овчинникова Е. А., Петрухин А. В.</i>	
Мониторинг состояния сооружений с использованием технологий компьютерного моделирования.....	120
<i>Смирнова Е. Н., Бутенко Д. В.</i>	
Автоматизация поиска информации для сварки сталей.....	123
<i>Цыканова М. А., Бутенко Л. Н., Базрова О. А.</i>	
Синтез частных эвристических приемов для проектирования химических процессов.....	125
V. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Долгий И. Д., Кулькин С. А.</i>	
Методы повышения защиты информационного и программного обеспечения системы ДЦ-ЮГ с РКП.....	129

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 504.064.4

А. Б. Голованчиков, Г. И. Первакова, И. С. Бацокин

ВЕРОЯТНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ В НАПОРНОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: perva.galina@yandex.ru, bis33@yandex.ru

В статье рассмотрена схема течения вязкой жидкости в напорном гидроциклоне; на основании анализа компонент тензора деформаций и уравнения движения в цилиндрической системе координат получены уравнения для компонент скоростей окружного и осевого течения и уравнение для локальной степени улавливания дисперсной фазы, содержащейся в нефтешламе для стандартного гидроциклона ГНС-100, и его геометрические и технологические параметры.

Ключевые слова: гидроциклон, локальная степень улавливания, плотность распределения частиц.

A. B. Golovanchikov, G. I. Pervakova, I. S. Batsokin

PROBABILITY OF CATCHING PARTICLES IN THE PRESSURE HEAD HYDROCYCLONE

Volgograd State Technical University

In article the scheme of a current of viscous liquid in a pressure head hydrocyclone; based on analysis of the components of strain tensor and the movement equations in cylindrical system of co-ordinates, is considered are received the equations for a component of speeds of a district both axial current, and the equation for the local degree of recovery of the dispersed phase contained in the sludge for a standard hydrocyclone GHC-100 and its geometrical and technological parameters.

Keywords: a hydrocyclone, the local degree of recovery, the distribution density of the particles.

Рассмотрим напорное течение вязкой жидкости в гидроциклоне. Схема рассматриваемого течения представлена на рис. 1. Жидкость в цилиндрический корпус 1 высотой H подается тангенциально с расходом q_v по патрубку 2, установленному под углом α к горизонту. Жидкость участвует во вращательном движении со скоростью V_ϕ и осевом течении со скоростью V_z , опускаясь в коническую часть 3 циклона, и выходит в трубу 4. Если в жидкости находятся частицы или капельки дисперсной фазы, плотность которых больше плотности жидкости ($\rho_q > \rho$), то центробежной силой они отбрасываются к боковой стенке цилиндрического корпуса 1 и, опускаясь по этой стенке, накапливаются в нижней части корпуса 3. Полагаем течение в рабочей части гидроциклона в зоне цилиндрического корпуса 1 ламинарным и установившимся. В силу симметрии течения, частные производные компонент скоростей по ϕ равны нулю.

При напорном течении $V_z = 0$, $V_\phi = V_\phi(r)$ и $V_z = V_z(r)$.

Тогда частные производные скоростей $\frac{\partial V_\phi}{\partial z}$ и $\frac{\partial V_z}{\partial z}$ равны нулю; компоненты тензора деформаций [5] после принятых допущений для цилиндрической системы координат будут иметь вид [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{r\phi} = r \frac{d}{dr} \left(\frac{V_\phi}{r} \right) \\ \Delta_{\phi z} = 0 \\ \Delta_{rz} = \frac{dV_z}{dr} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

а реологические уравнения для ньютоновской жидкости с вязкостью μ приобретают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{r\phi} = -\mu \left(\frac{dv_\phi}{dr} - \frac{v_\phi}{r} \right) \\ \tau_{rz} = -\mu \frac{dv_z}{dr} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

$$R_B \leq r \leq R_q.$$

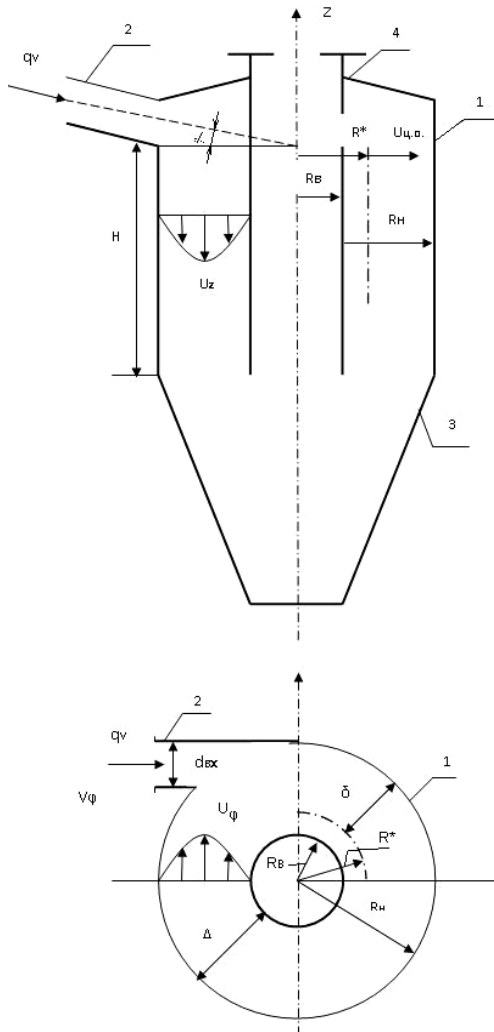


Рис. 1. Схема гидроциклона с эпюрами скоростей вращательного U_ϕ и осевого U_z течения

С учетом сделанных допущений и анализа компонентов тензора деформаций (1), уравнения движения в цилиндрической системе координат запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} -\rho \frac{V_\phi^2}{r} &= -\frac{\partial p}{\partial r}; \\ -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\phi}) \right] &= 0; \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{d}{dz} (r \tau_{rz}) + \rho g Z &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В силу симметрии можно считать

$$-\frac{\partial p}{\partial \phi} = \Delta p_\phi = \text{const},$$

то есть градиент давления при вращении является постоянным по углу вращения, причем Δp_ϕ – величина отрицательная.

Тогда из второго уравнения системы (3) получаем:

$$\tau_{r\phi} = -\frac{\Delta p_\phi}{2} + \frac{c}{r^2}. \quad (4)$$

Так как при вращении угловая скорость ω и окружная скорость связаны выражением $V_\phi = \omega r$, то первое уравнение системы (2) приобретает вид:

$$\tau_{r\phi} = -\mu r \frac{d\omega}{dr}, \quad (5)$$

где $R_b \leq r \leq R_h$.

Решая совместно уравнения (4) и (5) относительно ω после интегрирования получаем:

$$\omega = \frac{\Delta p_\phi}{2\mu} \ln r + \frac{c}{2\mu r^2} + a.$$

Постоянные интегрирования c и a находим из граничных условий прилипания $\omega_0 = 0$ при $r = R_b$ и $r = R_h$. Тогда последнее уравнение приобретает вид:

$$\omega = \frac{\Delta p_\phi}{2\mu} \left[\ln \left(\frac{r}{R_h} \right) + \frac{\ln \left(\frac{R_h}{R_b} \right)}{\left(\frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_h^2} \right)} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_h^2} \right) \right], \quad (6)$$

а окружная скорость V_ϕ запишется как

$$V_\phi = \frac{\Delta p_\phi}{2\mu} \left[\ln \frac{r}{R_h} + \frac{\ln \left(\frac{R_h}{R_b} \right)}{\left(\frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_h^2} \right)} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_h^2} \right) \right] \cdot r. \quad (7)$$

Из уравнения неразрывности

$$q_v = l \int_{R_b}^{R_h} V_\phi dr,$$

где l – длина зоны вращения (шаг винтовой траектории), с учетом формулы (7) и выражения для средней скорости

$$V_\phi = \frac{d_v}{l(R_h - R_b)}$$

получаем уравнение для средней скорости окружного течения:

$$V_\phi = \frac{\Delta p_\phi}{2\mu} \left\{ \frac{\left[\ln \left(\frac{R_h}{R_b} \right) \right]^2}{\left(\frac{1}{R_b} \right)^2 - \left(\frac{1}{R_h} \right)^2} - \frac{(R_h^2 - R_b^2)^2}{4} \right\} / (R_h - R_b).$$

Тогда уравнение (7) принимает вид:

$$V_{\varphi} = V_{\varphi} \left[\ln \left(\frac{r}{R_H} \right) + \frac{\ln \left(\frac{R_H}{R_B} \right) \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_H^2} \right)}{\left(\frac{1}{R_B} \right)^2 - \left(\frac{1}{R_H} \right)^2} \right] r \cdot A, \quad (8)$$

где постоянная

$$A = \frac{(R_H - R_B)}{\left\{ \frac{\left[\ln \left(\frac{R_H}{R_B} \right) \right]^2}{\left(\frac{1}{R_B} \right)^2 - \left(\frac{1}{R_H} \right)^2} - \frac{R_H^2 - R_B^2}{4} \right\}}.$$

Аналогичные математические выкладки для профиля скорости V_z в кольцевом сечении между цилиндрами приведены в монографии [2]:

$$V_z = 2V_z \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R_H} \right)^2 + \frac{\left[1 - \left(\frac{R_B}{R_H} \right)^2 \right]}{\ln \left(\frac{R_H}{R_B} \right)} \ln \left(\frac{r}{R_H} \right) \right\} \cdot B, \quad (9)$$

где постоянная

$$B = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{R_B}{R_H} \right)^2 - \frac{1 - \left(\frac{R_B}{R_H} \right)^2}{\ln \left(\frac{R_H}{R_B} \right)} \right]}.$$

В справочнике [3] приведен алгоритм расчета гидроциклона без выхода на определение локальных степеней улавливания частиц или капель дисперсной фазы и интегральной степени очистки.

Ниже предлагается метод расчета этих параметров гидроциклона.

Величина средней окружной скорости рассчитывается по формуле [3]

$$V_{\varphi} = 31,5 V_{\text{вх}} \left(\frac{d_{\text{вх}}}{D} \right) \cdot \frac{H^{-0,32}}{D}, \quad (10)$$

где $D = 2R_H$; $d_{\text{вх}}$ – диаметр входного патрубка 2; H – высота активной зоны (рис. 1); $V_{\text{вх}}$ – средняя скорость очищаемой жидкости во входном патрубке (определяется из уравнения неразрывности).

Для ламинарного режима осаждения частиц в центробежном поле скорость их центробежного осаждения определяется по закону Стокса [2]:

$$V_{\text{ц.о}} = \left(\frac{V_{\varphi}^2}{r} \right) \frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho) dr^2}{18\mu}, \quad (11)$$

где первый множитель в круглых скобках характеризует центробежное ускорение.

Приравнявая время осаждения частиц или капель в центробежном поле $\tau_{\text{ос}}$ к времени их пребывания в активной зоне $\tau_{\text{с}}$ гидроциклона длиной L

$$\tau_{\text{ос}} = \tau_{\text{с}}, \quad (12)$$

где $\tau_{\text{ос}} = \int_{R_B}^{R_H} \frac{dr}{V_{\text{ц.о}}}$, $\tau_{\text{с}} = \frac{\pi(R_H^2 - R_B^2)}{qv} L$ можно, с

учетом уравнения (11), определить номинальный диаметр частиц или капель, улавливаемых на 100 % даже с самой неблагоприятной траектории $r = R_B$, когда они попадают в гидроциклон вблизи трубы 4 (рис. 1), и путь их осаждения наибольший и равен зазору

$$\Delta = R_H - R_B$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_{\text{ч}} - \rho)(R_H^2 - R_B^2)} l \int_{R_B}^{R_H} \frac{r dr}{V_{\varphi}^z} \int_{R_B}^{R_H} r V_z dr}. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) позволяет определять фракции частиц или капель $d_{(i)} \geq d_0$, улавливаемых в гидроциклоне на 100 %.

Для частиц или капель меньшего размера вероятность улавливания будет меньше 1 и может быть оценена следующим образом [4].

Условие (12) для них будет выполняться на пути осаждения:

$$[\delta = (R_H - R^*)] < [\Delta = (R_H - R_B)].$$

Для каждой фиксированной траектории R^* , на которой находится частица или капля, можно рассчитать ее диаметр, обеспечивающий выполнение условия (12):

$$d_r = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_{\text{ч}} - \rho)(R_H^2 - R^{*2})} l \int_{R^*}^{R_H} \frac{r dr}{V_{\varphi}^z} \int_{R^*}^{R_H} r V_z d_{\text{ч}}}. \quad (14)$$

Полагая, что частицы или капли любой фракции распределены по исходной суспензии или эмульсии равномерно (отсутствует градиент концентраций), то частицы или капли $d_{\text{ч}}$, попавшие на траектории $R^* \leq r \leq R_H$ успевают осесть на стенку гидроциклона, а на траектории $R_B \leq r \leq R^*$ – не успевают. Тогда локальная степень улавливания частиц или капель может быть рассчитана по формуле [4]:

$$\chi = \frac{R_H - R^*}{R_H - R_B}. \quad (15)$$

На рис. 2 представлен график зависимости локальной степени улавливания частиц, содержания в нефтешламе для гидроциклона ГНС-100 [3], геометрические и технологические параметры которого приведены в табл. 1, а плотность распределения исходных частиц на рис. 3 (кривая 1).

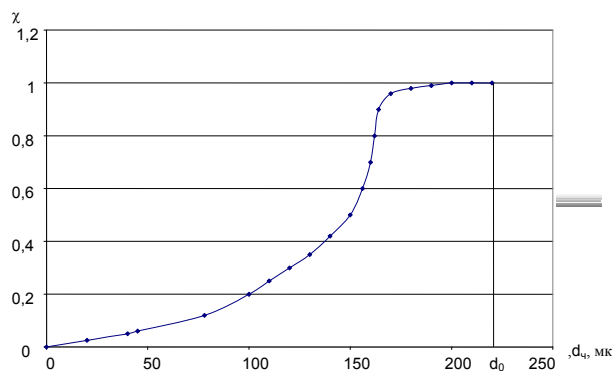


Рис. 2. График зависимости локальной степени улавливания частиц

Здесь же, на рис. 3, приведены результаты расчетов доли уловленных частиц каждой фракции, определяемые по формуле (кривая 2)

$$C_{y(i)} = C_{(i)} X_{(i)}.$$

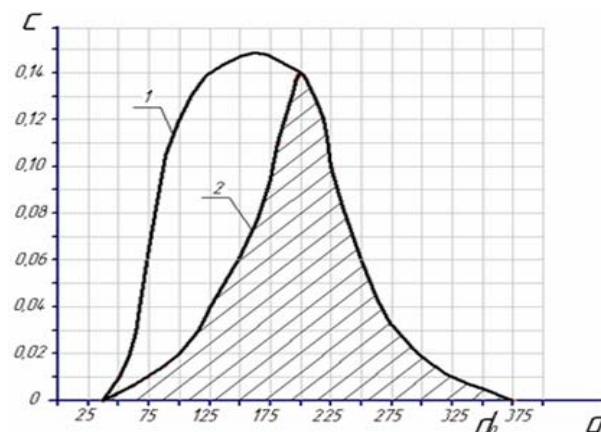


Рис. 3. Плотность распределения частиц в исходной суспензии нефтешлама (1) и доля уловленных частиц по фракциям (2) (затрихована общая степень очистки в одном гидроциклоне)

Тогда общая степень очистки

$$\eta = \sum_{i=1}^n C_{y(i)}.$$

Как видно из этого графика (область уловленных частиц затрихована), общая степень очистки не превышает 69 %. Это объясняется высокой вязкостью нефтешлама и его ламинарным течением. Для ее увеличения можно поставить выбранные гидроциклоны в каскаде.

Таблица 1

Исходные и справочные данные и расчетные параметры гидроциклона для улавливания частиц нефтешлама

Наименование	Размерность	Обозначение	Величина
<i>Исходные и справочные данные</i>			
1. Производительность	м ³ /ч	q_v	5
2. Внутренний радиус корпуса гидроциклона	м	R_n	0,05
3. Наружный радиус трубы для очищенной жидкости	м	R_b	0,02
4. Эквивалентный диаметр входного патрубка	м	d_n	0,012
5. Длина активной зоны гидроциклона	м	L	0,9
6. Плотность сплошной фазы нефтешлама	кг/м ³	ρ	900
7. Плотность дисперсной фазы-частиц	кг/м ³	$\rho_{\text{ч}}$	2000
8. Динамическая вязкость сплошной фазы	Пас	μ	0,4
9. Диаметр частиц по фракциям	мкм	$d_{\text{ч}}$	см. рис. 3
10. Плотность распределения частиц по фракциям в нефтешламе	—	C	см. рис. 3
<i>Расчетные параметры</i>			
1. Среднее время пребывания очищаемой жидкости	с	τ	4,27
2. Объем активной зоны гидроциклона	м ³	$V_{\text{ак}}$	5,93x10 ⁻³
3. Число Рейнольдса для осевого потока	—	Re_z	28,43
4. Число Рейнольдса для окружного потока	—	Re_{ϕ}	1991,8
5. Число Рейнольдса для частиц начального диаметра, осаждающихся в центробежном поле	—	Re_r	0,04
6. Начальный диаметр частиц (улавливаемых на 100 %)	мкм	d_0	235
7. Фактор разделения	—	Φ	370

В табл. 2 приведены результаты расчетов степени очистки от числа гидроциклонов в кас-

каде (то есть, в отличие от батареи гидроциклонов, установленных последовательно).

Таблица 2

Зависимость степени очистки от числа гидроциклонов в каскаде

Число гидроциклонов в каскаде	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Степень очистки нефтешлама	0,684	0,779	0,836	0,875	0,902	0,922	0,937	0,948	0,957
Необходимая поверхность отстойника приводится	40,5	50	61	74	88	92	108	120	132

Как видно из табл. 2, для достижения степени очистки нефтешлама $\eta = 0,9$ необходимо установить пять гидроциклонов в каскад.

Таким образом, для повышения степени очистки высоковязких суспензий или эмульсий с ламинарным течением и Стоксовским режимом осаждения частиц в центробежном поле необходимо устанавливать стандартные гидроциклоны в каскад (по аналогии с каскадом реакторов), что обеспечивает штатный режим работы каждого гидроциклона без турбулизации жидкости и возвращения осаждаемых частиц в поток движущейся по винтовой линии жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мидман, С. «Течение полимеров» / С. Мидман. – М.: Мир, 1971. – 259 с.
2. Романков, П. Г. «Гидромеханические процессы химической технологии» / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – изд. 2-е, пер. и доп. – М.: Химия, 1974. – 288 с.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.
4. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии. Ч. 2. Моделирование гидромеханических процессов : учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов. – Волгоград : Царицын, 1995. – 121 с.

УДК 004.021

Е. Г. Крушель, И. В. Степанченко, О. В. Степанченко

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТОЧЕЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Камышинский технологический институт (филиал)

Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет»

E-mail: elena-krushel@yandex.ru, stilvi@mail.ru, ovste@mail.ru

Рассматривается задача восстановления поверхности функции двух переменных в задачах экологического мониторинга с помощью сплайновых кривых как с равномерным, так и с неравномерным размещением точек измерения. Предлагается алгоритм направленного перебора вариантов размещения точек измерения для сплайнов с неравномерным шагом.

Ключевые слова: сплайновая интерполяция, функция двух переменных, контрольные точки, неравномерный шаг интерполяции, алгоритм размещения точек контроля.

E. G. Krushel, I. V. Stepancheno, O. V. Stepanchenko

SOLVING METHOD OF INTERPOLATION TASK OF POLLUTANT CONCENTRATION SURFACE BY SPLINE SURFACES NEAR-EARTH POLLUTIONS CONCENTRATIONS SPACE DISTRIBUTION ESTIMATION BY THE RESULTS OF POINTS MEASUREMENTS

Kamyshin Technological Institute (branch of) Volgograd State Technical University

The problem of the pollutions space distribution restoration based on the interpolation of the direct several points measurements results is considered. The interpolation algorithms are built with the application of the cubic spline curves. The uniform and non-uniform spline curves and surfaces grids are compared. The directional search algorithm of rational grid crosspoints locations is proposed.

Keywords: spline interpolation, pollutions space distribution, measurements points, a non-uniform spline grid, algorithm of measurements points location.

Сплайновая интерполяция поверхностей используется в различных областях, в частности, в экологии – для решения задач экологиче-

ского мониторинга атмосферного воздуха, где требуется восстановить поле концентраций вредных веществ по данным точечных изме-

ний. Можно указать и иные области применения: в медицине восстанавливают основные линии текстуры перитониальной жидкости [1], в геологии – поверхности залежей полезных ископаемых.

Идея решения задачи сплайновой интерполяции состоит в отказе от постулирования равномерности размещения контрольных точек; взамен этого ставится задача поиска размещения, при котором мера интерполяционной погрешности минимальна. Интерполяция значений концентраций для точек рассматриваемой зоны, не охваченных измерениями, производится с использованием метода бикубических сплайнов, расположение узлов которых подлежит расчету по критерию интерполяционной погрешности.

В алгоритме выбора числа и размещения узлов производится перебор вариантов числа точек измерения концентраций (то есть узлов интерполяционной сетки), начиная с некоторого небольшого числа. Для каждого варианта осуществляется поиск размещения узлов по минимаксному критерию (минимум максимальной абсолютной погрешности интерполяции); минимаксная задача решается методом случайного поиска (выбор метода объясняется тем, что зависимость погрешности интерполяции от размещения узлов может быть многоэкстремальной). Для ускорения расчета размещения узлов предложена модификация алгоритма случайного поиска с автоматическим отсеком вариантов, уступающих по точности лучшему из найденных на предшествующих итерациях поиска. Возможно применение генетических алгоритмов и распределенных вычислительных сред [2]. Если для выбранного числа узлов заданная точность интерполяции не достигается, то число узлов увеличивается и производится новый цикл поиска оптимального размещения. Алгоритм останавливается после достижения заданного числа узлов или нахождения размещения узлов, обеспечивающих заданную точность интерполяции.

Автоматический отсев вариантов размещения узлов, уступающих по точности лучшему из найденных на предшествующих итерациях поиска, реализован на базе фильтра Баллаша, схема работы которого такова:

а) алгоритм начинается с произвольного допустимого варианта размещения узлов интерполяции. Вычисляется значение критерия качества интерполяции для этого варианта, ко-

торое принимается за исходное значение рекорда;

б) генерируется новый вариант размещения;

в) рассчитывается критерий для этого варианта. Если значение окажется хуже рекорда, то ограничения не анализируются и вариант отбрасывается. Иначе по очереди анализируются ограничения на размещение узлов. Если текущее ограничение оказывается несовместным, то остальные ограничения не анализируются и вариант отбрасывается;

г) в противном случае новое значение критерия замещает рекорд, найденный на предшествующих фазах расчета, и происходит повторение с пункта «в».

В результате происходит сокращение объема вычислений по сравнению с простым перебором по причине отбрасывания части вариантов.

Далее будут приведены результаты вычислительных экспериментов, проведенных для оценки эффективности предлагаемого алгоритма.

Эксперимент 1. Аппроксимация плоских кривых с помощью одномерного кубического сплайна с неравномерным размещением контрольных точек.

Цель эксперимента – отработать методику интерполяции с оптимизацией размещения узлов на плоских кривых (в системах экологического мониторинга такая задача может быть применена для интерполяции кривой распределения концентраций вредных веществ в направлении факела выброса из единичного источника загрязнения).

Решение задачи находится следующими шагами.

Шаг 1. Задаемся числом точек $n \ll N$, по которым будет осуществляться интерполяция.

Шаг 2. Задаемся максимальным значением количества генераций размещения точек измерения.

Шаг 3. Определяем погрешность сплайновой интерполяции при использовании равномерного шага (равномерного распределения n точек измерения между N возможностями). Значение погрешности принимаем за рекордно низкую.

Шаг 4. Далее расчет ведется циклически. Общая схема расчета: генерируется вариант случайного размещения n точек измерения между N возможностями. Закон распределения принят равномерным. При генерации используется операция хеширования для того, чтобы в сгенерированном варианте не оказалось совпа-

дения размещений двух или более точек измерения. Сгенерированный вариант размещения используется для очередной попытки получить сплайновую интерполяцию с погрешностью, меньшей, чем текущая рекордно низкая погрешность.

Рассчитывается погрешность сплайновой интерполяции для этого сгенерированного варианта. Если окажется, что погрешность – не ниже рекордно низкой, то сгенерированный вариант отбрасывается. В противном случае погрешность в сгенерированном варианте принимается за новое значение рекордно низкой.

Шаг 5. Алгоритм возвращает координаты узлов интерполяции после завершения (которое наступает вслед за тем, как достигнуто заданное число попыток улучшения точности).

В процессе выполнения необходимо хранить в памяти: число удачных попыток улучшения точности; координаты точек для сплайновой интерполяции, в которых точность улучшилась; значения интерполируемой функции, которые получаются при использовании этих точек; значение рекордно низкой погреш-

ности, достигнутое после всех попыток; последовательные снижения рекордно низкой погрешности в ходе расчетов.

В роли тестовых кривых были выбраны унимодальная и полимодальная кривые. Обоснование выбора: в системе экологического мониторинга требуется получить карту выбросов вредных веществ, которая представляет собой распределения либо с одним максимумом (в случае одного источника выбросов, например, от удаленного от города завода), либо с несколькими (что бывает чаще, поскольку источников выбросов в городе много). Унимодальная кривая в проведенных экспериментах задается формулой гауссианы:

$$f(x, m, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}.$$

Сравнение алгоритма сплайновой интерполяции с равномерным шагом и алгоритмом, описанным выше, для унимодальной кривой ($m = 2$; $\sigma = 0,05$) приведено на рис. 1, показывающем, что погрешность интерполяции уменьшилась более чем в два раза.

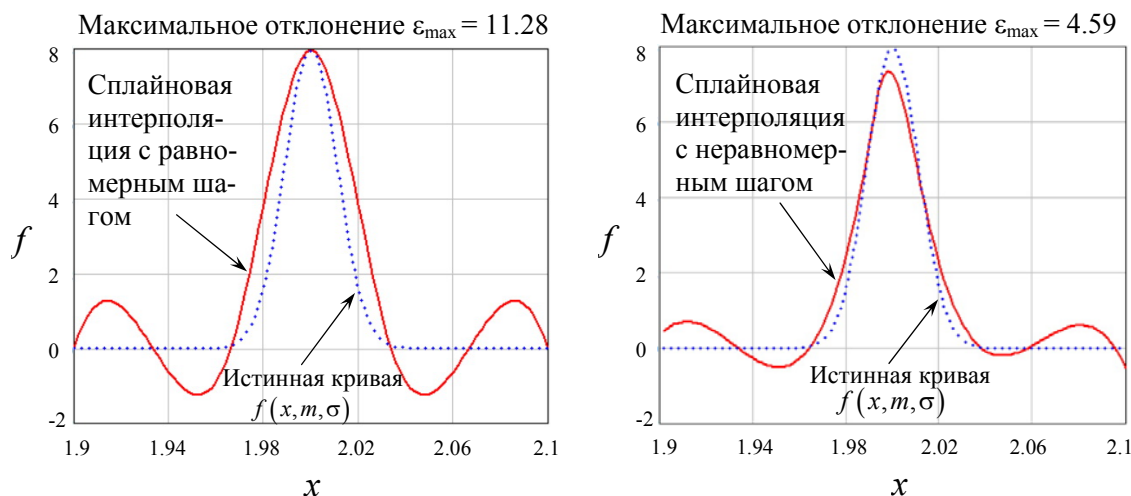


Рис. 1. Сравнение сплайновой интерполяции с равномерным и оптимизированным размещением контрольных точек для унимодальной кривой

Бимодальная кривая в проведенных экспериментах задается формулой:

$$f(x, m_1, m_2, \sigma_1, \sigma_2) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(x-m_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(x-m_2)^2}{2\sigma_2^2}} \right).$$

Сравнение алгоритма сплайновой интерполяции с равномерным шагом и алгоритмом, описанным выше, для бимодальной кривой приведено на рис. 2 ($m_1 = 2$; $m_2 = 7$; $\sigma_1 = \sigma_2 = 1$). Так же, как и в предыдущем случае, видно, что

погрешность интерполяции уменьшилась более чем в два раза. Кроме того, видно, что оценка одного из максимумов при использовании интерполяции с равномерным шагом получилась заниженной на 20 %. В рамках задачи интерполяции концентраций вредных веществ такое занижение недопустимо, поскольку именно максимальные значения представляют интерес для диагностики благополучия экологической ситуации. Данный эксперимент является графической иллюстрацией обоснования оптимизации выбора узлов сплайновой интерполяции.

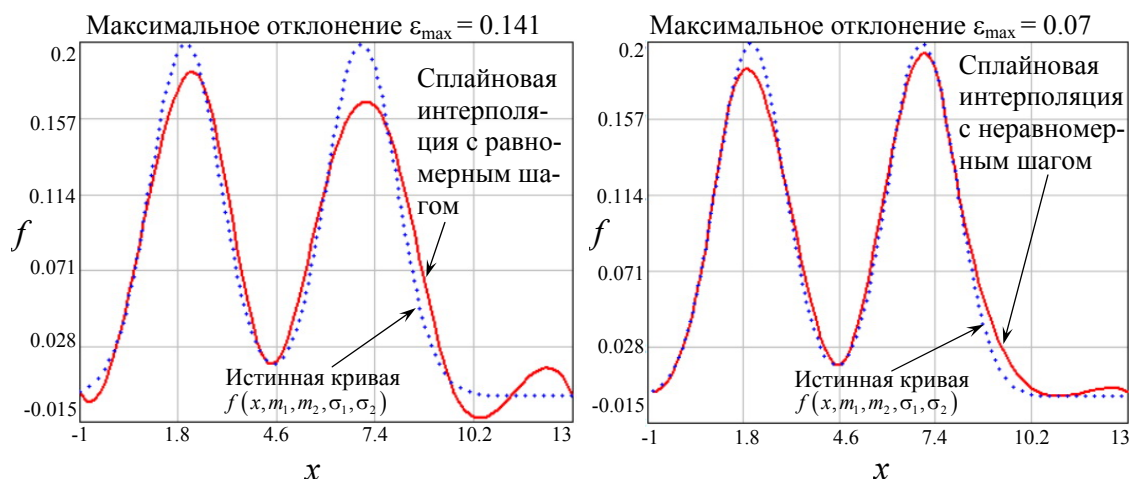


Рис. 2. Сравнение сплайновой интерполяции с равномерной и неравномерной сеткой размещения контрольных точек для бимодальной кривой

Проведенные вычислительные эксперименты позволяют сделать следующие заключения:

- необходимо отказаться от равномерного размещения узлов интерполяции, так как за счет оптимизации размещения удастся существенно снизить интерполяционную погрешность без увеличения количества узлов (особенно в окрестностях максимальных значений интерполируемой кривой);

- определение оптимального размещения интерполяционных узлов требует значительных вычислительных и временных ресурсов (поскольку ведется перебор вариантов размещения).

Эксперимент 2. Бикубическая сплайновая интерполяция с неравномерно распределенными точками контроля на прямоугольной сетке.

В качестве решения требуется получить размещение заданного числа точек на интерва-

ле определения функции. Критерий качества размещения точек также минимаксный.

Алгоритм расчета основывается на следующих принципах: исходное расположение точек принимается равномерным; положение каждой точки случайным образом отклоняется от исходного; для каждого размещения определяется максимальная величина отклонения от точного значения, это значение принимается как текущий рекорд погрешности интерполяции; алгоритм заканчивается, когда будет исчерпано заранее заданное число вариантов.

Для проверки предложенного алгоритма были проведены два опыта.

Опыт 1. Восстановление поверхности, имеющей один максимум.

После выполнения программы сравнивалась эффективность при равномерном и неравномерном распределении контрольных точек (рис. 3).

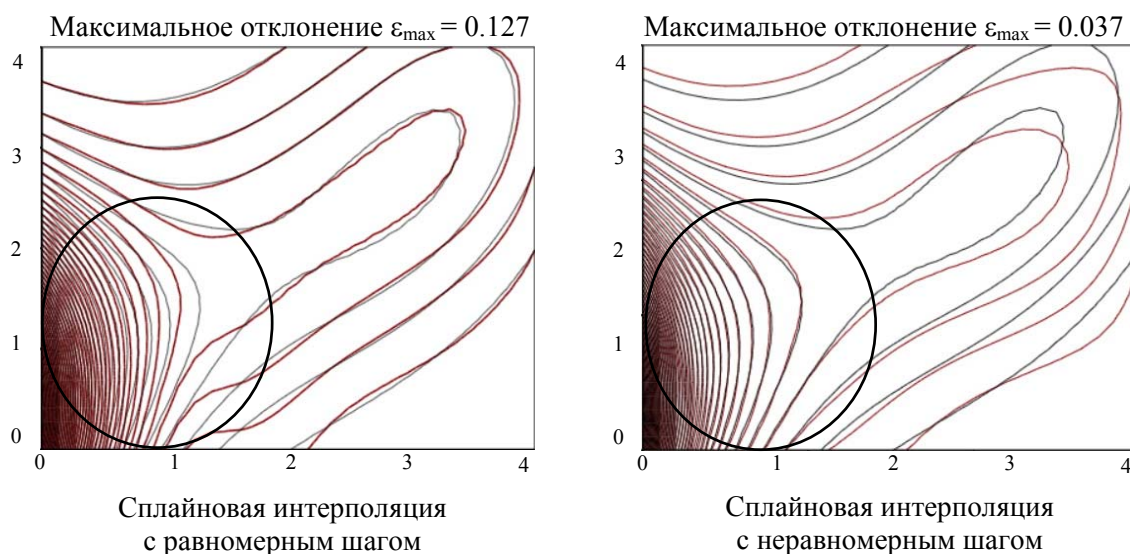


Рис. 3. Линии равного уровня поверхности, восстановленной по 25 точкам (область максимальных концентраций в левом нижнем углу)

Из 10 000 вариантов в семи случаях алгоритм подобрал вариант размещения, более точный, чем найденные варианты в результате предшествующих шагов алгоритма. Повышение точности произошло примерно в четыре раза (от 0,127 до 0,037).

Опыт 2. Восстановление поверхности, имеющей два максимума.

В данном опыте также произошло увеличение точности в случае применения сплайнов с неравномерной сеткой.

Основной результат проведенных опытов заключается в следующем: алгоритм с оптимизацией размещения интерполяционных узлов позволяет повысить точность сплайновой интерполяции даже на ограниченном числе вариантов перебора (по сравнению с равномерным размещением точек). Недостатком алгоритма

является его низкое быстродействие. Ресурсы повышения быстродействия связаны с возможностями, предоставляемыми алгоритмами параллельных вычислений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петров, В. О. Методика автоматизированного анализа фазии перитональной жидкости по растровому изображению при микроскопии / В. О. Петров, О. О. Привалов, И. В. Степанченко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 3 (80). – С. 134–138.
2. Семенов, В. Г. Реализация генетического алгоритма адаптации параметров регулятора в распределенной вычислительной системе / В. Г. Семенов, И. В. Степанченко, В. В. Сургутанов // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 22–25.

УДК 531.1

Д. А. Мирошниченко, А. С. Горобцов

РАЗРАБОТКА И ОТЛАДКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dmtrm@mail.ru, vm@vstu.ru

Статья содержит постановку и решение задачи разработки и отладки алгоритма системы управления многомерным техническим объектом. Предложен и апробирован способ решения задачи с использованием системы моделирования ФРУНД.

Ключевые слова: система управления, ФРУНД.

D. A. Miroshnichenko, A. S. Gorobtsov

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION ALGORITHM OF CONTROLLING SYSTEM IN MULTIVARIATE TECHNICAL SYSTEM

Volgograd State Technical University

This paper consider formulation and approach task of investigation and optimization algorithm of controlling system in multivariate technical system. Recommended and tested method of solving task using CAE soft FRUND.

Keywords: controlling system, FRUND.

Практическая значимость данной работы состоит в том, что в ней приведено решение актуальной прикладной задачи, дающее существенное сокращение срока разработки и модернизации многомерного технического объекта.

Научная новизна предлагаемой работы заключается в следующем:

- комплексная разработка алгоритма системы управления с учетом работы различных систем многомерного технического объекта (автомобиля);
- разработка метода отладки алгоритма в системе компьютерного моделирования с использованием данных, полученных при испытаниях прототипа.

В настоящее время наиболее актуальной является задача создания управляемых многомерных технических объектов в робототехнике, автомобилестроении и других технических областях [1, 2, 3].

До недавнего времени преобладал метод разработки алгоритмов систем управления многомерными техническими объектами без использования систем компьютерного моделирования. В рамках существующих технологий трудно сократить срок создания сложных, многомерных технических объектов. При сокращении сроков разработки и отладки многомерных технических возникают несколько задач, которые необходимо решить:

1) уменьшение срока создания технического объекта;

2) уменьшение количества необходимых натурных испытаний без ущерба для качества;

3) сокращение затрат, необходимых для проведения испытаний.

Поставленные задачи можно решить, широко используя в процессе создания и последующих испытаниях многомерного технического объекта компьютерное моделирование. Для решения такого рода задач существует довольно много прикладных программ и программных комплексов. Одним из таких программных комплексов является комплекс ФРУНД [4]. Он позволяет моделировать и исследовать динамику сложных технических объектов.

В рамках научно исследовательской работы (НИР), проводимой на кафедре «Высшая математика» Волгоградского государственного технического университета, совместно с другими предприятиями России, решалась задача исследования динамики новой модели полноприводного автомобиля. Особенность данного автомобиля состоит в том, что он имеет систему управления демпфированием в подвеске. Было необходимо найти критерии управления демпфированием в подвеске автомобиля и разработать алгоритм работы системы управления.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1) создание математической модели автомобиля с необходимыми контурами управления;

2) определение оптимальных настроек работы подвески автомобиля для различных условий движения;

3) определение критериев управления демпфированием;

4) разработка и апробирование на основе найденных критериев управления, на математической модели, алгоритма работы системы управления демпфированием в подвеске автомобиля;

5) реализация апробированного алгоритма в системе управления реального прототипа, с возможностью последующей диагностики его работы;

6) отладка и доводка работы алгоритма на реальном прототипе с использованием системы моделирования ФРУНД.

На приведенном ниже рисунке представлена схема полноприводного автомобиля в системе ФРУНД. Модель содержит в себе 27 тел, соединенных упруго-демпфирующими элементами. В качестве упруго-демпфирующих элементов подвески автомобиля моделировалась работа гидропневматических рессор (ГПР). В модели реализован контур управления демпфирующими характеристиками ГПР.

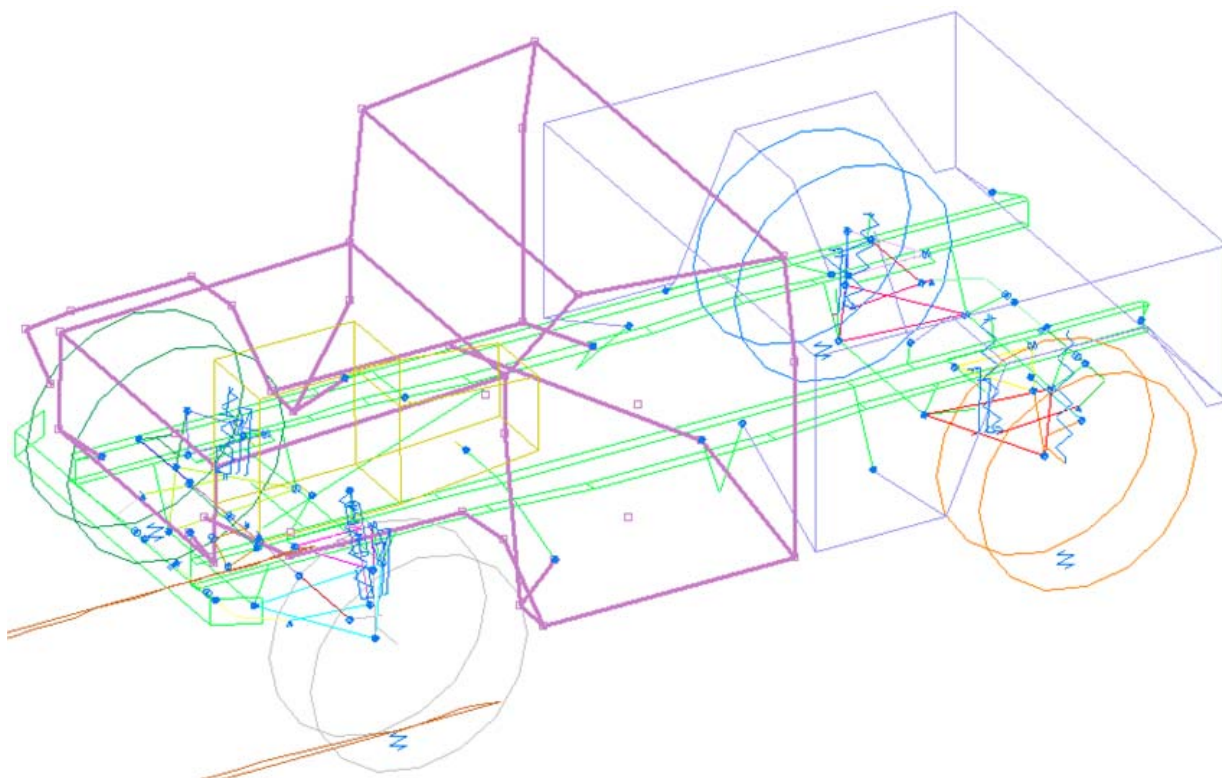


Схема полноприводного автомобиля в системе ФРУНД

На этапе 2 определялись упругие и демпфирующие характеристики подвески автомобиля с использованием компьютерного моделирования в программном комплексе ФРУНД. Характеристики выбирались таким образом, чтобы при движении по различным типам профилей выполнялись нормы плавности хода по ГОСТ 12.1.012.

На этапе 3 определялись критерии, по которым, в дальнейшем, будет осуществляться автоматическое переключение режимов демпфирования, в зависимости от типа профиля под колесами автомобиля.

На этапе 4 была произведена разработка алгоритма работы системы автоматического переключения режимов демпфирования, в зависимости от типа профиля под колесами автомобиля. Алгоритм был реализован как программный модуль в систему ФРУНД, написанный на языке Фортран [5]. Разработанный алгоритм был апробирован на математической модели полноприводного автомобиля и показал хорошие результаты работы.

После апробирования работы алгоритма на виртуальном прототипе, на этапе 5, алгоритм был реализован на реальном прототипе. На реальном прототипе, в системе управления демпфированием, используется операционная система (ОС) Linux [6]. При реализации алгоритма на прототипе возникла задача переноса логики работы алгоритмы с языка программирования Фортран на язык программирования Си [7], который используется на реальном прототипе. Для решения этой задачи использовался программный транслятор f2c [8].

На последнем этапе была реализована возможность проверки работы алгоритма и его модернизации без постоянного проведения натурных испытаний. В ходе проведения испытаний на реальном прототипе, при движении по различным типам профилей, записывались все необходимые данные для работы алгоритма (данные с датчиков ускорений, датчиков положения руля и педалей, скорость автомобиля и др.). Затем эти данные использовались как входные данные для тестирования алгоритма в программном комплексе ФРУНД.

В ходе проведения работ были достигнуты следующие результаты:

1) разработан способ переноса работы алгоритма из системы управления демпфированием автомобиля, реализованной в программном комплексе ФРУНД, в систему управления, реализованную на реальном прототипе;

2) разработан формат записи данных, получаемых при испытаниях реального прототипа, с возможностью их последующего анализа на компьютере;

3) разработан метод диагностики работы алгоритма системы управления демпфированием автомобиля в программном комплексе ФРУНД по данным, полученным в ходе записи результатов экспериментов на реальном прототипе;

4) сокращение времени, необходимого на разработку, благодаря широкому использованию компьютерного моделирования на этапе проектирования автомобиля;

5) сокращение необходимого количества натурных испытаний, приведшего к снижению затрат на проведение испытаний автомобиля и сокращению срока проведения испытаний, благодаря использованию компьютерного моделирования на этапе отладки и модернизации работы алгоритма управления демпфированием в подвеске автомобиля.

Предложенный способ разработки и отладки алгоритма управления многомерным техническим объектом показал свою высокую эффективность и может быть использован в дальнейшем для подобного рода работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dixon, W. E. Nonlinear Control of Engineering Systems / W. E. Dixon, A. Behal, D. M. Dawson, S. P. Nagarkatti // A Birkhauser Engineering. – 2003.
2. Guglielmino, E. Semi-Active Suspension Control / E. Guglielmino, T. Sireteanu, C. Stammers, G. Ghita, M. Guiclea // Springer. – 2008.
3. Андрейчиков, А. В. // Компьютерное моделирование динамики автомобиля с активной виброзащитной подвеской // А. В. Андрейчиков, А. С. Горобцов, О. Н. Андрейчикова // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 8 (46) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 5). – С. 5–11.
4. Горобцов, А. С. Комплекс ФРУНД – инструмент исследования динамики автомобиля / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, Р. П. Кушвид // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 27–28.
5. Chapman, S. J. Fortran 95/2003 for Scientists and Engineers (3rd ed.) / Chapman, Stephen J // McGraw-Hill. – 2007.
6. Linus Torvalds. Linux Logos and Mascots // Linux Online. – 2008.
7. Kernighan. The C programming language (2nd ed.) / Kernighan, Dennis M. Ritchie // Engelwood Cliffs, NJ: Prentice Hall. – 1988, march.
8. Feldman, S. I. A Fortran to C Converter / S. I. Feldman, David M. Gay, Mark W. Maimone, N. L. Schryer // AT&T Bell Laboratories technical report, 1990.

УДК 519.25 : 616.314-089.28

*О. Г. Полянская, Т. В. Моторкина, Д. В. Ильин, А. В. Крохалев, О. А. Авдеюк, К. В. Приходьков***СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В ПОЛОСТИ РТА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: kroch@vstu.ru

Описаны количественные признаки разрушения облицовочного слоя металлокерамических зубных протезов. С использованием стандартных процедур математической статистики выявлены факторы, влияющие на характер разрушения.

Ключевые слова: статистические методы анализа, металлокерамические зубные протезы, разрушение.

*O. G. Polyanskaya, T. V. Motorkina, D. V. Ilyn, A. V. Krokhalev, O. A. Avdeuk, K. V. Prikhodkov***STATISTICAL RESEARCHES OF FEATURES OF DESTRUCTION OF CERAMIC-METAL
CONSTRUCTIONS IN AN ORAL CAVITY****Volgograd State Technical University**

Quantitative signs of destruction of a facing layer of ceramic-metal tooth artificial limbs are described. With use standard about-tsedur the mathematical statistics the factors influencing character of destruction are revealed.

Keywords: statistical methods of the analysis, ceramic-metal tooth artificial limbs, destruction.

Клиническая практика зубного протезирования показывает, что одним из наиболее часто встречающихся осложнений в процессе пользования металлокерамическими протезами является разрушение облицовочного слоя.

Известно, что в прочности соединения облицовочного слоя и металла ведущими являются физико-механические факторы, представляющие собой разницу коэффициентов линейного термического расширения (КЛТР) применяемых материалов и адгезия [2, 4]; причем связь между облицовочным слоем и металлом может носить адгезионный, либо когезионный характер. Адгезия обеспечивается за счет сил Ван-дер-Ваальса, механического сцепления, обусловленного геометрией поверхности, химической связью оксидов, входящих в состав керамики и сплава. В случае недостаточной величины адгезионной связи происходит откол участков фарфоровой облицовки от металла и оголение его поверхности. В случае недостаточной величины когезионной связи разрушение идет по поверхности керамической массы, которая сохраняется на части, либо на всей поверхности металла [2, 6].

Общепринята следующая классификация разрушений керамического покрытия в зависимости от образующейся поверхности раздела (O'Brien, 1977 г.): а) металл – фарфор; б) окись металла – фарфор; в) окись металла – окись металла; г) когезионное в фарфоре; д) металл – окись металла; е) когезионное в металле. Однако она не позволяет ориентироваться в клинике

при оценке встречающихся видов осложнений и причин их возникновения.

В настоящее время существует значительное количество композиционных материалов для реставрации облицовочного слоя цельнолитых ортопедических конструкций непосредственно в полости рта пациента: «Фарест» (Россия), «Silistor» (Германия), «New super C» (США), «Оксомат-метаком» (Украина), «Panavia» (США) и др. Однако механизм разрушения облицовочного покрытия металлокерамических конструкций изучен недостаточно. Кроме того, отсутствуют дифференцированные рекомендации по выбору реставрационного материала, с учетом характера, локализации и вида разрушения облицовочного покрытия.

Авторами было обследовано в клинике 42 человека с разрушениями облицовочного слоя комбинированных конструкций [1]. С целью выявления факторов, влияющих на характер разрушения, и его общих закономерностей, рассматривались следующие параметры:

X_1 – материал облицовочного слоя (уровни фактора: 1 – керамика; 2 – art-glass);

X_2 – конструкция протеза (1 – одиночная коронка; 2 – мостовидный протез; 3 – комбинация съемной и несъемной конструкции);

X_3 – степень подвижности зубов-антагонистов;

X_4 – давность протезирования (мес.);

Y_1 – характер разрушения (1 – по облицовочному слою; 2 – по поверхности металла; 3 – по окисной пленке);

Y_2 – поверхность разрушения (1 – окклюзионная; 2 – вестибулярная; 3 – вестибулярная пришеечная; 4 – язычная; 5 – медиальная аппроксимальная; 6 – дистальная аппроксимальная);
 Y_3 – площадь разрушения (мм^2).

Обработка результатов производилась с применением стандартных процедур математи-

ческой статистики, реализованных в системе STATGRAPHICS Centurion XV Trial версии 15.1.02 [7].

В результате проведенных исследований установлено, что с доверительной вероятностью $P = 0,99$ распределение уровней факторов X_1 , X_2 и X_3 в выборке является нормальным [3] (рис. 1–3).

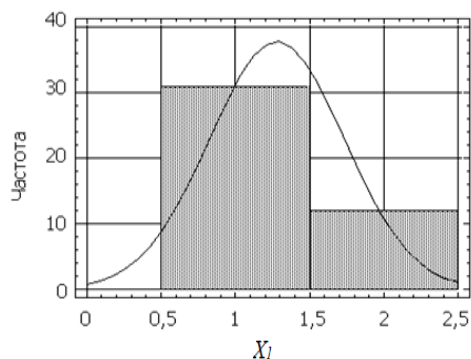


Рис. 1. Гистограмма частот разрушения металлокерамических конструкций с различным материалом облицовочного слоя:
 1 – керамика; 2 – art-glass

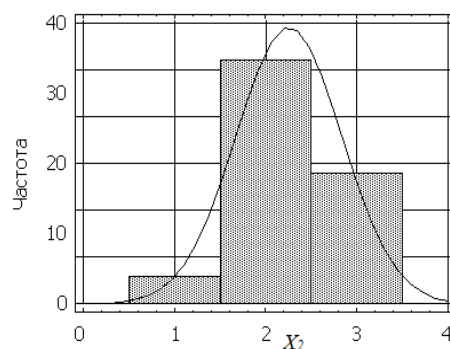


Рис. 2. Гистограмма частот разрушения различных типов металлокерамических конструкций:
 1 – одиночная коронка; 2 – мостовидный протез; 3 – комбинация съемной и несъемной конструкции

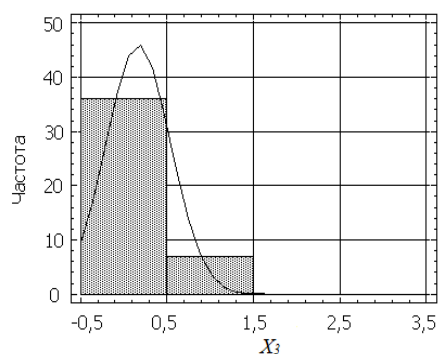


Рис. 3. Гистограмма частот разрушения различных типов металлокерамических конструкций в зависимости от степени подвижности зубов-антагонистов

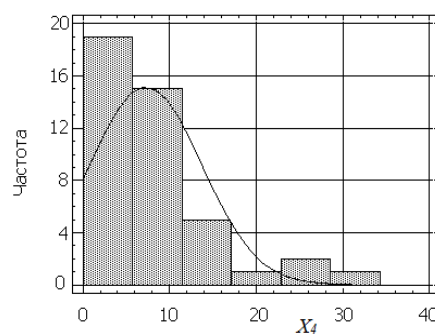


Рис. 4. Гистограмма частот различных типов разрушения металлокерамических конструкций в зависимости от длительности их эксплуатации (в месяцах)

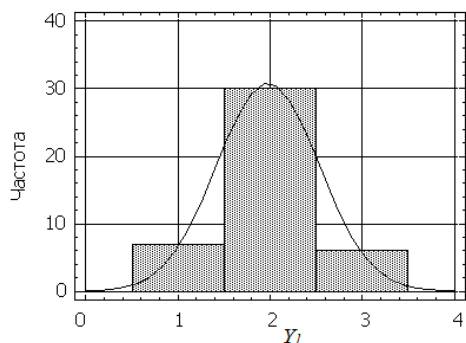


Рис. 5. Гистограмма частот различных типов разрушения металлокерамических конструкций:
 1 – по облицовочному слою; 2 – по поверхности металла;
 3 – по окисной пленке

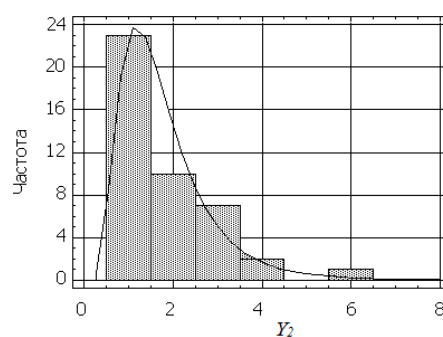


Рис. 6. Гистограмма частот локализации разрушения по поверхностям металлокерамических конструкций:
 1 – окклюзионная; 2 – вестибулярная; 3 – вестибулярная пришеечная; 4 – язычная; 5 – медиальная аппроксимальная; 6 – дистальная аппроксимальная

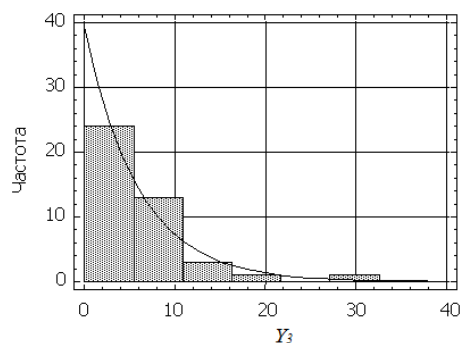


Рис. 7. Гистограмма частот разрушения металлокерамических конструкций в зависимости от площади разрушений

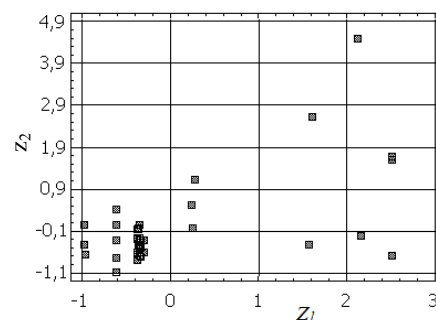


Рис. 8. Поле корреляции между линейными комбинациями исходных признаков характера разрушения металлокерамических конструкций

Период времени, прошедший с момента протезирования до возникновения осложнений, также подчиняется нормальному закону распределения (рис. 4); причем на первые 7 месяцев пользования протезами приходится 50 %, на 15 месяцев – 90 %, на 22 месяца – 99 % случаев их разрушения.

Изменчивость уровней переменных, описывающих характер наблюдаемых разрушений, отличается большим разнообразием. Распределение параметра Y_1 является нормальным, параметра Y_2 – логарифмически нормальным, а переменная Y_3 подчиняется экспоненциальному закону распределения (рис. 5–7). Наиболее час-

то наблюдается разрушение окклюзионных поверхностей протезов по типу «металл – фарфор», приводящее к оголению металлической основы конструкции. В 50 % случаев площадь разрушения не превышает 4 мм², а в 90 % случаев – 13 мм² (рис. 7).

С целью выявления латентных факторов, влияющих на разрушение облицовочного слоя металлокерамических конструкций, использовался факторный анализ [5], который позволил выявить три фактора, «вбирающих» в себя большую часть (92 %) общей изменчивости наблюдаемых данных:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= 0,734337 \cdot X_1 + 0,954005 \cdot X_2 + 0,0325544 \cdot X_3 - 0,0409504 \cdot X_4 \\ F_2 &= -0,484438 \cdot X_1 + 0,0751017 \cdot X_2 + 0,153832 \cdot X_3 + 0,946804 \cdot X_4 \\ F_3 &= 0,276313 \cdot X_1 - 0,0730482 \cdot X_2 + 0,970564 \cdot X_3 + 0,198585 \cdot X_4 \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Анализ вида зависимостей (1) позволяет утверждать, что первый латентный фактор (F_1) в наибольшей степени связан с переменными X_1 и X_2 и определяется сочетанием материала и конструкции протеза, второй фактор (F_2) – с переменной X_4 и определяется сроком эксплуатации конструкции, третий фактор (F_3) – с переменной X_3 , отражающей степень подвижности зубов антагонистов.

Для выявления статистически значимых связей между установленными латентными факторами и переменными Y_1 , Y_2 и Y_3 , описывающими характер наблюдаемых разрушений, использовали канонический корреляционный анализ [5]. В результате удалось выявить линейные комбинации исходных признаков

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= -0,418568 \cdot F_1 - 0,241755 \cdot F_2 + 1,09346 \cdot F_3 \\ Z_2 &= -0,15768 \cdot Y_1 - 0,0546864 \cdot Y_2 + 1,01041 \cdot Y_3 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

имеющие коэффициент корреляции 0,58, являющийся статистически значимым с доверительной вероятностью, превышающей $P = 0,95$ (рис. 8).

Таким образом, содержательный анализ полученных выражений позволяет сделать следующие выводы:

при разрушении металлокерамических конструкций имеет место тенденция к увеличению площади повреждения облицовочного слоя при увеличении подвижности зубов-антагонистов, а также при переходе от мостовидных протезов к одиночным коронкам;

локализация разрушения на аппроксимальных поверхностях, а также откол по поверхности раздела между окисной пленкой и облицовкой сопровождаются, как правило, увеличением площади разрушения, при этом крупные разрушения проявляются значительно раньше, чем разрушения небольшой площади.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилина, Т. Ф. Особенности разрушения и реставрация металлокерамических конструкций в полости рта композиционными материалами / Т. Ф. Данилина, О. Г. Батюнина, А. В. Крохалев // Новое в стоматологии для зубных техников. – 2000. – № 3. – С. 10–16.
2. Дьяконенко, Е. Е. Оценка связей керамики с металлом (ЦНИИС). Современное стоматологическое материаловедение и использование его достижений в клинической практике / Е. Е. Дьяконенко, А. А. Иноземцева. – М., 1994. – 78 с.
3. Крохалев, А. В. Использование факторного анализа для изучения структуры остаточных знаний по курсам «Технология материалов» / А. В. Крохалев, Д. Е. Декатов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управле-

ния, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 87–88.

4. Рогожникова, Г. И. Сравнительная характеристика основных физико-механических свойств керамических масс для стоматологической металлокерамики. Современное стоматологическое материаловедение и использование его достижений в клинической практике / Г. И. Рогожникова, Е. В. Суворина, В. Н. Бойкачев, В. И. Назаров. – М., 1994. – 67 с.
5. Тюрин, Ю. Н. Анализ данных на компьютере: под ред. В. Э. Фигурнова / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. – М.: ИНФРА-М, Финансы и статистика, 1995. – 384 с.
6. Williamson, R. T. The effect of fatigue on the shear bond strength of resin bonded to porcelain. – Chandler Medical Center, 1993. – 156 с.
7. STATGRAPHICS Centurion Trial версии 15.1.02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.statgraphics.com>

УДК 531.38

*И. И. Харламова, Е. Г. Шведов***ЭЛЕКТРОННЫЙ АТЛАС БИФУРКАЦИОННЫХ ДИАГРАММ ТЯЖЕЛОГО ВОЛЧКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ***

**Волгоградская академия государственной службы,
Волгоградский государственный технический университет**
E-mail: esheg@rambler.ru

Работа посвящена построению электронного атласа бифуркационных диаграмм на изоэнергетических уровнях задачи о вращении вокруг неподвижной точки тяжелого магнита в гравитационном и магнитном полях при условиях типа Ковалевской. Приводятся аналитические факты, необходимые для классификации диаграмм: условия существования движений, уравнения разделяющего множества в пространстве свободных параметров. Интерактивная процедура визуализации атласа реализована в САВ Mathematica.

Ключевые слова: волчок Ковалевской, магнитное поле, бифуркационная диаграмма, электронный атлас.

*I. I. Kharlamova, E. G. Shvedov***ELECTRONIC ATLAS OF BIFURCATION DIAGRAMS OF THE HEAVY TOP IN MAGNETIC FIELD**

**Volgograd Academy of Public Administration
Volgograd State Technical University**

Consider the problem of rotation about a fixed point of the heavy magnet placed in the gravitational and constant magnetic fields. Under the conditions of the Kowalevski type we construct the electronic atlas of the bifurcation diagrams on iso-energetic levels for this integrable problem. The analytical facts necessary for the diagrams classification are given including the motion existence conditions and the equations of the separating set in the space of the free parameters. The interactive procedure of the atlas visualization is realized in the «Mathematica» system.

Keywords: Kowalevski top, magnetic field, bifurcation diagrams, electronic atlas.

Введение

В работе дано аналитическое описание и представлена программная реализация процесса построения электронного атласа бифуркационных диаграмм интегрируемой по Лиувиллю гамильтоновой системы с тремя степенями свободы, описывающей движение вокруг закрепленной точки массивного магнита под дей-

ствием поля силы тяжести и постоянного магнитного поля. Интегрируемость задачи обеспечивают условия Ковалевской на моменты инерции тела и требование, согласно которому центры приложения силовых полей лежат в экваториальной плоскости эллипсоида инерции, вычисленного в закрепленной точке [1]. С интегрируемой системой связано интегральное отображение шестимерного фазового пространства P^6 в арифметическое пространство констант трех первых интегралов

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Администрации Волгоградской области № 10-01-97001.

$$\begin{aligned}
H &= \omega_1^2 + \omega_2^2 + \frac{1}{2}\omega_3^2 - (\alpha_1 + \beta_2), \\
K &= (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \alpha_1 - \beta_2)^2 + (2\omega_1\omega_2 + \alpha_2 + \beta_1)^2, \\
G &= (\alpha_1\omega_1 + \alpha_2\omega_2 + \frac{1}{2}\alpha_3\omega_3)^2 + (\beta_1\omega_1 + \beta_2\omega_2 + \frac{1}{2}\beta_3\omega_3)^2 + \\
&\quad + \omega_3(\gamma_1\omega_1 + \gamma_2\omega_2 + \frac{1}{2}\gamma_3\omega_3) - \alpha_1b^2 - \beta_2a^2.
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь компоненты векторов ω, α, β угловой скорости и напряженности силовых полей вычислены в осях, связанных с телом, а γ_i – компоненты в тех же осях вектора $\alpha \times \beta$. Само пространство P^6 задано в $\mathbf{R}^9(\omega, \alpha, \beta)$ геометрическими интегралами:

$$\begin{aligned}
\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 &= a^2, \quad \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 = b^2, \\
\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2 + \alpha_3\beta_3 &= 0. \tag{2}
\end{aligned}$$

Определяющую роль в исследованиях фазовой топологии системы играет множество, классифицирующее интегральные многообразия, – образ особенностей слоения Лиувилля, возникающего на уровнях фиксированной энергии. Это множество Σ называется *бифуркационной диаграммой* (на изоэнергетическом уровне) и совпадает с множеством критических значений отображения $G \times K$, ограниченного на пятимерное многообразие постоянной энергии $E_h^5 = \{x \in P^6 : H(x) = h\}$, $h \in \mathbf{R}$. В силу компактности многообразия E_h^5 бифуркационная диаграмма Σ есть ограниченное подмножество плоскости (g, k) , состоящее из сегментов кривых и конечного набора узловых точек, зависящее, очевидно, от трех вещественных параметров: h, a, b . Уравнения множеств, содержащих в себе бифуркационные диаграммы как собственные подмножества, получены в работе [2]. Цель настоящей работы – построение электронного атласа диаграмм $\Sigma(h, a, b)$. Основная математическая проблема при компьютерной визуализации заключается в выводе явной формы ограничений, определяющих сегменты диаграммы, что позволяет затем из граничных условий получить уравнения классифицирующего (разделяющего) множества в пространстве параметров. Ограничения диктуются требованием существования движений в соответствующих критических подсистемах, которые определяются, в свою очередь, бифуркационными диаграммами критических под-

систем с двумя степенями свободы. Общий подход к исследованию условий существования предложен в докладе [3]. Критические подсистемы и их диаграммы изучены в работах [2, 4, 5]. Эти результаты использованы при выводе утверждений теорем 2, 3.

Понятие «атлас»

Пусть задано семейство геометрических объектов $T \subset \mathbf{R}^m$, зависящих от набора параметров $c \in \mathbf{R}^n$. Предполагается, что в семействе введено некоторое отношение эквивалентности. В случае с диаграммами – это клеточный изоморфизм (структура клеточного комплекса задается рангом интегрального отображения). Назовем значение c_0 *разделяющим*, если в любой окрестности c_0 найдется пара c_1, c_2 , для которой соответствующие объекты неэквивалентны. Естественно потребовать, чтобы неразделяющие значения параметров образовывали открытое всюду плотное подмножество в $\mathbf{R}^n$. Тогда для всех точек связной компоненты множества неразделяющих значений объекты будут эквивалентны.

Под *атласом* рассматриваемого семейства понимается:

- 1) наличие аналитических уравнений разделяющего множества, позволяющих строить его наглядное представление;
- 2) возможность интерактивного выбора точки в пространстве параметров;
- 3) возможность компьютерной визуализации объекта $T(c)$, по крайней мере, для любой неразделяющей точки пространства параметров;
- 4) возможность детализации любой части построенного объекта с целью выявления происходящих в нем перестроек при пересечении разделяющего множества.

Аналитические результаты

Полагая в общем случае $a > b > 0$, введем для краткости зависимые положительные па-

параметры p, r, γ , такие, что $p^2 = a^2 + b^2$, $r^2 = a^2 - b^2$, $\gamma = ab$.

Теорема 1 [2]. Пусть задано значение энер-

гии h . Тогда бифуркационная диаграмма лежит в объединении следующих подмножеств плоскости (g, k) :

$$\begin{aligned} \Pi_0^\pm &= \{g = \pm \gamma h, k = (a \mp b)^2\}; \\ \Pi_1 &= \{k = 0\}; \quad \Pi_2 = \{k = r^{-4}(2g - p^2 h)^2\}; \\ \Pi_3 &= \{g = s^2(h - s) + \frac{\gamma^2}{s}, k = (h - s)(h - 3s) + p^2 - \frac{\gamma^2}{s^2}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для полного определения множеств Σ необходимо иметь условия принадлежности точек вида (3) образу интегрального отображения, выраженные в терминах зависимостей от заданных параметров h, a, b . При этом для компьютерного построения диаграмм эти условия должны быть записаны в виде явных неравенств на следующие параметры множеств (3): h для $\Pi_0^\pm$; h, g для Π_1, Π_2 ; h, s для Π_3 ; причем условия на h должны быть выражены через a, b , а условия на g, s – через a, b, h . Преобразуем к нужному виду результаты по критическим подсистемам, следуя методике [5, 6, 7]. Получим представленную ниже информацию, необходимую для практического построения искомых диаграмм.

Рассмотрим уравнение от двух неизвестных h, s , описывающее пересечение $\Pi_1 \cap \Pi_3$:

$$F(s, h) = (s^2 - a^2)(s^2 - b^2) - s^2(h - 2s)^2 = 0.$$

Множество его решений показано на рис. 1.

Выделим следующие однозначные ветви зависимости $s(h)$:

$$\begin{aligned} s = s_1 &\in [-b, 0), & h \geq -2b; \\ s = s_2 &\in (0, b], & h \geq 2b; \\ s = s_3 &\in [a, s_0], & h_0 \leq h \leq 2a; \\ s = s_4 &\in [s_0, +\infty), & h \geq h_0. \end{aligned}$$

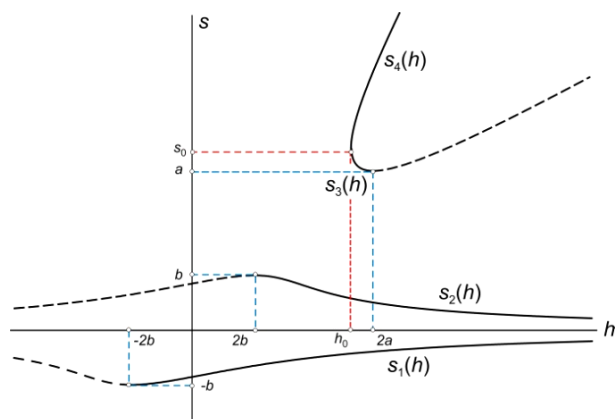


Рис. 1. Решения неявного уравнения

Отметим, что константы $s_0 > a$ и $h_0 \in (2b, 2a)$ вычисляются при заданных a, b как вещественные корни дискриминантов многочлена $F(s, h)$ по h и s соответственно, единственные на указанных промежутках. Введем также обозначения величин, однозначно зависящих от h :

$$\begin{aligned} s_{5,6} &= \frac{h \mp \sqrt{h^2 - 4ab}}{2}, \quad s_7 = \frac{h + \sqrt{h^2 + 4ab}}{2}, \\ g_{1,2} &= \frac{1}{4p^2}[(2p^4 - r^4)h \mp r^4 \sqrt{h^2 - 2p^2}], \\ g_* &= s^3 + \frac{\gamma}{s} - |s| \sqrt{(s^2 - a^2)(s^2 - b^2)} \Big|_{s=s_1(h)}, \\ h_a &= a(ah + r^2), \quad h_b = b(bh - r^2). \end{aligned} \quad (4)$$

Теорема 2. Изоэнергетическая диаграмма $\Sigma(h, a, b)$ задается на множествах (3) следующими условиями:

$$\begin{aligned} \Pi_0^- &: \{h \in [-a + b, +\infty)\}; \\ \Pi_0^+ &: \{h \in [-a - b, +\infty)\}; \\ \Pi_1 &: \{h \in [-2b, +\infty), \quad g \in [g_*, \frac{1}{2} p^2 h]\}; \\ \Pi_2 &: \{h \in [-(a + b), p\sqrt{2}], \quad g \in [h_b, h_a]\} \cup \\ &\cup \{h \in [p\sqrt{2}, +\infty), \quad g \in [h_b, g_1] \cup [g_2, h_a]\}; \\ \Pi_3 &: \{h \in [-(a + b), -2\sqrt{\gamma}], \quad s \in [-a, s_5]\} \cup \\ &\cup \{h \in [-(a + b), -2\sqrt{\gamma}], \quad s \in [s_6, -b]\} \cup \\ &\cup \{h \in [-2\sqrt{\gamma}, -2b], \quad s \in [-a, -b]\} \cup \\ &\cup \{h \in [-2b, +\infty], \quad s \in [-a, s_1]\} \cup \\ &\cup \{h \in [-a + b, 2b], \quad s \in [b, s_7]\} \cup \\ &\cup \{h \in [2b, h_0], \quad s \in [s_2, s_7]\} \cup \\ &\cup \{h \in [h_0, 2a], \quad s \in [s_2, s_3]\} \cup \\ &\cup \{h \in [h_0, 2a], \quad s \in [s_4, s_7]\} \cup \\ &\cup \{h \in [2a, +\infty], \quad s \in [s_2, a]\} \cup \\ &\cup \{h \in [2a, +\infty], \quad s \in [s_4, s_7]\}. \end{aligned}$$

Перестройки диаграммы Σ в зависимости от ее параметров определяются эволюцией множества узловых точек – нульмерного остова

клеточного комплекса, заданного теоремами 1, 2 в плоскости (g, k) . Этот остов при фиксированном h включает: точки $\Pi_0^\pm$; точки сегментов Π_1, Π_2 для граничных значений g ; точки сегментов Π_3 для граничных значений s . Существование каждого из этих типов точек обеспечивается указанными в теореме 2 условиями на h в виде принадлежности некоторому промежутку. Поэтому множество таких точек меняется при пересечении величиной h граничных значений промежутков, определенных в теореме 2 как функции от a, b . Кроме того, в состав узловых точек входят особые точки гладких сегментов – точки возврата, кратные точки (пересечение двух сегментов, самопересечение одного сегмента, касание). В области, определяемой теоремой 2, имеется конечное множество особых точек, допускающих явное аналитическое описание. Значения параметров h, a, b , при которых происходят структурные изменения в составе узловых точек, образуют искомое разделяющее множество.

Теорема 3. *Разделяющее множество в пространстве $\mathbf{R}^3(h, a, b)$ состоит из следующих поверхностей:*

$$\begin{aligned} Q_1 - Q_4 : h &= \pm a \pm b; \\ Q_5 : h &= 2a; \quad Q_6 - Q_7 : h = \pm 2b; \\ Q_8 - Q_9 : h &= \pm 2\sqrt{ab}; \\ Q_{10} : h &= \sqrt{2(a^2 + b^2)}; \\ Q_{11} : \begin{cases} h = a \frac{3 + 6x - x^2}{4\sqrt{x}} \\ b = a \frac{\sqrt{(x-3)(1+x^2)}}{4\sqrt{x}} \end{cases}, & x \in [1, 3]; \\ Q_{12} : h &= \frac{1}{2a}(3a^2 + b^2); \\ Q_{13} : h &= \frac{1}{2b}(a^2 + 3b^2). \end{aligned}$$

Дадим некоторые пояснения. Уравнения поверхностей $Q_1 - Q_{10}$ с очевидностью следуют из записи граничных условий по h в теореме 2 с учетом требования вещественности присутствующих в этих условиях величин (4). Кроме того, можно показать, что равенства $h = \pm 2\sqrt{ab}$ (поверхности $Q_8 - Q_9$) определяют граничные условия существования точек самопересечения и ребер возврата на Π_3 . Поверхность Q_{11} представляет собой зависимость между h, a, b в

особой точке (h_0, s_0) (см. рис. 1), что эквивалентно системе уравнений

$$F(s, h) = 0, \quad F'_s(s, h) = 0. \quad (5)$$

Приравняв к нулю результат этих уравнений по s , получим уравнение 4-й степени по h^2 , решение которого в радикалах хотя и выписывается, но никакого практического значения не имеет. Поэтому для визуализации соответствующей поверхности нужно использовать ее параметрическую запись. Выразим из системы (5) величины h, b как функции s, a и введем вместо s новый параметр x , полагая $x = a^{-2} \left(s + \sqrt{s^2 - a^2} \right)^2$. Получим искомую параметрическую запись поверхности Q_{11} ; при этом требуемые решения системы (5) существуют при $x \in [1, 3]$. Разделяющие поверхности $Q_{12} - Q_{13}$ отвечают таким значениям h , при которых линии пересечения Π_2 с Π_3 имеют общую точку с внешней границей допустимой области на Π_2 , заданной уравнениями $g = g_{1,2}(h)$. Других случаев перестроек внутри множества узловых точек не имеется.

Компьютерная реализация

Эффективное построение электронных атласов возможно и имеет практическое применение лишь в случае, когда множество параметров двумерно. Тогда возможен интерактивный выбор точки на соответствующей плоскости. Третье измерение необходимо зарезервировать для возможности детализации отдельных участков исследуемых диаграмм, что моделирует «приближение-удаление». В нашем случае параметров три. Однако для всех объектов имеется дополнительная эквивалентность, порожденная преобразованием подобия – подстановкой $h \rightarrow ah$, $b \rightarrow ab$, $s \rightarrow as$, $k \rightarrow a^2k$, $g \rightarrow a^3g$. Это следствие того факта, что величина a может быть взята за единицу измерения длин характеристических векторов силовых полей α, β . Этим преобразованием все разделяющие поверхности теоремы 3 переводятся в их сечения плоскостью $a = 1$ (разделяющие кривые). Таким образом, за существенные параметры изоэнергетических бифуркационных диаграмм следует взять безразмерные величины $h/a, b/a$. По исходным допущениям $0 \leq b/a \leq 1$, а из (1), (2) следует, что $h \geq -a - b$,

то есть в плоскости параметров $A = h/a$, $B = b/a$ достаточно рассмотреть полуплоску $\{B \in [0, 1], A \geq -1 - B\}$. В этом диапазоне разделяющие кривые задают 19 областей, в которых

диаграммы $\Sigma(A, B)$ непусты и устойчивы относительно малых изменений параметров, в силу чего компьютерная визуализация адекватно демонстрирует их структуру.

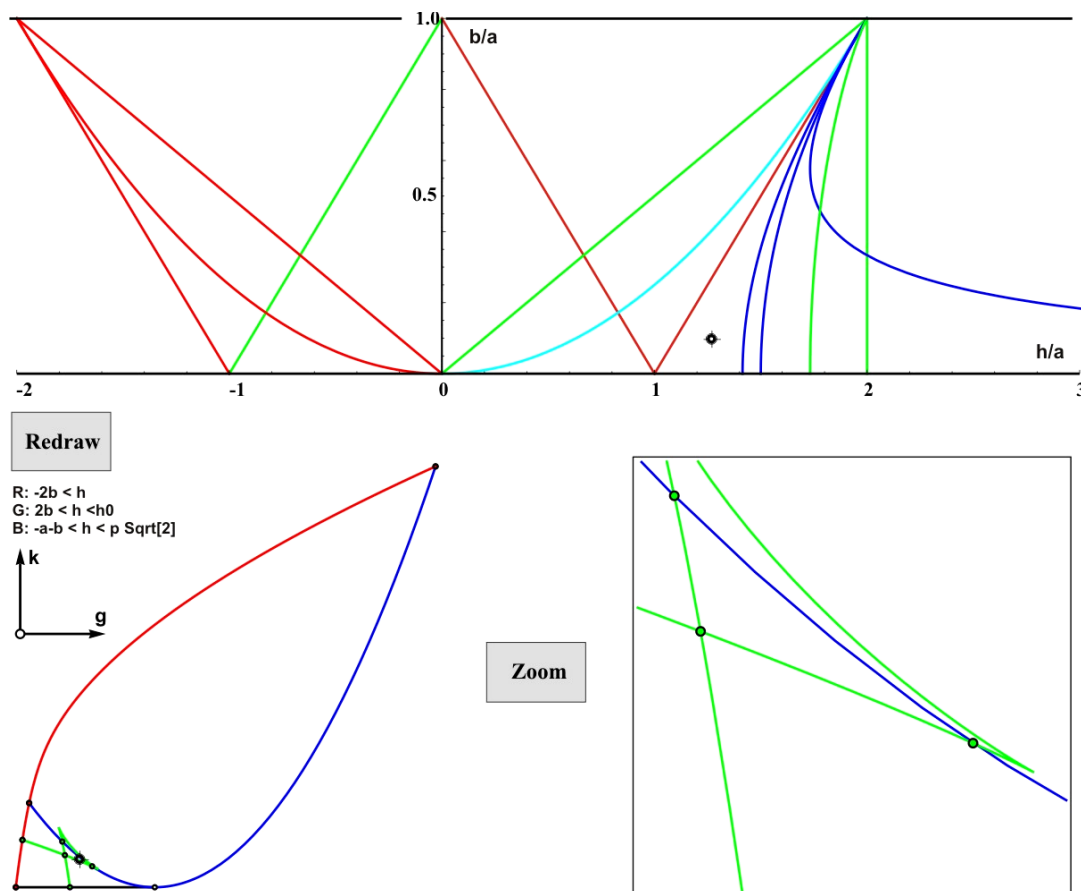


Рис. 2. Пример интерфейса электронного атласа

Построение атласа реализовано в виде пакета в среде Mathematica 7. Пример интерфейса в одной из областей показан на рис. 2. Здесь в верхней половине представлена область параметров, в которой производится выбор точки с помощью мыши. Соответствующая диаграмма отображается в нижней левой части. На ней можно указать точку, окрестность которой в увеличенном виде выводится на экран в нижней правой части.

Каждый сегмент диаграммы между узловыми точками изображает набор критических точек интегрального отображения интегрируемой гамильтоновой системы, принадлежащих к одному и тому же типу с точки зрения топологической классификации особенностей. Для рассматриваемой системы соответствующая классификация недавно завершена [6]. В связи с этим следующим шагом в построении электронных атласов может стать визуализация

«оснащенных» бифуркационных диаграмм, в которых при наведении указателя на критическое значение (сегмент диаграммы) высвечивается код типа соответствующих особых точек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рейман, А. Г. Лаксово представление со спектральным параметром для волчка Ковалевской и его обобщений / А. Г. Рейман, М. А. Семенов-Тянь-Шанский // Функциональный анализ и его приложения. – 1988. – Т. 22. – № 2. – С. 87–88.
2. Kharlamov, M. P. Bifurcation diagrams of the Kowalevski top in two constant fields / M. P. Kharlamov // Regular and Chaotic Dyn. – 2005. – V. 10. – № 4. – P. 381–398.
3. Харламова, И. И. Общие методы построения бифуркационных диаграмм интегрируемых гамильтоновых систем / И. И. Харламова, М. П. Харламов // Современные методы теории функций и смежные проблемы. – Воронеж : Изд-во ВГУ. – 2007. – С. 236–237.
4. Харламов, М. П. Бифуркационное множество в одной задаче о движении обобщенного волчка Ковалевской / М. П. Харламов, А. Ю. Савушкин, Е. Г. Шведов // Механика твердого тела. – 2003. – Вып. 33. – С. 10–19.

5. Kharlamov, M. P. On the existence of motions in the generalized 4th Appelrot class / M. P. Kharlamov, E. G. Shvedov // Regular and Chaotic Dyn. – 2006. – V. 11. – № 3. – P. 337–342.

6. Рябов, П. Е. Аналитическая классификация особенностей обобщенного случая Ковалевской / П. Е. Рябов, М. П. Харламов // Вестник УдГУ. – 2010. – № 2. – С. 19–28.

7. Бочкин, А. М. Регуляризация уравнений Эйлера для

условного экстремума функционала с матрицей связей неполного ранга / А. М. Бочкин, А. С. Горобцов, Н. В. Чигиринская // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 6). – С. 7–9.

УДК 004.932.2

Д. А. Хрящев

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗИРУЕМОГО ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МОДЕЛИ АДДИТИВНОГО ШУМА

Астраханский государственный технический университет

E-mail: masterjedy25@yahoo.com

Рассматривается метод определения наиболее подходящей модели аддитивного цифрового шума для анализируемого изображения и ее статистических характеристик.

Ключевые слова: предварительная обработка, анализ цифрового изображения, улучшение цифровых изображений, цифровой шум Гаусса, Релея, Эрланга, экспоненциальный, белый шум, метод наименьших квадратов.

D. A. Khryashchev

ABOUT ONE METHOD FOR DETERMINING THE MOST SUITABLE ADDITIVE NOISE MODEL FOR THE ANALYZED IMAGE

Astrakhan State Technical University

A method to determine the most appropriate model of additive digital noise for the image being analyzed and its statistical characteristics is considered.

Keywords: Preliminary processing, digital image analysis, digital image improvement, Gaussian noise, Rayleigh noise, Erlang noise, exponential noise, white noise, least square method.

На современном этапе развития цифровой фото- и видео-техники на всех записываемых изображениях, помимо полезного изображения, всегда присутствует цифровой шум. Цифровой шум проявляется на изображении в виде расположенных случайным образом цветковых точек, близких по размеру к одному пикселу с яркостью и/или цветом, значительно отличающимися от средних яркостей и оттенков соседних пикселов, в результате чего снижается качество цифрового изображения.

Чтобы оценить статистические параметры цифрового шума на конкретном изображении, необходимо подобрать наиболее подходящую модель цифрового шума. Информация о наиболее подходящей модели цифрового шума является полезной при низкочастотной фильтрации цифровых изображений для подавления помех и улучшения изображений, поскольку, зная тип шума на изображении и его статистические характеристики, можно подобрать наиболее оптимальный фильтр для данного изображения.

Наиболее распространенными и часто применяемыми моделями цифровых шумов явля-

ются модели аддитивного шума. Аддитивный шум описывается соотношением [3]:

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y),$$

где $g(x, y)$ – зашумленное изображение; $f(x, y)$ – исходное изображение; $\eta(x, y)$ – аддитивный, не зависящий от исходного изображения, шум с определенным распределением функции вероятности. Такой шум не зависит от пространственных координат и не коррелирует с изначальным изображением. Значения яркости подобного шума могут рассматриваться как случайные величины, характеризующиеся функцией распределения вероятностей.

Благодаря математической простоте и удобству применения, одной из наиболее широко распространенных моделей аддитивного шума является Гауссов шум (нормальный шум), который образуется в собственных электрических цепях фото- и видео-аппаратов, а также в фотосенсорах при недостаточной освещенности и температурных перепадах.

Функция плотности распределения вероятностей для Гауссова шума [1]:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}, \quad (1)$$

где z – случайная величина, определяющая уровень яркости и принимающая значения из диапазона яркости для данного типа изображений; μ – математическое ожидание z ; σ – среднеквадратичное отклонение z . Дисперсия

σ^2 определяет мощность добавляемого шума.

На рис. 1 показано монотонное черное изображение (яркость каждого пиксела равна 0), на которое наложен Гауссов шум с $\mu = 0; \sigma = 40$, а также его нормированная гистограмма яркостей. На гистограмме отчетливо виден пик для пикселей с нулевой яркостью, остальные столбцы отображают Гауссов шум.

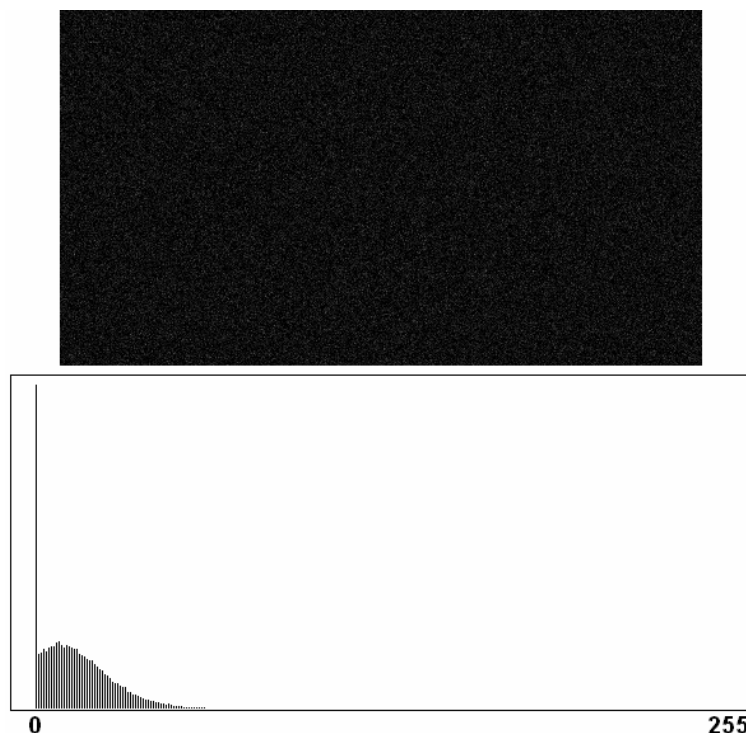


Рис. 1. Сверху – искаженное Гауссовым шумом монотонное черное изображение; снизу – гистограмма яркостей

В случаях, когда фото- или видеозахват производится с большого расстояния, на цифровых изображениях образуются шумы, которые описываются распределением Релея. Функция плотности распределения вероятностей для шума Релея равна [1]

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b}, & z \geq a \\ 0, & z < a \end{cases}, \quad (2)$$

$a > 0, b > 0$ определяют статистические характеристики распределения Релея.

На рис. 2 показано монотонное черное изображение, на которое наложен шум Релея с $a = 6; b = 100$, а также его нормированная гистограмма яркостей.

Математическое ожидание и дисперсия шума Релея равны, соответственно

$$\mu = a + \sqrt{\pi b}/2, \quad \sigma^2 = b(4 - \pi)/4. \quad (3)$$

Шум, образующийся на изображениях, полученных при помощи лазеров, описывается гамма-распределением или распределением Эрланга. Функция плотности распределения вероятностей для шума Эрланга равна [1]:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az}, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

$a > 0, b > 0$ (b – целое число) определяют статистические характеристики распределения Эрланга. Математическое ожидание и дисперсия шума Эрланга равны, соответственно

$$\mu = b/a, \quad \sigma^2 = b/a^2. \quad (5)$$

Частным случаем распределения Эрланга является экспоненциальный шум, для которого значение $b = 1$. Функция плотности распределения вероятностей для экспоненциального шума равна [1]

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az}, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}, \quad (6)$$

$a > 0$ – параметр экспоненциального распреде-

ления, задающий амплитуду шума. Математическое ожидание и дисперсия для экспоненциального шума равны, соответственно

$$\mu = 1/a, \quad \sigma^2 = 1/a^2. \quad (7)$$

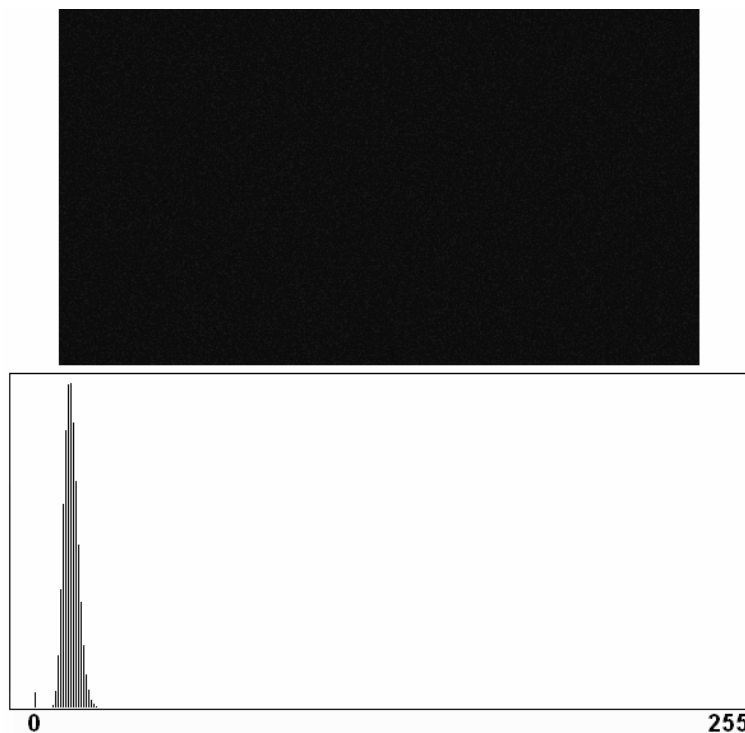


Рис. 2. Сверху – искаженное шумом Релея монотонное черное изображение; снизу – гистограмма яркостей

На рис. 3 показано монотонное черное изображение, на которое наложен шум Эрланга с

$b = 2$; $a = 0,4$, а также его нормированная гистограмма яркостей.

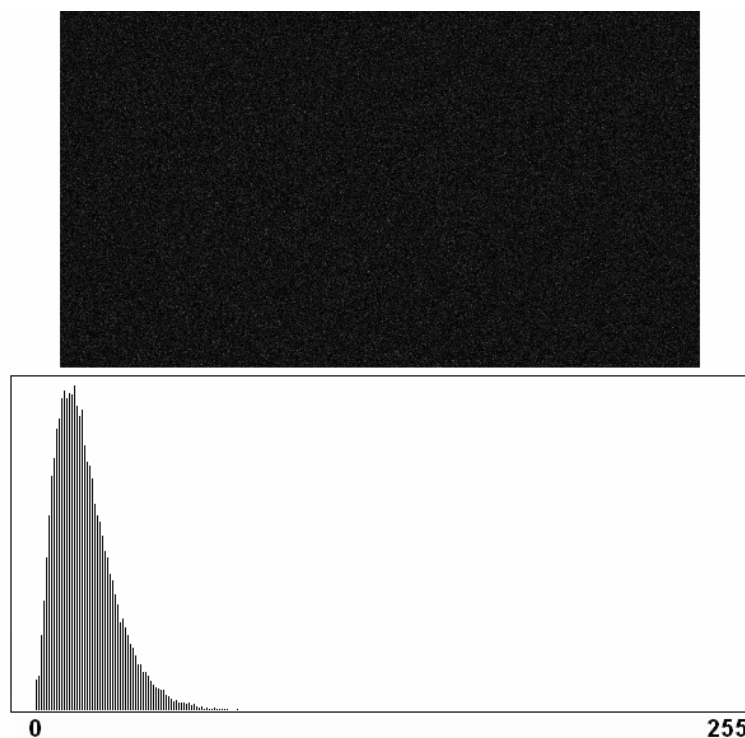


Рис. 3. Сверху – искаженное шумом Эрланга монотонное черное изображение; снизу – гистограмма яркостей

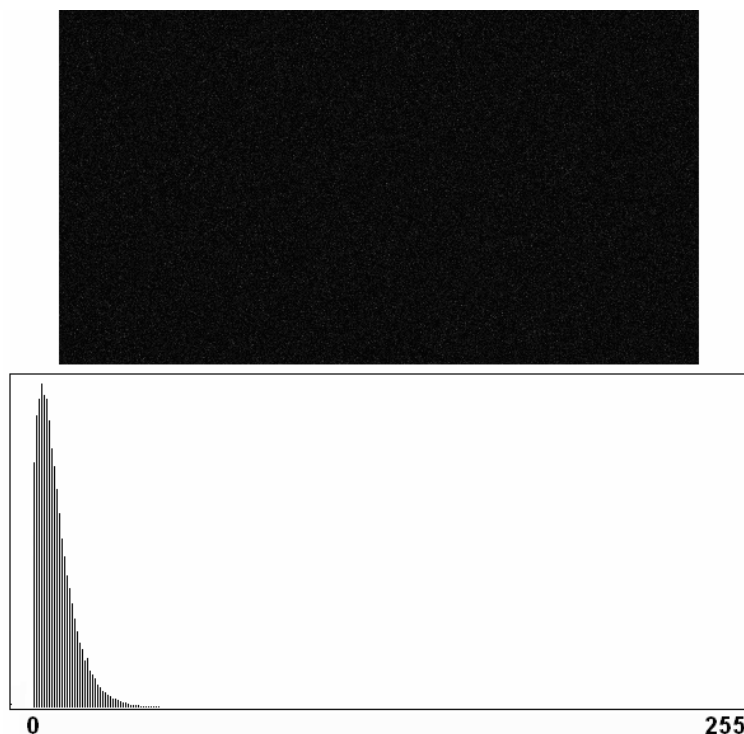


Рис. 4. Сверху – искаженное экспоненциальным шумом монотонное черное изображение; снизу – гистограмма яркостей

На рис. 4 показано монотонное черное изображение, на которое наложен экспоненциальный шум $a=0,8$, а также его нормированная гистограмма яркостей.

В случаях, когда фото- или видеосъемка ведется на фоне каких-либо побочных электромагнитных излучений, на цифровых изображениях образуется белый шум, который имеет равномерную функцию распределения плотности вероятностей [1]:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & z \in [a, b] \\ 0, & z \notin [a, b] \end{cases} \quad (8)$$

Математическое ожидание и дисперсия белого шума равны, соответственно

$$\mu = (a+b)/2; \quad \sigma^2 = (b-a)^2/12. \quad (9)$$

На рис. 4 показано монотонное черное изображение, на которое наложен экспоненциальный шум $a=10$; $b=30$, а также его нормированная гистограмма яркостей.

В предлагаемом методе для каждого пиксела анализируемого изображения подсчитывается число d_{ij} , равное разнице медианы яркостей соседних пикселей $\mu_{1/2}(\Omega(r_{ij}))$ и его собственной яркости r_{ij}

$$d_{ij} = |\mu_{1/2}(\Omega(r_{ij})) - r_{ij}|, \Omega(r_{ij}) = \{r_{mn} : i-s \leq m \leq i+s, j-s \leq n \leq j+s\},$$

которое выражает абсолютную локальную контрастность пиксела r_{ij} ; $\Omega(r_{ij})$ – окрестность пиксела r_{ij} размера $s \times s$. Затем по значениям d_{ij} строится нормированная гистограмма контрастности:

$$H(d_{ij} = k) = n_k / n, 0 \leq k \leq K_{\max},$$

где n_k представляет из себя количество пикселей, для которых значение $d_{ij} = k$; n – общее количество пикселей изображения.

Для определения наиболее подходящей модели аддитивного цифрового шума, полученное распределение $H(d_{ij} = k)$ сравнивается с наиболее распространенными моделями аддитивного цифрового шума – Гаусса, Релея, Эрланга, экспоненциальным и белым шумом.

Для значений n_k/n рассчитываются значения μ_k и σ_k по функциям плотности распределения вероятностей наиболее распространенных моделей цифрового шума. Наиболее подходящей моделью цифрового шума принимается та, для которой среднеквадратические отклонения S_μ и S_σ значений μ_k и σ_k соответственно минимальны:

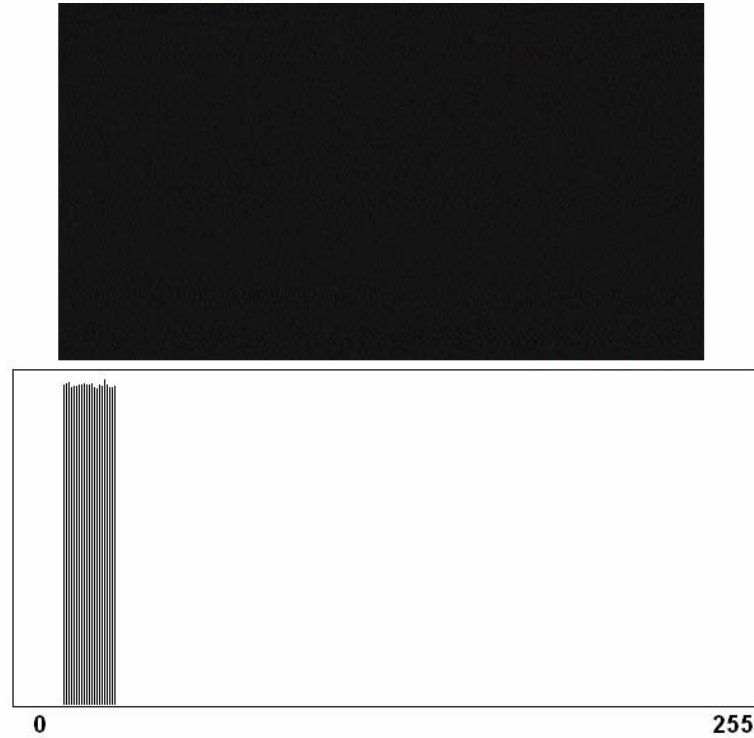


Рис. 5. Сверху – искаженное белым шумом монотонное черное изображение; снизу – гистограмма яркостей

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{K_{\max}} \sum_{k=1}^{K_{\max}} (\sigma_k - \bar{\sigma})^2}, S_{\mu} = \sqrt{\frac{1}{K_{\max}} \sum_{k=1}^{K_{\max}} (\mu_k - \bar{\mu})^2}.$$

Здесь $\bar{\sigma}$, $\bar{\mu}$ – средние значения μ_k и σ_k . В идеальном случае, когда распределение контрастности $H(d_{ij} = k)$ анализируемого изображения полностью соответствует какой-либо модели, значения S_{σ} и $S_{\mu} = 0$.

Для оценки степени соответствия полученного распределения $H(d_{ij} = k)$ анализируемого изображения модели Гауссова шума значения μ_k , σ_k вычисляются аналитически определен-

ное количество раз по различным наборам из четырех произвольных значений $p(z = k) = n_k / n$ по распределению (1). Таким образом, функция плотности распределения Гаусса для значений z_k равна

$$p(z_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z_k - \mu)^2 / 2\sigma^2} = n_k / n.$$

Составив отношения $p(z_1)/p(z_2)$ и $p(z_3)/p(z_4)$, и выполнив элементарные алгебраические преобразования, получаем два уравнения с двумя неизвестными μ и σ :

$$2\sigma^2 = \frac{2\mu(z_1 - z_2) + z_2^2 - z_1^2}{\ln(p(z_1)/p(z_2))}, \quad 2\sigma^2 = \frac{2\mu(z_3 - z_4) + z_4^2 - z_3^2}{\ln(p(z_3)/p(z_4))},$$

$$\mu = \frac{\ln(p(z_3)/p(z_4))(z_2^2 - z_1^2) - \ln(p(z_1)/p(z_2))(z_4^2 - z_3^2)}{2\ln(p(z_1)/p(z_2))(z_3 - z_4) - 2\ln(p(z_3)/p(z_4))(z_1 - z_2)},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\mu(z_3 - z_4) + z_4^2 - z_3^2}{2\ln(p(z_3)/p(z_4))}} = \sqrt{\frac{2\mu(z_1 - z_2) + z_2^2 - z_1^2}{2\ln(p(z_1)/p(z_2))}}.$$

Для оценки степени соответствия полученного распределения $H(d_{ij} = k)$ анализируемого изображения модели шума Эрланга и ее частного случая (экспоненциальный шум) значения

μ_k , σ_k вычисляются аналогично модели Гаусса, по значениям $p(z = k) = n_k / n$ по распределению (4), (5). Таким образом, функция плотности распределения Эрланга для значений z_k равна

$$p(z_k) = \frac{a^b z_k^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az_k} = n_k / n.$$

Составив отношения $p(z_1)/p(z_2)$ и $p(z_3)/p(z_4)$, и выполнив элементарные алгебраические преобразования, получаем два уравнения с двумя неизвестными a и b :

$$b = 1 + \frac{(z_2 - z_1)(\ln(p(z_3)) - \ln(p(z_4))) - (z_4 - z_3)(\ln(p(z_1)) - \ln(p(z_2)))}{(z_4 - z_3)(\ln(z_2) - \ln(z_1)) - (z_2 - z_1)(\ln(z_4) - \ln(z_3))},$$

$$\mu = b/a, \quad \sigma = \sqrt{b/a^2}.$$

В случае, когда $b=1$ (на практике, когда $b \approx 1$), анализируемое распределение $H(d_{ij}=k)$ соответствует экспоненциальному распределению. Таким образом, при $b=1$ имеем выражение

$$\left(\frac{p(z_3)}{p(z_4)} \right)^{z_2 - z_1} = \left(\frac{p(z_1)}{p(z_2)} \right)^{z_4 - z_3}.$$

Проверяя верность данного равенства для определенного количества наборов $p(z_k)$, $z_k \geq 0$, можно оценить, насколько анализируемое распределение $H(d_{ij}=k)$ соответствует экспоненциальному.

$$a = \ln \left(\frac{p(z_1) z_2^{b-1}}{p(z_2) z_1^{b-1}} \right) / (z_2 - z_1),$$

$$a = \ln \left(\frac{p(z_3) z_4^{b-1}}{p(z_4) z_3^{b-1}} \right) / (z_4 - z_3).$$

Приравняв правые части данных уравнений и выразив b , получаем:

Для оценки степени соответствия полученного распределения $H(d_{ij}=k)$ анализируемого изображения модели шума Релея значения μ_k , σ_k вычисляются по четырем произвольным значениям $p(z=k) = n_k/n$ по распределению (2), (3). Таким образом, функция плотности распределения Релея для значений z_k равна

$$p(z_k) = \frac{2}{b} (z_k - a) e^{-(z_k - a)^2/b} = n_k / n.$$

Составив отношения $p(z_1)/p(z_2)$ и $p(z_3)/p(z_4)$, и выполнив элементарные алгебраические преобразования, получаем два уравнения с двумя неизвестными a и b :

$$b = \frac{(z_2 - z_1)(z_2 + z_1 - 2a)}{\ln(p(z_1)) + \ln(z_2 - a) - \ln(p(z_2)) - \ln(z_1 - a)},$$

$$b = \frac{(z_4 - z_3)(z_4 + z_3 - 2a)}{\ln(p(z_3)) + \ln(z_4 - a) - \ln(p(z_4)) - \ln(z_3 - a)}.$$

Приравняв правые части, получаем трансцендентное уравнение

$$\ln \left(\frac{p(z_1)(z_2 - a)}{p(z_2)(z_1 - a)} \right)^{(z_4 - z_3)(z_4 + z_3 - 2a)} = \ln \left(\frac{p(z_3)(z_4 - a)}{p(z_4)(z_3 - a)} \right)^{(z_2 - z_1)(z_2 + z_1 - 2a)},$$

для которого вычислить a аналитически мож-

но только в частных случаях, например, когда подбираемые значения z_1, z_2, z_3, z_4 удовлетворяют $z_1 + z_2 = z_3 + z_4, z_2 - z_1 = q(z_4 - z_3)$. Взяв $q=2$, получаем уравнение

$$\ln \left(\frac{p(z_1)(z_2 - a)}{p(z_2)(z_1 - a)} \right)^2 = \ln \left(\frac{p(z_3)(z_4 - a)}{p(z_4)(z_3 - a)} \right),$$

которое после элементарных преобразований равно

$$\left(p(z_3)^2 p(z_2) - p(z_4)^2 p(z_1) \right) a^3 - \left(p(z_3)^2 p(z_2)(z_1 + 2z_4) - p(z_4)^2 p(z_1)(z_2 + 2z_3) \right) a^2 +$$

$$+ \left(p(z_3)^2 p(z_2)(2z_1 z_4 + z_4^2) - p(z_4)^2 p(z_1)(2z_2 z_3 + z_3^2) \right) a + p(z_3)^2 p(z_2) z_4^2 z_1 - p(z_4)^2 p(z_1) z_3^2 z_2 = 0.$$

После чего необходимо найти действительный корень полученного кубического уравнения.

Благодаря простоте функции плотности распределения белого шума для оценки степе-

ни соответствия полученного распределения $H(d_{ij}=k)$ анализируемого изображения модели белого шума, значения μ_k , σ_k вычисляются по двум произвольным значениям $p(z=k) = n_k/n$ по распределению (8), (9). Таким образом, функция плотности распределения белого шума для значений z_k равна

$$p(z_k) = \frac{1}{b-a}.$$

Для z_1, z_2 получаем уравнения

$$p(z_1) = \frac{1}{b-a}, \quad p(z_2) = \frac{1}{b-a}.$$

$$\mu_k = \frac{\ln(p(z_3)/p(z_4))(z_2^2 - z_1^2) - \ln(p(z_1)/p(z_2))(z_4^2 - z_3^2)}{2 \ln(p(z_1)/p(z_2))(z_3 - z_4) - 2 \ln(p(z_3)/p(z_4))(z_1 - z_2)},$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{2\mu(z_3 - z_4) + z_4^2 - z_3^2}{2 \ln(p(z_3)/p(z_4))}} = \sqrt{\frac{2\mu(z_1 - z_2) + z_2^2 - z_1^2}{2 \ln(p(z_1)/p(z_2))}}.$$

После чего подсчитываются среднеквадратические отклонения S_σ и S_μ для значений μ_k , σ_k соответственно:

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{1}{K_{\max}} \sum_{k=1}^{K_{\max}} (\sigma_k - \bar{\sigma})^2}, \quad S_\mu = \sqrt{\frac{1}{K_{\max}} \sum_{k=1}^{K_{\max}} (\mu_k - \bar{\mu})^2}.$$

$$\delta_i = p(z_i) - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2}, \quad S = \sum_{i=1}^n \delta_i^2,$$

$$\frac{\partial S}{\partial \mu} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}\sigma^3} \sum_{i=1}^n e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2} \left(p(z_i) - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2} \right) (z_i - \mu) = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}\sigma^2} \sum_{i=1}^n e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2} \left(p(z_i) - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2} \right) \left(1 - \frac{(z_i - \mu)^2}{\sigma^2} \right) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n \left(p(z_i) - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(z_i - \mu)^2 / 2\sigma^2} \right) \left(1 - \frac{(z_i - \mu)^2}{\sigma^2} \right) = 0.$$

Решениями данных уравнений являются значения μ , σ наиболее подходящие для исследуемого распределения, если считать, что его функция плотности является Гауссовой.

Таким образом, с помощью метода наименьших квадратов нельзя выбрать наиболее подходящую модель для исследуемого распределения, но можно определить оптимальные параметры μ , σ данного распределения для какой-либо функции плотности.

Выразив b в обоих уравнениях, получаем

$$b = \frac{1}{p(z_1)} + a, \quad b = \frac{1}{p(z_2)} + a, \quad p(z_1) = p(z_2),$$

$$\sigma = 1/(2\sqrt{3}p(z_1)) = 1/(2\sqrt{3}p(z_2)).$$

Для сравнения предлагаемого метода с методом наименьших квадратов, воспользуемся моделью аддитивного шума Гаусса. В предлагаемом методе подсчитываются значения μ_k , σ_k для определенного количества наборов из четырех произвольных значений z_1, z_2, z_3, z_4 , $p(z_1), p(z_2), p(z_3), p(z_4)$:

Чем меньше S_σ и S_μ , тем более степень ответственности.

В случае применения метода наименьших квадратов подсчитываются разницы δ_i между i -м значением исследуемого распределения и соответствующим значением функции Гаусса:

Предлагаемый метод позволяет определить наиболее подходящую функцию распределения плотности из списка кандидатов, но при этом не так точно определяет параметры μ , σ по сравнению с методом наименьших квадратов.

Следовательно, метод наименьших квадратов наиболее целесообразно применять, когда необходимо наиболее точно определить значения μ , σ для известного распределения. Предлагаемый метод целесообразнее применять в

случаях, когда функция плотности распределения цифрового шума на изображении неизвестна и необходимо определить эту функцию, и точность значений μ , σ не важна.

Заключение

В работе была рассмотрена задача определения наиболее подходящей для анализируемого изображения модели аддитивного цифрового шума. Были рассмотрены основные модели аддитивного шума и их характеристики, а также условия фото- и видеосъемки, для которых приемлемо применять данные модели.

Был предложен и подробно описан новый метод определения наиболее подходящей для анализируемого изображения модели аддитивного цифрового шума. Предлагаемый метод был сопоставлен с методом наименьших квадратов, в результате чего были выявлены его достоинства и недостатки.

Основным преимуществом предлагаемого метода является то, что он позволяет аналитически оценить степень соответствия шума на анализируемом изображении моделям аддитивного шума и оценить его статистические характеристики. Недостатки – более низкая точность подсчета статистических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений / Р. С. Гонсалес, Р. Э. Вудс. – М.: Техносфера, 2006.
2. Фисенко, В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008.
3. Сойфер, В. А. Методы компьютерной обработки изображений / В. А. Сойфер. – М.: Физматлит, 2003.
4. Бобровский, И. В. О связи характеристик частотных сигналов с характеристиками формирующих кодовых последовательностей / И. В. Бобровский // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 6). – С. 5–7.

УДК 519.688

О. В. Шаповалов, В. В. Гетманский, А. Е. Андреев, А. С. Горобцов

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИСКЛЮЧЕНИЕМ МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: oshapovalov@mail.com, getman_w@rambler.ru, andan2005@yandex.ru, gorobtsov@avtltg.ru

Рассматривается метод решения дифференциально-алгебраических уравнений Эйлера, допускающий замену решения системы линейных алгебраических уравнений сверхбольшой размерности на последовательное решение множества систем малой размерности. Данный метод позволяет ускорить расчет, сократить требуемый объем памяти и повысить точность решения.

Ключевые слова: уравнение Эйлера, уравнения связей, механическая система, множитель Лагранжа, дифференциально-алгебраические уравнения, система линейных алгебраических уравнений, сверхбольшая размерность.

O. V. Shapovalov, V. V. Getmanskiy, A. E. Andreev, A. S. Gorobtsov

SOLVING OF DIFFERENTIAL ALGEBRAIC EQUATION SYSTEM WITH SUCCESSIVE ELIMINATION OF LAGRANGE MULTIPLIERS

Volgograd State Technical University

The method of the decision of differential algebraic equation of Euler, which allows the replacement of the decision of system of the linear algebraic equations of extra-large dimension by the serial decision of set of systems of small dimension, is considered. The given method allows to accelerate calculation, to reduce the demanded memory size and to raise accuracy of the decision.

Keywords: Euler's Equation, The Equations of Communications, Multiplier Lagrange, Differential Algebraic Equation, System of the Linear Algebraic Equations, Extra-large Dimension.

Быстрое развитие современной компьютерной техники позволяет проводить все более сложные исследования различных процессов и объектов. Для комплексных динамических систем, описываемых системами дифференциально-алгебраических уравнений, в общем случае найти решение аналитически невозможно. Единственный метод исследования таких сис-

тем на сегодняшний день – это поиск численного решения дискретных математических моделей. Междисциплинарное моделирование динамики сложных объектов совместно с протекающими в них процессами сопряжено с выходом на сверхбольшие размерности при представлении описывающих эту систему массивов данных. Описывающие подобные системы мат-

рицы сильно разрежены, количество ненулевых элементов в них составляет доли процента. Для хранения таких матриц Чангом и Густавсоном была предложена схема разреженного строчно-го формата (Compressed Sparse Row – CSR) [1], которая предъявляет минимальные требования к памяти и удобна при выполнении различных операций линейной алгебры, необходимых при решении СЛАУ.

Реализация хранения матриц в таком формате позволяет решить проблему большого требуемого количества памяти, но затрудняет работу с данными. К тому же нередко возникают ситуации, когда обработка упакованных массивов требует распаковки или просто большого количества памяти, например, для факторизации матрицы при решении СЛАУ. Факторизация создает дополнительные накладные расходы, если в процессе решения меняется портрет матрицы. Наиболее эффективную реализацию факторизации матрицы содержит высокопроизводительная библиотека PARDISO [2]. Проведенные исследования показали, что она позволяет обрабатывать с достаточной точностью матрицы с не более чем 10 млн. ненулевых элементов (невязка составляет менее 1 %), при этом требуется порядка 8 Гб оперативной памяти. Увеличение размерности до 15 млн. ненулевых элементов дает погрешность 7 %, что уже неприемлемо для большинства задач моделирования. Поскольку существует необходимость работы с большими массивами данных, надо каким-либо образом оптимизировать процесс решения СЛАУ с целью уменьшения требуемого объема памяти и времени решения. Одним из таких методов является замена одного решения СЛАУ сверхбольшой размерности на решение нескольких СЛАУ меньшей размерности, основанное на знании структуры портрета матрицы.

Решаемая матрица представляет собой уравнения Эйлера для условного экстремума функционала, включающего в себя функции одной независимой переменной и их производные, в форме системы дифференциально-алгебраических уравнений [3, 4]:

$$\begin{cases} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} - \mathbf{D}^T \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{f}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t), \\ \mathbf{D}\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, t). \end{cases}$$

Здесь $\mathbf{x}$ – вектор переменных всей системы размерности N ; $\mathbf{M}$ – матрица при вторых производных размерности $N \times N$; $\mathbf{f}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t)$ – вектор правых частей; $\mathbf{D}$ – матрица переменных коэф-

фициентов уравнений связей размерности $K \times N$ (K – число связей); $\mathbf{h}(\mathbf{x}, t)$ – вектор правых частей уравнений связей; $\boldsymbol{\lambda}$ – вектор множителей Лагранжа.

Зная, что $\mathbf{M}$ – диагональная матрица, – рассмотрим случай цепной системы тел (рис. 1), когда все тела последовательно жестко связаны между собой и имеют единичную массу.

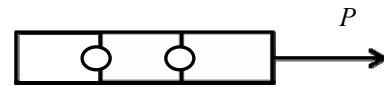


Рис. 1. Цепная система тел со связями

В простейшем случае узлы будут обладать одной степенью свободы, то есть могут перемещаться только вдоль основного вектора тела. Данной ситуации будет соответствовать граф (рис. 2), где точки также соответствуют узлам тела, а λ – коэффициенты взаимодействия между узлами.

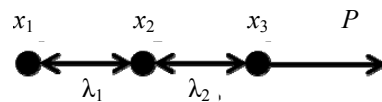


Рис. 2. Граф взаимодействия узлов в теле

Данному графу будет соответствовать следующая система дифференциально-алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \lambda_1 = 0, \\ \ddot{x}_1 - \lambda_1 + \lambda_2 = 0, \\ \ddot{x}_1 - \lambda_2 = P, \\ \ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 = 0, \\ \ddot{x}_2 - \ddot{x}_3 = 0. \end{cases}$$

Та же система в матричной форме будет иметь следующий вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Из графа видно, что каждый узел связан максимум с двумя соседними, а крайние узлы – только с одним телом. Если начать рассчитывать поведение модели с одного из крайних узлов, можно последовательно исключить все неизвестные системы. Таким образом, общее решение системы будет состоять из прямого хода, где на каждом шаге решение будет выражаться

через одну переменную λ_i , и обратного хода, который начинается после того, как будет решена последняя СЛАУ прямого хода, решение которого уже не будет зависеть ни от каких переменных. Во время обратного хода происходит последовательная постановка рассчитанных ранее значений; данный этап полностью соответствует соответствующему этапу алгоритма Гаусса.

Для осуществления одного шага прямого хода необходимо решить систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x}_i - \lambda_{i-1} + \lambda_i = 0, \\ \ddot{x}_{i-1} - \ddot{x}_i = 0. \end{cases}$$

Поскольку зависимость для переменных $\ddot{x}_{i-1}$ и λ_{i-1} установлена на предыдущем шаге (для первого шага $x_1 = f(\lambda_1) = -\lambda_1$), то, подставляя выражение для $\ddot{x}_{i-1}$, получаем систему из двух уравнений и трех неизвестных, которое можно записать следующим образом:

$$A \cdot \begin{pmatrix} \ddot{x}_i \\ \lambda_{i-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\lambda_i \\ C \end{pmatrix},$$

где A – матрица подсистемы; C – константа, полученная сложением силы, приложенной к данному узлу, и постоянной части решения из предыдущего шага.

Пользуясь свойством линейности

$$\begin{pmatrix} \ddot{x}_i \\ \lambda_{i-1} \end{pmatrix} = A^{-1} \cdot \begin{pmatrix} -\lambda_i \\ C \end{pmatrix} = A^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ C \end{pmatrix} - \lambda_i \cdot A^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

каждый раз надо решать одну систему уравнений для двух правых частей. На последнем шаге прямого хода в системе не будет λ_N и решение для $\begin{pmatrix} \ddot{x}_N \\ \lambda_{N-1} \end{pmatrix}$ будет определено однозначно.

Обратный ход представляет собой подстановку и достаточно тривиален.

Был проведен ряд тестов для цепочек разной длины; результаты тестов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет протяженного тела

Размерность	Погрешность, %	Время расчета, с
1,0E+05	0	0,09
1,0E+06	1,0E-04	0,89
1,0E+07	1,0E-02	8,9
1,0E+08	3,42	89,6
1,0E+09	12,73	894

Для сравнения была выбрана самая быстрая на сегодняшний момент библиотека для решения СЛАУ для разреженных матриц Intel MKL PARDISO. Для решения СЛАУ сверхбольшой размерности ей требуется значительный объем памяти, поэтому тесты проводились на вычислительном сервере кафедры «ЭВМ и системы» Волгоградского государственного технического университета, обладающем 16 Гб оперативной памяти и процессором Intel Core i7 720. Данного объема памяти достаточно для решения системы размерностью 5 млн.

Таблица 2

Расчет цепной системы в MKL Pardiso

Размерность	Погрешность, %	Время расчета, с
1,0E+05	0	0,964
1,0E+06	1,0E-04	9,46
3,0E+06	0,3	29,27
5,0E+06	6,01	51,006

Предложенный метод расчета имеет более высокую скорость расчета (по сравнению со стандартными библиотеками), обладает более высокой точностью и требует меньшего количества памяти. Данный метод может быть обобщен на случай любой полносвязной структуры тела, если описывающий его граф не имеет колец (в таком случае определитель матрицы будет равен нулю, и система не будет иметь однозначного решения). В настоящий момент реализован расчетный модуль для решения любой системы с одной степенью свободы; в ближайшее время планируется его обобщить на случай с любым числом степеней свободы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писсанецки, С. Технология разреженных матриц : пер. с англ. / С. Писсанецки. – М.: Мир, 1988. – 411 с.
2. Библиотека PARDISO [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pardiso-project.org>. – 2011.
3. Горобцов, А. С. The Methods of the Transform of Multibody Systems with Redundant Constraints / А. С. Горобцов // EUROMECH Colloquium 495. Advanced in simulation of multibody system dynamics, 18–21 February 2008, Брянск (Россия): book of Abstracts : тез. докл. / Брянский гос. техн. ун-т [и др.]. – Брянск, 2008. – С. 36. – Англ.
4. Банах, Л. Я. Условия разбиения системы дифференциально-алгебраических уравнений на слабосвязанные подсистемы / Л. Я. Банах, А. С. Горобцов, О. К. Чесноков // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2006. – № 12. – С. 2223–2227.
5. Андреев, А. Е. Система для расчета тепловых технологических процессов машиностроения / А. Е. Андреев, Е. Г. Громов, М. В. Резников, О. В. Шаповалов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12(60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 128 с. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7).

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.3.016

О. А. Авдеюк

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ МЕЖБЛОЧНОГО СИСТЕМНОГО ИНТЕРФЕЙСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: oxal2@mail.ru

Рассмотрены существующие технические показатели интерфейсов. Предложен подход к методам определения погрешности системного интерфейса сложных информационно-измерительных систем.

Ключевые слова: системный измерительный интерфейс, категорная диаграмма, погрешность, функциональный блок.

O. A. Avdeuk

THE GENERAL APPROACHES TO THE METROLOGICAL ANALYSIS OF THE INTERBLOCK SYSTEM INTERFACE AT DESIGNING OF COMPLEX INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Volgograd State Technical University

Existing technical indicators of interfaces are considered. An approach to methods of determining the accuracy of the system interface of complex information-measuring systems is offered.

Keywords: the system measuring interface, the category diagram, the accuracy, the functional block.

Одной из важных задач, возникающих на этапе проектирования сложных информационно-измерительных систем (СИИС), является определение полной погрешности системы. Традиционно полную погрешность находят суммированием погрешностей отдельных узлов (функциональных блоков) системы [8], не учитывая составляющей погрешности, возникающей при преобразовании информации в интерфейсных узлах. Известно, что СИИС имеют большое количество каналов, по которым передается информация об измеренных величинах. При передаче измерительной информации через интерфейсные блоки возможны, например, временные задержки и ошибки при передаче информации вследствие воздействия помех на сигналы. Поэтому при расчете полной погрешности СИИС $\Delta_{\text{сис}}$ необходимо учитывать погрешность, вносимую функциональными (измерительными) блоками (ФБ) $\Delta_{\text{фб}}$ и погрешность операций, выполняемых интерфейсными блоками (ИБ) $\Delta_{\text{иб}}$, осуществляющими взаимодействие функциональных блоков:

$$\Delta_{\text{сис}} = \Delta_{\text{фб}} + \Delta_{\text{иб}}. \quad (1)$$

В настоящее время довольно детально проработан вопрос метрологического анализа средств и алгоритмов измерений [2, 8]. Изучение литературы по измерительным интерфейсам [6, 7] позволило сделать вывод о том, что вопросы метрологии в этой области практически не затрагивались, что и привело к необходимости в рассмотрении вопроса оценки метрологических характеристик межблочных системных интерфейсов. Под *межблочным системным интерфейсом* (системным измерительным интерфейсом) будем понимать совокупность методов и средств, предназначенных для организации внутрисистемного обмена в СИИС [4].

Известно, что системный измерительный интерфейс представляет собой сложную программно-аппаратную систему [1, 3]. Тогда для метрологического анализа целесообразно разбить системный измерительный интерфейс на отдельные подсистемы, реализующие каналы связи между измерительными блоками.

Минимальной процедурой межблочного системного интерфейса является установление

связи двух функциональных блоков, один из которых в дискретный момент времени является приемником, а другой – источником информации. Под *погрешностью межблочной связи* ($\Delta_{мс}$) необходимо понимать разность между значением передаваемой величины на входе ФБ-приемника ($X_{пр}$) и выходе ФБ-передатчика ($X_{прд}$),

$$\Delta_{мс} = X_{пр} - X_{прд}. \quad (2)$$

Источниками погрешностей на этапе установления межблочных связей являются наличие несогласования ФБ между собой (например, по форме представления информации на входах и выходах блоков, по роду физических величин и т. д.). Процесс согласования блоков в системе имеет довольно сложный характер, и чем эффективней он будет реализован, тем меньше будет значение $\Delta_{мс}$.

Большое количество программных и аппаратных ресурсов, а также возможность программной реконфигурации, делают системный измерительный интерфейс виртуальным (т. е. существующим лишь во время выполнения передачи информации в данном канале). В связи с этим, для системного измерительного интерфейса применим лишь поканальный метод определения метрологических характеристик, при котором канал передачи информации рассматривается как независимое средство. При передаче по каналу информация претерпевает ряд преобразований (например, аналоговый сигнал трансформируется в помехоустойчивый код); нетрудно предположить, что погрешность преобразований при этом имеет иерархический характер, т. е. она тоже преобразуется (накапливается) от слоя к слою. Определить процесс накопления погрешностей и вид коррекции возможно лишь структурными методами.

Рассмотрим следующий пример. Пусть при передаче по каналу необходимо выполнить последовательно три вида преобразования информации, причем следует учесть, что этот процесс сопровождается накоплением погрешностей. Данное условие задачи легко интерпретировать с помощью категорной диаграммы (рис. 1).

На рис. 1 $T_{и1}, T_{и2}, T_{вх_и}^{i+1}$ – объекты, соответствующие истинным значениям величины при идеальных преобразованиях, которым соответствуют морфизмы $\Phi_{и1}, \Phi_{и2}, \Phi_{и3}$; $T_{р1}, T_{р2}, T_{вх_р}^{i+1}$ – объекты, соответствующие реальным значениям величины в результате преобразований, которым соответствуют морфизмы $\Phi_{р1}, \Phi_{р2}, \Phi_{р3}$, на

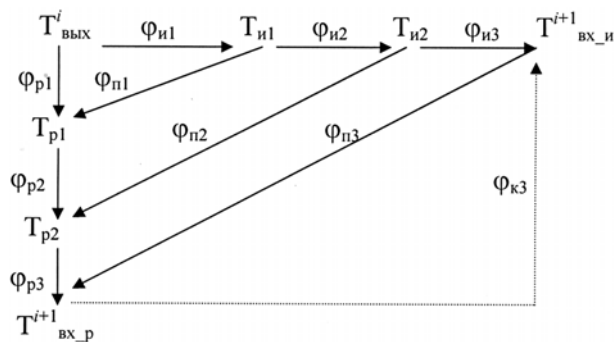


Рис. 1. Категорная диаграмма преобразования информации в межблочном системном интерфейсе между i -м функциональным блоком и $i+1$ -м функциональным блоком СИИС

которые накладываются погрешности, отображенные на диаграмме морфизмами $\Phi_{п1}, \Phi_{п2}, \Phi_{п3}$.

Учитывая, что категорная диаграмма является коммутативной, справедливы следующие равенства:

$$\Phi_{р1} = \Phi_{п1}\Phi_{и1}, \quad (3)$$

$$\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{п2}\Phi_{и2}\Phi_{и1}, \quad (4)$$

$$\Phi_{р3}\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{п3}\Phi_{и3}\Phi_{и2}\Phi_{и1}. \quad (5)$$

Выражение (3) соответствует преобразованию информации на первом, (4) – на втором, (5) – на третьем слое иерархии. Причем нетрудно заметить, что погрешность низшего уровня иерархии входит в качестве составляющей в выражение более высокого уровня иерархии.

Действительно, поскольку

$$\Phi_{р2}\Phi_{п1} = \Phi_{п2}\Phi_{и2}, \quad (6)$$

$$\Phi_{р3}\Phi_{п2} = \Phi_{п3}\Phi_{и3}, \quad (7)$$

то подставляя (6) в (4), получаем, что

$$\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{р2}\Phi_{п1}\Phi_{и1}, \quad (8)$$

а подставляя (7) в (5), получаем, что

$$\Phi_{р3}\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{р3}\Phi_{п2}\Phi_{и2}\Phi_{и1}. \quad (9)$$

Приведенные соображения относительно иерархичности погрешности позволяют в дальнейшем при формировании функции погрешности управлять размерностью и числом независимых переменных, что очень важно для многоступенчатого (многомерного) процесса преобразования информации.

Рассмотрение такой структуры отображений позволяет сделать вывод о том, что определение формы накопления погрешностей можно компенсировать только структурными методами. Действительно, если коррекция отображений возможна (это эквивалентно появлению блоков коррекции на программном или

аппаратном уровне), то коррекция объектов отображений невозможна принципиально. Компенсация этих процессов осуществима лишь организацией алгоритмов переключений, других видов обработки, что равносильно включению дополнительной структуры. В нашем случае, введя на верхнем слое иерархии корректирующее преобразование, которому на категорной диаграмме соответствует морфизм φ_{k3} , мы получаем следующее выражение:

$$\varphi_{i3}\varphi_{i2}\varphi_{i1} = \varphi_{k3}\varphi_{p3}\varphi_{p2}\varphi_{p1}. \quad (10)$$

Таким образом, под *погрешностями межблочных связей* можно понимать результат функционирования особого вида структур в пространстве отображений. Появление погрешностей должно сказываться на смене морфизмов измерительной категорной диаграммы на одном из этапов или в какой-то комбинации смены морфизмов, или всех вместе. Изменение структуры морфизма может рассматриваться как возникновение новой интерфейсной структуры (новой категорной диаграммы интерфейса), пересекающейся с исходной. Пересечение наступает потому, что структура, возникающая при появлении погрешностей, может рассматриваться как процесс пересечения объектов-множеств категорий с учетом погрешностей и в идеальном случае. По мощности пересечения можно судить о степени изменения. Уменьшение мощности свидетельствует об ограничении возможности интерфейсной системы, снижая ее пригодность.

Известно, что все погрешности можно разделить на методические и инструментальные, систематические и случайные, аддитивные и мультипликативные, статические и динамические. При реализации межблочных связей возникают, как правило, все виды погрешностей, но структурно на категорной диаграмме можно

отобразить лишь погрешности мультипликативного и аддитивного типа. Но это не является ограничением на метрологическую оценку при структурном подходе, поскольку все группы погрешностей отображают единственную полную погрешность с различных точек зрения.

Рассмотрим следующий пример. Пусть необходимо согласовать два ФБ_i и ФБ_{i+1}. Интерфейсная категорная диаграмма будет выглядеть следующим образом:

$$T_{\text{ВЫХ}}^i \xrightarrow{\varphi} T_{\text{ВХ}}^{i+1}, \quad (11)$$

где $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ – входной объект-множество $i+1$ -го блока; $T_{\text{ВЫХ}}^i$ – выходной объект-множество i -го блока; φ – морфизм, адекватный интерфейсно-му преобразованию. Будем считать, что множества $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $T_{\text{ВЫХ}}^i$ состоят из однородных физических элементов и возникло несогласование в виде $T_{\text{ВХ}}^{i+1} \cap T_{\text{ВЫХ}}^i = T$. В данном случае справедлива следующая категорная диаграмма:

$$\begin{array}{ccccc} T_{\text{ВЫХ}}^i & \xrightarrow{\varphi_1} & T & \xrightarrow{\varphi_2} & T_{\text{ВХ}}^{i+1} \\ & \searrow \varphi_3 & \downarrow & \nearrow \varphi_4 & \\ & & T' & & \end{array} \quad (12)$$

где $T \cap T' = \emptyset$; $T \cup T' = T_{\text{ВЫХ}}^i$; $T_{\text{ВХ}}^{i+1} \cap T_{\text{ВЫХ}}^i = T$; φ_1 – морфизм, адекватный функции фильтра, настроенного на эквивалентные значения множеств $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $T_{\text{ВЫХ}}^i$; φ_2 – морфизм, адекватный преобразованию $y = k \cdot x$, где $y \in T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $x \in T$, где $k = 1$; φ_3 – морфизм, адекватный функции фильтра, настроенного на неэквивалентные значения множеств $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $T_{\text{ВЫХ}}^i$. В общем случае морфизм φ_4 может иметь более сложную структуру.

Учитывая характер проявления мультипликативной и аддитивной погрешностей, категорная диаграмма (12) преобразуется в следующий вид:

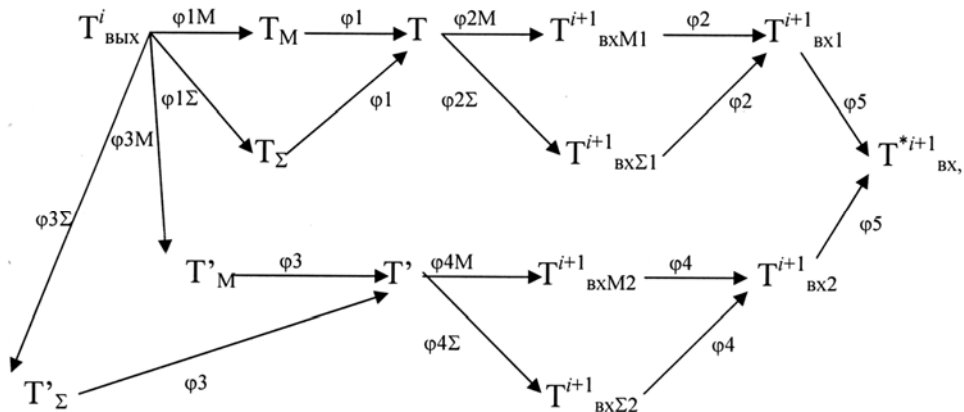


Рис. 2. Категорная диаграмма согласования двух функциональных блоков с учетом мультипликативной и аддитивной погрешностей

На рис. 2 $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ – входной объект-множество $i+1$ -го блока; $T_{\text{ВЫХ}}^i$ – выходной объект-множество i -го блока; φ_2 – морфизм, адекватный преобразованию $y = k \cdot x$, где $y \in T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $x \in T$, где $k = 1$; φ_3 – морфизм, адекватный функции фильтра, настроенного на неэквивалентные значения множеств $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $T_{\text{ВЫХ}}^i$. В общем случае морфизм φ_4 может иметь более сложную структуру. Действительно, если множества $T_{\text{ВХ}}^{i+1} \setminus T$ и $T_{\text{ВЫХ}}^i \setminus T$ равны по мощности, то φ_4 – морфизм, адекватный преобразованию: $y = f(x)$, где $y \in T_{\text{ВХ}}^{i+1}$ и $x \in T$; f – некоторая функциональная зависимость, линейная или нелинейная. Если мощность $T_{\text{ВХ}}^{i+1} \setminus T$ больше мощности $T_{\text{ВЫХ}}^i \setminus T$, то необходимо разбить множества $T_{\text{ВХ}}^{i+1} \setminus T$, например, на k классов эквивалентности (где k – это мощность множества $T_{\text{ВЫХ}}^i \setminus T = T'$), а затем применить преобразование φ_4 ; T_M , T'_M , $T_{\text{ВХ}M1}^{i+1}$, $T_{\text{ВХ}M2}^{i+1}$ – объекты-множества, образующиеся с учетом мультипликативной составляющей погрешности; T_Σ , T'_Σ , $T_{\text{ВХ}\Sigma1}^{i+1}$, $T_{\text{ВХ}\Sigma2}^{i+1}$ – объекты-множества, образующиеся с учетом аддитивной составляющей погрешности; φ_{iM} , $\varphi_{i\Sigma}$ – отображения (морфизмы), соответствующие мультипликативной и аддитивной составляющим погрешности в процессе отображения; φ_5 – морфизм, адекватный формированию результирующего объекта $T_{\text{ВХ}}^{i+1}$.

Категориальный подход позволяет на начальном этапе абстрагироваться от вида аппаратной реализации процедур согласования ФБ. Введение в рассмотрение аддитивной и мультипликативной составляющей погрешности в дальнейшем позволит выбрать вариант аппаратной реализации. Так, для АЦП поразрядного уравнивания характерно искажение квантования в виде аддитивной составляющей погрешности, а для АЦП с использованием времязапуска преобразования погрешность имеет мультипликативный характер.

Как указывается в [8], «анализ погрешностей производится с использованием априорных знаний (АЗ) об объекте, условиях, процедуре и средствах измерений». В свою очередь, состав АЗ определяется АЗ об объекте измерений, составе и свойствах измерительных модулей (или интерфейсных), условиях измерения, видом оцениваемых характеристик.

Именно категориальное представление межблочного интерфейса позволяет АЗ о составе и свойствах интерфейсных модулей, поскольку предоставляет полный портрет преобразований информации. Причем под *морфизмами* φ_{iM} , $\varphi_{i\Sigma}$ (рис. 2) можно понимать закон (функцию) распределения погрешностей.

В заключение необходимо отметить, что в данном случае можно говорить лишь о потенциальной точности, под которой понимается предельно достижимая при установленных условиях точность интерфейсных преобразований. Потенциальная точность определяет принципиальную возможность удовлетворения предъявленных к достоверности идентификации требований. На последующих этапах целесообразно использовать методы оценивания метрологических характеристик, приведенные в [2, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеюк, О. А. Общие подходы к проектированию специализированных высокoeffективных интерфейсов для многофункциональных медицинских систем / О. А. Авдеюк, Р. А. Холопкин // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 4. – С. 39–43.
2. Алиев, Т. М. Измерительная техника : учеб. пособие для техн. вузов / Т. М. Алиев, А. А. Тер-Хачатуров. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
3. Королева, И. Ю. Виды и особенности представления информационно-измерительных знаний при проектировании биомедицинских комплексов / И. Ю. Королева, И. В. Приходькова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (27) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 1). – С. 83–85.
4. Муха, Ю. П. Теория и практика синтеза управляющего и информационного обеспечения измерительно-вычислительных систем : монография / Ю. П. Муха, О. А. Авдеюк, В. М. Антонович ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 220 с.
5. Муха, Ю. П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем : монография / Ю. П. Муха, О. А. Авдеюк, И. Ю. Королева ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2003. – 320 с.
6. Науман, Г. Стандартные интерфейсы для измерительной техники : пер. с нем. / Г. Науман, В. Майлинг, А. Щербина. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
7. Хазанов, Б. И. Интерфейсы измерительных систем / Б. И. Хазанов. – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
8. Цветков, Э. И. Основы математической метрологии. Ч. 1, 2, 3 / Э. И. Цветков. – СПб., 2001. – 105 с.

УДК 519.7

*А. В. Андрейчиков, А. А. Хорычев***СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ
НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ КЛАССИФИКАЦИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ)****Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ);
ФГУП «Научно-исследовательский институт
стандартизации и унификации» (ФГУП «НИИСУ»)**

E-mail: horychev@mail.ru

Рассматривается роль эвристических классификаций технических объектов в инновационном развитии машиностроения.

Ключевые слова: инновации, инновационное развитие, эвристическая классификация, изобретательство, патентование, методы поиска новых технических решений.

*A. V. Andreychikov, A. A. Khorychev***INNOVATION'S SYSTEMATIZATION AND PREDICTION BASED ON HEURISTIC
CLASSIFICATIONS (REPRESENTED BY CARS)****Moscow State University of Railway Engineering (MIIT);
Federal State Unitary Enterprise****«Scientific Research Institute of Standardization and Unification» (NIISU)**

The role of heuristic classification of technical objects in the innovative-based development of mechanical engineering industry is considered.

Keywords: innovation, innovative development, heuristic classification, inventing, patenting, methods of searching new technical solutions.

Опыт развитых стран показывает, что значительная роль в инновационном развитии отводится фундаментальным наукам, научным открытиям и изобретениям [1]. Для информационного обеспечения инновационного развития предприятий разработчики обращаются к источникам информации, используя различные классификаторы [2]:

МКТУ и МКИЭТЗ – Международная классификацию товаров и услуг и Международная классификация изобразительных элементов товарных знаков (при разработке фирменных обозначений, товарных знаков и знаков обслуживания);

УДК – Универсальная десятичная классификация (при поиске научной и деловой информации);

МПК – Международная патентная классификация (при поиске изобретений и полезных моделей для выбора аналогов при оформлении заявок, для оценки технического уровня изделий и технологий, а также их экспертизы на патентную чистоту, ГОСТ 15.011–96);

МКПО – Международная классификация промышленных образцов (при дизайне изделий, их элементов и при поиске аналогов для оформления заявок на промышленные образцы).

Значительная часть инноваций, вводимых в народное хозяйство, основывается на запатен-

тованных изобретениях как результатах научных и инженерных достижений.

Изобретения используют в следующих видах инноваций, выделенных в классификации инноваций и инновационных процессах [3]: технологических, технических, продуктовых, информационных, различающихся по уровню разработок и распространению.

В настоящее время при ведении инновационной деятельности на основе интеллектуальной собственности активно используют эвристические морфологические классификаторы объектов, процессов и материалов, позволяющие находить новые технические решения [4, 5, 6].

Вместе с тем специалисты признают «...неразработанность процедур концептуального проектирования систем вообще и автоматизированных, в частности. Интеллектуальным препятствием является отсутствие развитого инструментария концептуального анализа и синтеза систем [7].

Для повышения вероятности получения с помощью морфологических классификаторов патентоспособных технических решений необходимо при их разработке использовать признаки Международной патентной классификации. Реализацию процедуры перехода к инновационной деятельности на основе патентов предлагается осуществлять в соответствии с

разработанной схемой (рис. 1). В данной схеме значительная роль отводится разработке эври-

стических классификаций создаваемых технических объектов.

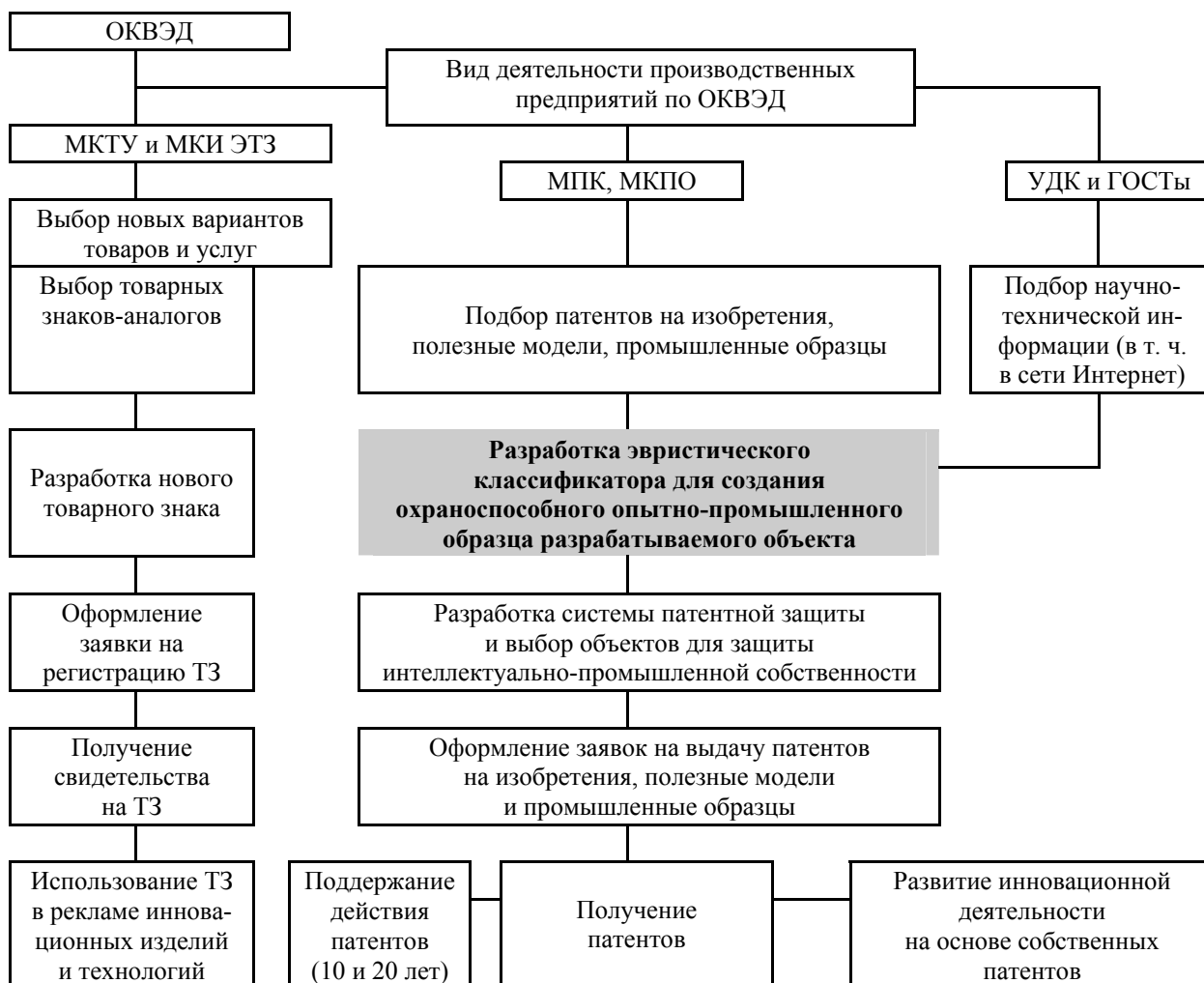


Рис. 1. Схема перехода промышленного предприятия к инновационной деятельности

Использование эвристических классификаций позволяет создавать стратегические инновации, открывающие новые рыночные ниши, что до настоящего времени являлось прерогативой топ-менеджеров компаний, опирающихся на собственный эмпирический опыт, в том числе с помощью результатов исследований мнения потребителей.

Переход к инновационной деятельности на основе защищенных патентами конструкций автомобилей является одной из стратегических задач отечественного автомобилестроения. На стадии концептуального проектирования новой техники остаются актуальными проблемы, решение которых определяется ответами на следующие вопросы:

Как добиться рациональной внутренней дифференциации модельного ряда и его ус-

пешного согласования с модельными рядами конкурентов, если в штат предприятия не входит антикризисный управляющий, владеющий методами концептуального проектирования? Где пролегают внутренние параметрические (конструктивные, функциональные) границы модельного ряда? Где находятся новые ниши? Насколько прибыльным может быть выпуск продукции в этих нишах? Возможна ли автоматизация данных процессов?

Для ответов на эти вопросы в автомобилестроении предлагаются подходы к созданию эвристических классификаций [8]. Фрагмент одной из таких классификаций, систематизирующей в табличной форме распределение легковых автомобилей по классам удельной массы, типам кузовов и размерным классам, приведен в таблице.

**Распределение легковых автомобилей по классам удельной массы,
типам кузовов и размерным классам (фрагмент)**

Тип кузова ав- томобиля	Удельная масса автомобиля (кг / кВт)														
	$A_{y.m}$ (0– 1,99)	$B_{y.m}$ (2– 3,99)	$C_{y.m}$ (4– 5,99)	$D_{y.m}$ (6– 7,99)	$E_{y.m}$ (8– 9,99)	$F_{y.m}$ (10– 11,99)	$G_{y.m}$ (12– 13,99)	$H_{y.m}$ (14– 15,99)	$I_{y.m}$ (16– 17,99)	$K_{y.m}$ (18– 19,99)	$L_{y.m}$ (20– 21,99)	$M_{y.m}$ (22– 23,99)	$N_{y.m}$ (24– 25,99)	$O_{y.m}$ (26– 27,99)	$P_{y.m}$ (28– 30)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Седан		1E	2D 4E 4F	12D 5E 11F 1H	1C 26D 38E 20F 2G	4C 40D 45E 22F 4G 1H	1B 12C 48D 36E 4F 1H	3B 19C 42D 14E	2B 9C 20D 10E	2B 6C 7D 4E	3B 5C 3D 1E	2B 6C	2B 2C		
Универсал				1A 1B 1C 2D 3E	4A 3C 5D 11E	2A 4B 5C 11D 19E 1F	9A 6B 17C 20D 12E 1F	1Z 8A 11B 21C 7B 22D 19C 9E	1X 1Z 7Z 11A 9A 9B 6C 10D 8D	1X 7Z 9A 4C 2D 1E	12A 9B 4C 2D 1E	2A 3B 5C 1D 1E	2A 1B 1C	1D	1D
Универсал вседорожный					2E	1D 1E	2F 2E								
Хэтчбек			1C 2E	2C 3D 2E 2F	6B 10C 11D 11E 2F	4B 16C 20D 0E 2F	1A 7B 24C 35D 20E 2F	10B 25C 22D 9E	1A 6B 13C 18D 7E	6B 8C 7D 1E	6B 4C 4D 1E	2B 5C 1D	3C 2D		
Купе (купе-родстер, купе-тарга)		4C 5D 1E	5C 13D 6E	3A 1B 1C 8D 7E	1A 2C 6D 5E 1F	2C 5D 3E 2F	2C 8D 4E	1C 2D							
Родстер, торпедо		1C 3D	3Z 1A 6B 2C 8D	1A 4B 5C 1D	1A 7B 1C 1E	2Z 7B 1C	2Z 2B 1C	1A	2Z						

В ячейках таблицы указано количество моделей в размерных классах от X до H . Действующая (не законодательно) Европейская размерная классификация легковых автомобилей (рис. 2) признана непригодной для использова-

ния в эвристической классификации по причинам, указанным в источнике [8]. Поэтому при создании таблицы использовалась модернизированная европейская размерная (по длине) классификация автомобилей (рис. 3).

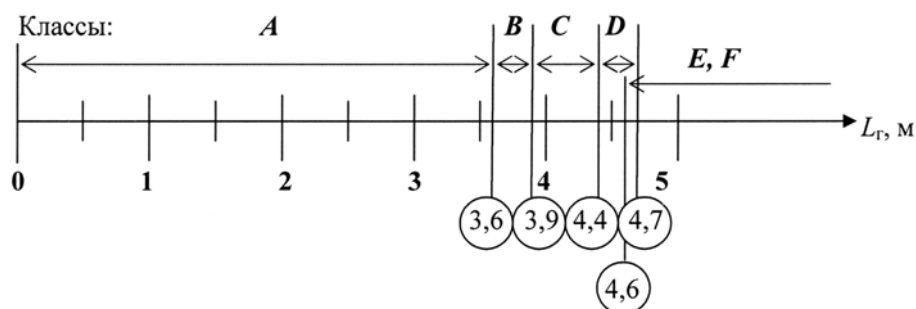


Рис. 2. Графическое представление Европейской классификации легковых автомобилей

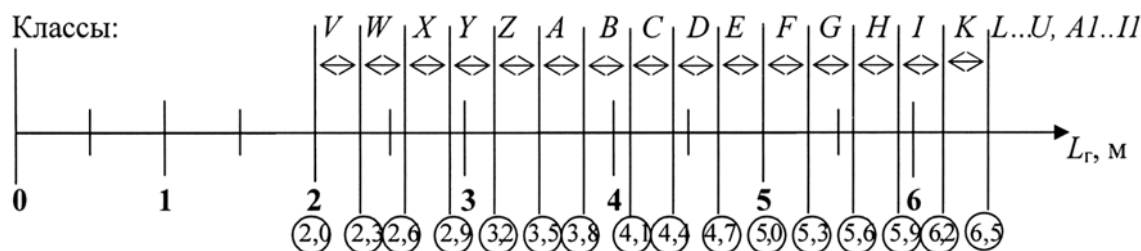


Рис. 3. Вариант расширения Европейской классификации легковых автомобилей, включающий микроавтомобили, минивэны, вседорожники и пикапы

Приведем пример. В ячейке 4 строки «универсал», соответствующей классу удельной массы автомобиля $D_{y.m}$ на первичном рынке в 2004/2005 модельном году предлагалась 1 модель класса A_p (габаритная длина от 3,5 до 3,8 м), 1 модель класса B_p (3,8–4,1 м), 1 модель класса C_p (4,1–4,4 м), 2 модели класса D_p (4,4–4,7 м) и 3 модели класса E_p (4,7–5,0 м). Это – самые динамичные автомобили с кузовом «универсал» на рынке. При этом под термином «модель» понимают конкретную модификацию автомобиля конкретной марки (пример: *BMW 5-й серии*), оснащаемую конкретным двигателем (например, *BMW 530 i*).

Как следует из таблицы, существует немало вполне конкретных, четко очерченных ниш, предложение в которых отсутствует. Но в какой именно нише следует предлагать продукцию? Вероятно, в той, на которую укажет эвристическая классификация, построенная для интервала времени 20–50 лет с интервалом около 5 лет путем аппроксимации кривых. В источнике [8] приведена также эвристическая классификация кузовов легковых автомобилей, предсказывающая многие не существующие ныне, но теоретически возможные типы их кузовов ([8], табл. 5).

При введении в представленную трехмерную классификацию оси цены становится доступным ценовое распределение всего первичного рынка автомобилей по размерам, типам кузовов и классам удельной массы.

Одна из характерных иллюстраций: в 2003 году модель *Audi A4 2.0 B6* имела длину 4547 мм (*D*-класс) и стоила в России €27 010; в 2007 году *Audi A4 2.0 B7* (рестайлинг *B6*) имела длину 4586 мм (*D*-класс) и стоимость ее была ≈€27300, а в 2011 году *Audi A4 2.0 B8* (новый кузов) имеет длину 4703 мм (*E*-класс) и стоимость €32926. Место *Audi A4* в *D*-классе заняла модель *A3* (длина 4292 мм) со стоимостью модификации с двигателем объемом 2,0 л €33635.

Таким образом, «стационарная» классификация при анализе эволюции модельных рядов

автомобильных концернов позволяет отслеживать тенденции автомобилестроения и прогнозировать их перспективы.

При идентификации и определении инноваций особую актуальность приобретают терминологические вопросы. При выявлении инновационного объекта техники необходима четкая связь как терминологии с эволюцией данных технических объектов с классификаторами МПК и МКПО, так и терминологии используемой в описаниях к патентам на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, которые широко используются при защите интеллектуально-промышленной собственности на конструкции и дизайн автомобилей.

Эвристическая классификация кузовов легковых автомобилей позволяет внести ясность при создании или идентификации новых типов кузовов. Пример – «инновационный» термин «купе-седан», предложенный маркетингологами концерна *Daimler* в 2003 г. для кузова модели *Mercedes-Benz CLS (Vision CLS – концепт)*, в реальности являющегося седаном-фастбеком (один из первых прототипов – ГАЗ-М20 «Победа», СССР, 1946 г.). Данный факт не является следствием неспособности компании создать автомобиль с новым типом кузова. Причина стремления к «псевдоинновациям» менеджмента *Daimler* в другом: целевая аудитория этой марки в большей степени, чем у других марок, не склонна к радикализму при выборе типа кузова. Таким образом, «де-факто» тип кузова новым не был, однако ореол новизны модели в прессе был успешно создан путем манипуляции с терминологией.

Фирма *Renault*, среднестатистический клиент которой на 15–20 лет моложе клиента концерна *Daimler*, напротив, пошла на эксперимент, создав уникальный серийный автомобиль *Renault Avantage* с мощными двигателями. Производитель утверждал, что он является сочетанием однообъемника, купе и кабриолета. Модель находилась в продаже с 2000 года не более 3 лет, не оставив преемника. Возможная

причина – большие боковые двери, неудобные в эксплуатации, несмотря на инновационную кинематику их открывания; небольшой багажник при значительных габаритах автомобиля и высокая цена. Также эксперты выражали мнение, что сочетание нескольких типов кузовов уступает каждому типу кузова в отдельности. Вывод: инновации, усложняющие конструкцию автомобиля и повышающие его себестоимость без функциональных преимуществ, приводят к созданию продукции в бесперспективных нишах.

Концерн «General Motors» в 1989–1996 годах выпускал минивэн *Pontiac Trans Sport* с передовым дизайном и кузовными панелями из полимерных материалов. В 1996 г. модель заменена минивэном с традиционным дизайном и цельнометаллическим кузовом. Возможные причины – нерентабельность производства «полимерных» кузовов при требуемых объемах производства данной модели свыше 300 тыс. шт. в год. Вывод: при внедрении инноваций необходимо учитывать технологические возможности, которые не должны лимитировать объемы сбыта продукции.

Предложен подход для решения задач систематизации и прогнозирования направлений инновационного развития объектов техники с помощью эвристических классификаций. Приведены примеры использования эвристических

классификаций для прогнозирования инновационных решений в автомобилестроении. Аргументирована необходимость внесения ясности в вопросы терминологии при выявлении инновационных решений. Приведены конкретные примеры безуспешных инноваций и успешных «псевдоинноваций» в автомобилестроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы инновационного менеджмента : учеб. пособие / под ред. В. В. Коссова. – М.: Магистр, 2009. – 429 с.
2. Классификаторы МКТУ, УДК, МПК, МКПО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fips.ru>.
3. Инновационный менеджмент : учеб. пособие / под ред. Л. Н. Оголевой. – М., 2009. – 238 с.
4. Одрин, В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М.: ВНИИПИ, 1989. – 312 с.
5. Рот, К. Конструирование с помощью каталогов / К. Рот. – М.: Машиностроение, 1995. – 420 с.
6. Андрейчиков, А. В. Компьютерная поддержка изобретательства / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998. – 472 с.
7. Гхош, К. П. Сравнительный анализ Case-средств / К. П. Гхош, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 35–39.
8. Хорычев, А. А. Эвристическая классификация легковых автомобилей / А. А. Хорычев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2008. – 75 с.

УДК.681.3.001.005:

С. Н. Бориско, И. Н. Васильев, В. И. Лобейко

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО CASE-СРЕДСТВА В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

Астраханский государственный университет

E-mail: boris62ko@gmail.com

В статье предложена концепция выбора оптимального CASE средства для разработки программного обеспечения информационных систем.

Ключевые слова: программное обеспечение, информационная система, CASE-технология, методология, генератор кода.

S. N. Borisko, I. N. Vasiliev, V. I. Lobeyko

OPTIMIZATION OF THE CHOICE OBJECT-ORIENTED CASE-FACILITY IN LIFE CYCLE OF THE PROGRAMME PRODUCT

Astrakhan State University

Concept of the choice optimum CASE facility is offered in article for software development of the information systems.

Keywords: software, information system, CASE-technology, methodology, generator of the code.

Введение

Аббревиатура CASE расшифровывается как Computer Aided Software Engineering. CASE-технологии подразумевают процесс разработки

сложных информационных систем (ИС) в целом: создание и сопровождение ИС, анализ, формулировка требований, проектирование прикладного программного обеспечения (ПО) и баз

данных, генерация кода, тестирование, документирование, обеспечение качества, конфигурационное управление и управление проектом, а также другие процессы. Таким образом, CASE-технологии образуют целую среду разработки ИС.

Главные составляющие CASE-продукта таковы:

- *методология* (Method Diagrams) – задает единый графический язык и правила работы с ним;
- *графические редакторы* (Graphic Editors) – помогают рисовать диаграммы;
- *генератор* – по графическому представлению модели можно сгенерировать исходный код для различных платформ (так называемая low case часть CASE-технологии).

- *репозиторий* – своеобразная база данных для хранения результатов работы программистов.

На данный момент в технологии разработки ИС существуют два основных подхода, отличающиеся критериями декомпозиции: функционально-модульный (структурный) и объектно-ориентированный [1]; однако наблюдается тенденция переориентации инструментальных средств, созданных для структурных методов разработки, на объектно-ориентированные методы, что объясняется следующими причинами:

- возможностью сборки программной системы из готовых компонентов, которые можно использовать повторно;
- возможностью накопления проектных решений в виде библиотек классов на основе механизмов наследования;
- простотой внесения изменений в проекты за счет инкапсуляции данных в объектах;
- быстрой адаптацией приложений к изменяющимся условиям за счет использования свойств наследования и полиморфизма;
- возможностью организации параллельной работы аналитиков, проектировщиков и программистов.

Функционально-модульный подход основан на принципе алгоритмической декомпозиции с выделением функциональных элементов и установлением строгого порядка выполняемых действий, а *объектно-ориентированный* – на объектной декомпозиции с описанием поведения системы в терминах взаимодействия объектов.

Выбор концепции

Главным недостатком функционально-модульного подхода является однонаправлен-

ность информационных потоков и недостаточная обратная связь. В случае изменения требований к системе он приводит к полному перепроектированию, поэтому ошибки, заложенные на ранних этапах жизненного цикла, сильно сказываются на продолжительности и стоимости разработки. Другой важной проблемой является неоднородность информационных ресурсов, используемых в большинстве информационных систем.

Концепции объектно-ориентированного подхода и распределенных вычислений [2] стали базой для создания консорциума Object Management Group (OMG), членами которого являются более 500 ведущих компьютерных компаний (Sun, DEC, IBM, HP, Motorola и др.). Основным направлением деятельности консорциума является разработка спецификаций и стандартов для создания распределенных объектных систем в разнородных средах. Базисом послужили спецификации под названием Object Management Architecture (OMA). OMA состоит из четырех основных компонентов, представляющих спецификации различных уровней поддержки приложений:

- архитектура брокера запроса объектов (CORBA: Common Object Request Broker Architecture) – определяет механизмы взаимодействия объектов в разнородной среде;
- объектные сервисы (Object Nil vices) – являются основными системными сервисами, используемыми разработчиками для создания приложений;
- универсальные средства (Common Facilities) – являются высокоуровневыми системными сервисами, ориентированными на поддержку пользовательских приложений (электронная почта, средства печати и др.);
- прикладные объекты (Application Object) – предназначены для выполнения конкретных прикладных задач.

Исходя из основных положений объектно-ориентированного подхода, рассмотрим концепцию оптимального объектно-ориентированного CASE-средства. Существуют несколько объектно-ориентированных методов [3, 4]; авторами наиболее распространенных из них являются Г. Буч, Д. Рамбо, И. Джекобсон. В настоящее время наблюдается процесс сближения объектно-ориентированных методов. В частности, указанные выше авторы создали и выпустили несколько версий унифицированного метода UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования).

Классическая постановка задачи разработки программной системы (инжиниринг) представляет собой спиральный цикл итеративного чередования этапов объектно-ориентированного анализа, проектирования и реализации (программирования).

В реальной практике в большинстве случаев имеется предыстория в виде совокупности разработанных и внедренных программ, которые целесообразно использовать при разработке новой информационной системы. Процесс проектирования в таком случае основан

на реинжиниринге программных кодов, при котором путем анализа текстов программ восстанавливается исходная модель программной среды.

Современные CASE-средства поддерживают процессы инжиниринга и автоматизированного реинжиниринга.

Оптимальное объектно-ориентированное CASE-средство должно содержать четыре основных блока: анализ, проектирование, разработка и инфраструктура. Характеристики этих блоков представлены в таблице.

Анализ		Проектирование	Реализация
Возможность добавлять пояснительные надписи к диаграммам и в документацию	Возможность создавать различные представления и скрывать ненужные в данный момент слои системы	Возможность просматривать и выбирать элементы и бизнес-объекты для использования в системе	Возможность генерировать заготовки программного кода на нескольких объектно-ориентированных языках
Среда для создания диаграмм разнообразных моделей		Возможность создания пользовательского интерфейса (поддержка OLE, ActiveX, Open Doc, HTML)	Возможность проверки кода на синтаксическую корректность
Поддержка различных нотаций	Возможность динамического моделирования событий в системе	Возможности определения бизнес-модели и бизнес-правил	Возможность генерировать код для 4GL и клиент-серверных продуктов (Power Builder, Forte, Visual Age, Visual Works)
Возможность генерации документации для печати	Возможность динамической коррекции одной диаграммы из другой	Возможность связи с объектно-ориентированными базами данных и распределенными модулями (поддержка COBRA, DCOM, HOP, HTML)	
Инфраструктура			
Контроль версий. Блокирование и согласование частей системы при групповой разработке		Репозиторий	Возможность реинжиниринга программного кода, 4GL, клиент-серверных систем в диаграммы моделей

Различные статистические обзоры свидетельствуют сегодня об эффективности применения CASE-средств в процессе разработки программного продукта. Однако процент неудач все же существует и довольно велик. Кроме того, существуют недостатки применения CASE-технологий, особенно с точки зрения финансовой отдачи:

- CASE-средства не обязательно дают немедленный эффект, он может быть получен только спустя какое-то время;
- реальные затраты на разработку и внедрение CASE-средств обычно намного превышают затраты на их приобретение;
- CASE-средства обеспечивают возможности для получения существенной выгоды только после успешного завершения процесса их внедрения.

Ввиду разнообразной природы CASE-средств было бы ошибочно делать какие-либо безого-

ворочные утверждения относительно реального удовлетворения тех или иных ожиданий от их внедрения. Можно перечислить следующие факторы, усложняющие определение возможного эффекта от использования CASE-средств:

- широкое разнообразие качества и возможностей CASE-средств;
- относительно небольшое время использования CASE-средств в различных организациях и недостаток опыта их применения;
- широкое разнообразие в практике внедрения различных организаций;
- отсутствие детальных метрик и данных для уже выполненных и текущих проектов;
- широкий диапазон предметных областей проектов;
- различная степень интеграции CASE-средств в различных проектах.

Вокруг определения эффективности использования CASE-технологий бытует два

мнения: первое, что реальная выгода от использования некоторых типов CASE-средств может быть получена только после одно-двухлетнего опыта их использования и второе, что положительное воздействие может реально проявиться в фазе эксплуатации жизненного цикла ИС, когда технологические улучшения приведут к снижению эксплуатационных затрат.

Только пройдя нелегкий путь изучения рекомендаций по внедрению, анализу организации, бизнес-рекомендаций, удачно используя CASE-технологии в процессе разработки ПО ИС, группа разработчиков сможет получить ряд преимуществ созданной системы:

- высокий уровень технологической поддержки процессов разработки и сопровождения ПО;
- положительное воздействие на некоторые или все из перечисленных факторов: производительность, качество продукции, соблюдение стандартов, документирование;
- приемлемый уровень отдачи от инвестиций в CASE-средства.

Сравнительный анализ CASE-технологий показывает, что на сегодняшний день одним из наиболее приближенных к оптимальному варианту CASE-средств является семейство Rational Rose фирмы Rational Software Corporation [5]. Конкретный вариант Rational Rose определяется языком, на котором генерируются коды программ (C++, Smalltalk, PowerBuilder, Ada, SQLWindows и ObjectPro). Основным вариант –

Rational Rose/C++ – позволяет разрабатывать проектную документацию в виде диаграмм и спецификаций, а также генерировать программные коды на C++. Кроме того, Rational Rose содержит средства реинжиниринга программ, обеспечивающие повторное использование программных компонент в новых проектах.

Вывод

Таким образом, можно выделить основные критерии оценки и выбора CASE-средств:

- 1) функциональные характеристики (среда функционирования; функции, ориентированные на фазы жизненного цикла и общие функции, такие как документирование, управление конфигурацией, управление проектом);
- 2) надежность;
- 3) сопровождаемость;
- 4) переносимость.

Кроме того, общими критериями являются: стоимость, затраты и эффект внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллод. – Феникс, 2009.
2. Скотт, К. UML. Основные концепции / К. Скотт. – М.: Вильямс, 2002. – 144 с.
3. Якобсон, А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.
4. Ройс, У. Управление проектами по созданию программного обеспечения. Унифицированный подход / У. Ройс. – М.: ЛОРИ. – 2002.
5. Боггс, У. UML и Rational Rose: пер. с англ. / У. Боггс, М. Боггс. – М.: ЛОРИ, 2000. – 581 с.

УДК 519.2, 681.3

Ю. М. Брумштейн, М. И. Иванова

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ОПИСЫВАЕМЫХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ВРЕМЕННЫМИ РЯДАМИ

Астраханский государственный университет

E-mail: brum2003@mail.ru, maivam@mail.ru

Рассмотрены примеры процессов, описываемых взаимосвязанными временными рядами (ВВР). Исследованы возможности и ограничения существующих методов в отношении анализа/прогнозирования ВВР, предложены их модификации. Обоснована целесообразность подхода, основанного на анализе характеристик траекторий изображающей точки в многомерном пространстве. Описан набор таких характеристик, представлены расчетные формулы для их количественных оценок.

Ключевые слова: временные ряды, динамика процессов, параметры взаимосвязей, управление процессами, многомерные траектории, характеристики траекторий, количественная оценка.

J. M. Brumshteyn, M. V. Ivanova

THE RESEARCH METHODS ANALYSIS OF THE PROCESSES, DESCRIBED BY INTERCONNECTED TIME SERIES

The Astrakhan State university

Examples of the processes described by interconnected time series (ITS) are considered. Possibilities and restrictions of existing methods concerning analysis/forecasting ITS are investigated, their modifications are offered. The expediency of the approach based on the trajectories characteristics analysis of the representing point in multidimensional space is proved. The set of such characteristics is described, calculating formulas for their quantitative estimations are represented.

Keywords: time series, process dynamics, interrelations parameters, process management, multidimensional trajectories, characteristics of trajectories, a quantitative estimation.

Исследование и прогнозирование различных процессов на основе временных рядов (ВР) – одно из важных направлений анализа данных в различных сферах деятельности. Однако большинство работ посвящено автономным ВР. Для взаимосвязанных ВР (ВВР) методы исследования и прогнозирования разработаны слабо. Поэтому в статье ставились следующие цели: исследовать возможности/ограничения существующих подходов к анализу/прогнозированию ВВР; описать новую методику и показать ее дополнительные функциональные возможности по сравнению с существующими методами; в рамках данной методики предложить расчетные формулы для оценки некоторых характеристик ВВР; оценить содержательный смысл и потенциальную полезность использования этих характеристик для целей анализа/прогноза ВВР.

Свойства и некоторые примеры процессов, описываемых ВВР

Классификацию совокупности процессов, описываемых ВВР, можно выполнить по нескольким направлениям:

A1 – процессы могут носить неуправляемый или управляемый характер. В последнем случае могут быть актуальны задачи оценки качества и эффективности управления процессами.

A2 – отдельные процессы могут быть строго периодическими, квазипериодическими, аperiodическими.

A3 – процессы, входящие в совокупность ВВР, могут иметь одинаковую или разную периодичность ВР; причем в общем случае каждый из процессов может включать несколько «колебаний» с разными периодами.

A4 – для ВВР возможны запаздывания по времени одних процессов по отношению к другим, причем величины таких запаздываний в общем случае могут меняться во времени.

Отметим особенности показателей во ВВР:

B1 – их величины могут быть представлены в одинаковых или разных единицах измерений.

B2 – средние точности значений показателей (абсолютные и/или относительные) в разных ВР могут отличаться. Кроме того, эти точности могут меняться на разных участках одного и того же ВР.

B3 – значения показателей могут быть известны для общей по всем ВВР временной сетке или для разных ВР моменты измерений (оценки) показателей могут отличаться.

B4 – временные сетки для ВР могут быть равномерными или неравномерными по време-

ни. Возможны также ВР на равномерных сетках с пропущенными значениями.

B5 – значения параметров во ВР могут быть положительными, отрицательными, нулевыми.

B6 – для комплексных чисел ВР могут быть заменены на пары временных рядов (для действительной и мнимой частей).

Приведем некоторые примеры процессов для ВВР):

C1 – курсы зарубежных валют по отношению к рублю, устанавливаемые Центробанком России и коммерческими банками (в последнем случае курсы покупки и продажи – это разные ВР). Эти ВР могут быть дополнены еще некоторыми рядами: объемы покупки/продажи валют Центробанком; показатели инфляции; объемы ввоза/вывоза капитала из страны и пр. При этом курсы валют устанавливаются ежедневно (кроме праздничных дней), объемы ее покупки/продажи также известны за сутки. Остальные показатели обычно оцениваются еженедельно.

C2 – курсы акций различных фирм – усредненные за день или за час, на момент открытия/закрытия биржи и пр. Для целей анализа эти ВР могут быть дополнены курсами валют, биржевыми индексами и пр.

C3 – изменение во времени численности (плотности) взаимодействующих биологических популяций (на основе экспериментальных данных или теоретических моделей [9, с. 107–113], в том числе и с включением в них стохастических факторов).

C4 – показатели функционирования сердечно-сосудистой системы человека, его дыхания и пр.

C5 – значения биопотенциалов человека, получаемые синхронно при многоканальной электрокардиографии, электроэнцефалографии, электромиографии.

C6 – исследования/тренинг с применением стабилеографических платформ [10, с. 159–160], на которых человек находится стоя и старается поддерживать положение тела так, чтобы горизонтальная проекция центра тяжести (ГПЦТ) минимально отклонялась от заданного положения (ЗП). При этом ВВР включает два ряда – значения «х» и «у» координат ГПЦТ на ортогональных осях, пересекающихся в ЗП.

C7 – исследования с применением стабилеографических кресел. В них ВВР могут включать в себя три ряда. Два первых ряда аналогичны пункту «C6», а значения в третьем возможны различные: а) – суммарное давление на сиденье кресла (оно может быть меньше веса

тела за счет опирания рук на стол или тела на спинку кресла); б) – сила давления на спинку кресла по нормали к ее поверхности.

С8 – данные, получаемые в рамках динамометрии и баллистокардиографии.

С9 – динамика во времени инфарктов, инсультов, различных видов несчастных случаев, дорожно-транспортных происшествий и пр. Эти ВР могут быть дополнены данными по напряженности магнитного поля Земли (которое чувствительно к вспышкам на Солнце), температуре воздуха, скорости ветра и пр.

С10 – динамика потребления электроэнергии различными объектами, в том числе и не связанными в производственном отношении друг с другом.

С11 – задачи мониторинга во времени посещаемости для совокупности сайтов [1, с. 31].

С12 – динамика изменения во времени рейтингов поисковых систем в Рунете [8, с. 60].

С13 – результаты мониторинга содержания в воздухе нескольких токсических веществ (в единственной или нескольких пространственных точках) [6, с. 49].

Если данные во всех ВВР известны на общей временной сетке с постоянным шагом по времени, то можно задать лишь ее шаг (например, для процессов по пунктам «С6» и «С7» это обычно 0,02 с). Если временная сетка для всех ВР общая, а шаг по времени непостоянен, то нужен дополнительный ряд с временными координатами для показателей. Если временные сетки для показателей во ВР различны, то для каждого показателя нужен дополнительный ряд, задающий моменты времени отсчетов.

Цели, возможности и ограничения существующих подходов, применяемых для анализа/прогнозирования ВВР

Основными целями исследования (анализа) ВВР могут быть: выявление трендов и периодичностей для процессов, описываемых ВВР; определение степеней взаимосвязей процессов – между парами ВР и для всего ансамбля ВВР в целом; оценка сил влияния стохастических факторов; иногда – калибровка коэффициентов в системах обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ), сопоставляемых ВВР. Целью прогнозирования на основе ВВР является получение взаимосвязанных совокупностей показателей в будущие моменты времени, что нужно для принятия адекватных решений. В данной статье делается акцент на вопросах анализа ВВР.

Считается, что методы анализа одиночных ВР наиболее полно разработаны в сфере эконометрии. При этом каждый ВР обычно рассматривается как совокупность трендовой зависимости (чаще всего – линейной), периодической компоненты (чаще всего, только одной) и некоторых случайных колебаний. Большое значение уделяется вопросам «автокоррелированности» ВР, исключения трендов при анализе коррелированности и пр. Однако некоторые практически важные вопросы остаются исследованными недостаточно полно. Это особенно касается ВВР.

Большинство существующих методов анализа/прогнозирования рассчитаны на ВР с общей временной сеткой. Если эти сетки для ВР различны, то для приведения значений в каждом из ВР к общим моментам времени нужна одномерная интерполяция. Обычно предпочтительно использование не линейной интерполяции, а одномерных интерполяционных кубических сплайнов [3, с. 22]. Для трехмерных ВР возможна сплайн-интерполяция в областях типа параллелепипеда [3, с. 42]. При большом числе точек в одномерном ВР использование общего сплайна на весь ряд требует решения системы линейных уравнений большой размерности. Поэтому могут быть полезны «локальные» сплайн-интерполяции. Применение «сглаживающих сплайнов» (не проходящих через экспериментальные точки во ВР) снижает влияние результатов стохастических воздействий. Последняя цель может быть достигнута также традиционным методом сглаживания ВР – за счет использования «скользящих окошек» [7, с. 245] с различными весовыми схемами для значений в окошках.

При явно выраженном временном запаздывании/опережении одних ВР по отношению к другим для целей корреляционного и регрессионного анализа может быть целесообразным предварительный сдвиг ВР для их «синхронизации» – как альтернатива проведения таких видов анализа на основе исходных ВВР. Это может быть полезным и для многомерных методов статистического анализа (см. далее).

Для неравноточных данных при использовании метода наименьших квадратов для построения многомерных регрессионных уравнений (МРУ) для данных могут быть заданы весовые коэффициенты – например, обратно пропорциональные их точности. Для ВР с данными, относящимися к неравномерным по длине

интервалам (в том числе с усреднением по ним), весовые коэффициенты можно взять пропорционально длинам этих интервалов.

Рассмотрим теперь некоторые существующие подходы к анализу/прогнозированию ВР и возможные направления их модификации:

D1 – простейшие прогнозы (включая так называемый наивный) могут осуществляться на основе усреднения предшествующих значений показателя в каждом ВР (однако они неточны). При построении регрессионного уравнения (РУ), описывающего поведение конкретного ВР, в качестве «переменной-аргумента» обычно используется время. Для ВВР по каждому из показателей могут быть построены МРУ, учитывающие значения не только из «своего» ВР, но и из других. При этом могут применяться: перекрестные произведения аргументов; аргументы «с запаздыванием» и пр. Поэтому получение МРУ для ВВР сложнее обычных регрессионных процедур [4, с. 91], например, пошаговой регрессии.

D2 – метод «главных факторов» [4, с. 178] позволяет перейти от «натуральных» показателей во ВР к «синтетическим», являющимся линейными комбинациями «натуральных» – с уменьшением общего числа показателей (с небольшой потерей объемов информации). При этом МРУ по ВР могут быть построены на основе «главных факторов».

D3 – коэффициенты парной корреляции (КПК) по Пирсону [7, с. 140] позволяют оценить лишь линейные связи между двумя ВР. Коэффициенты множественной корреляции (КМК) и конкордации могут оценивать взаимосвязи всего «ансамбля» ВР в ВВР. Альтернатива – оценка взаимосвязей по средним значениям КПК (СЗ КПК), полученным по нижнему треугольнику матрицы КПК между всеми ВР.

D4 – частотный спектр каждого ВР может определяться методами спектрального анализа рядов [7, с. 230], [8, с. 300]. Для оценки степени совпадения частотных спектров ВР по наборам в них амплитуд гармоник (видимо, только низкочастотных – для исключения влияния экспериментальных шумов), могут быть подсчитаны КПК между этими наборами, СЗ КПК, КМК и коэффициенты конкордации.

D5 – если в двух сравниваемых ВР преобладает по одной гармонике с одинаковыми частотами, то задача определения «времени запаздывания/опережения» между колебаниями в них может решаться, например, путем оценки

КПК при различных временных сдвигах одного из ВР по отношению к другому. Как альтернатива, в [7, с. 223] обоснована целесообразность использования «фиксированного отрезка первого ряда» и «равноразмерных отрезков второго ряда», получаемых последовательным сдвигом «временного окна». Для организации сдвигов меньших, чем шаг сетки ВР по времени, возможно использование интерполированных значений – например, на основе интерполяционных сплайнов. «Время запаздывания» будет соответствовать наибольшему КПК между двумя ВР при сдвиге. Понятно, что такой подход целесообразен: только если амплитуда периодических колебаний во ВР достаточно велика; после исключения из ВР трендовых зависимостей [7, с. 222].

D6 – методы, основанные на «калибровке» коэффициентов в СОДУ, описывающих процессы, представленные ВВР [2, с. 229]. При этом вид уравнений в СОДУ может быть выбран различно; количество коэффициентов в СОДУ может не совпадать с количеством ВР; сами коэффициенты могут изменяться непрерывно; часть калибруемых коэффициентов может характеризовать запаздывания по времени между ВР. Для этого метода мы фактически имеем дискретно-непрерывную задачу оптимизации, с критерием оптимальности типа «сумма квадратов отклонений расчетных значений показателей, полученных на основе решения СОДУ от фактических значений» для совокупности ВР.

D8 – методы экспертного прогнозирования (оценивания): эффективны для плохо формализуемых задач.

Некоторые задачи исследования ВВР (особенно для процессов периодического и квазипериодического характера, в том числе с запаздываниями ВР) существующими методами анализировать сложно. Поэтому ниже авторами описывается новый методический подход, более продуктивный для них.

Анализ ВВР с представлением их виде многомерных траекторий

Пусть ВВР за период времени T являются набором I ВР, каждый из которых содержит J данных одинаковой размерности для совпадающих по времени точек, то есть $\{U_{i,j}\}_{j=1...J}\}_{i=1...I}$ и $T = (J-1) \cdot \Delta t$. Примем, что для момента времени с $j = j^*$ набор значений $\{U_{i,j^*}\}_{i=1...I}$ задает положение «изображаю-

щей точки» (ИТ) в пространстве параметров (ПП) с размерностью I и взаимно ортогональными осями. Перемещение ИТ между двумя последовательными моментами времени, представим вектором с I компонентами. Совокупность $J-1$ таких векторов определяет многомерную траекторию (МТ) для ИТ в ПП. Если для всех I ВР данные периодичны (но не обязательно синусоидальны), а периоды одинаковы, то МТ в ПП будет замкнутой, а ИТ будет полностью проходить МТ за один период. Помимо МТ в виде ломаной линии, могут рассматриваться и сглаженные МТ, в том числе в виде интерполяционных сплайнов. Для МТ можно оценить ряд характеристик – как на ее отдельных участках, так и для траектории в целом. Сначала рассмотрим «локальные» характеристики.

Для равномерных по времени ВВР с шагом Δt , вектора смещения ИТ за Δt в компонентной форме представим как

$$\{\Delta U_{i,(j,j+1)}\}_{i=1...I} = \{U_{i,j+1} - U_{i,j}\}_{i=1...I}. \quad (1)$$

Если данные во ВР измерены в одинаковых единицах, то отношение длины вектора смещения ИТ $D_{(j,j+1)}$ к Δt определяет скорость смещения ИТ

$$D_{j,j+1} = \sqrt{\sum_{i=1}^I (\Delta U_{i,(j,j+1)})^2}; \quad V_{j,j+1} = D_{j,j+1} / \Delta t \quad (2)$$

Например, для задач типа **С2** величина $V_{j,j+1}$ дает обобщенную оценку скорости увеличения/падения стоимости набора акций нескольких фирм (по которым используются ВР) во времени. Для обеспечения «инвариантности» показателей (2) в отношении выбранной размерности ПП может быть целесообразным нормирование на I

$$D_{j,j+1}^* / I; \quad V_{j,j+1}^* = (D_{j,j+1}^* / \Delta t) \quad (3)$$

Например, если для задач типа **С2** выполняется сопоставительный анализ динамики курсов «совокупностей акций нескольких фирм» с разным количеством фирм в совокупностях, то целесообразно нормирование по (3), так как показатели $D_{j,j+1}$, $V_{j,j+1}$ в общем случае растут с ростом размерности ВВР.

При усреднении скоростей ИТ на МТ по «левой» и «правой» разностям

$$V_{j(A)} = (V_{j-1,j} + V_{j,j+1}) / 2; \\ V_{j(A)}^* = (V_{j-1,j}^* + V_{j,j+1}^*) / 2. \quad (4)$$

Угол поворота вектора $D_{j,j+1}$ по отношению к вектору $D_{j-1,j}$ в точке j (обозначим как $R_j^{(\text{радиан})}$) показывает, насколько меняется «направленность изменений», оцененная по совокупности показателей во ВВР. При этом значение $R_j^{(\text{радиан})}$, близкое к нулю, можно интерпретировать как локальное сохранение «тенденции изменений» показателей на определенном участке МТ. И, наоборот, большие значения $R_j^{(\text{радиан})}$ говорят о смене тенденции, что может быть важным для задач типа **С3** и некоторых других. Для оценки угла $\Omega_j^{(\text{радианы})}$ между $D_{j,j+1}$ и $D_{j-1,j}$ в треугольнике, образуемом отрезками $D_{j-1,j}$, $D_{j,j+1}$, $D_{j+1,j-1}$, используем, согласно [7, формулы (1.11–2) на стр. 51]

$$(D_{j+1,j-1})^2 = (D_{j-1,j})^2 + (D_{j,j+1})^2 - \\ - 2D_{j-1,j}D_{j,j+1} \cos(\Omega_j^{(\text{радианы})}). \quad (5)$$

Выразим из (5) « $\Omega_j^{(\text{радианы})}$ » и перейдем к $R_j^{(\text{радиан})}$ по

$$R_j^{(\text{радианы})} = \pi^{(\text{радианы})} - \Omega_j^{(\text{радианы})}. \quad (6)$$

Для нормированных по (3) и усредненных по (4) значений методика расчета $R_j^{(\text{радиан})}$ аналогична. Ускорение ИТ вдоль МТ (W_j) для точки j (темп изменения скорости ИТ на МТ) важно при анализе некоторых медико-биологических процессов и, в частности, задач типа **С4** и **С5**. Оценим W_j по

$$W_j = (V_{j,j+1} - V_{j-1,j}) / \Delta t. \quad (7)$$

Возможны также аналоги формулы (7) для нормированных по (3) и усредненных по (4) значений во ВВР.

Рассмотрим теперь общие характеристики для всей МТ. Для отдельных ВР важен размах вариации, представляющий собой разницу между максимальным и минимальным значениями. Для i -го ВР – это

$$\{R_i^{(V)} = \max_j (U_{i,j}) - \min_j (U_{i,j})\}_{i=1...I}. \quad (8)$$

Для МТ аналогом (8) может быть объем многомерного параллелепипеда

$$R_*^{(V)} = \prod_{i=1}^I R_i^{(V)}. \quad (9)$$

Приведем примеры использования (9). Для двумерных задач стабилографии (задача **С6**)

формула (9) дает площадь прямоугольника, в который вписана МТ. Чем эта площадь меньше, тем лучше испытуемый управляет своим телом. Для задач динамики популяций (задача С3), чем меньше $R_*^{(V)}$, тем соотношение видов в популяции более стабильно во времени. Для задач со сдвигами ВР относительно друг друга (9) может давать некоторую суммарную оценку сдвига совокупности ВР, представленных ВВР, так как $R_*^{(V)} = 0$ при одинаковых формах колебаний во всех ВР и нулевом сдвиге.

Суммарную длину МТ (D^+) и среднюю скорость движения ИТ по ней ($V^{+(\text{cp.})}$) оценим как

$$D^+ = \sum_{j=1}^{J-1} D_{j,j+1}; \quad V^{+(\text{cp.})} = D^+ / T. \quad (10)$$

Можно считать, что величина $V^{+(\text{cp.})}$ оценивает лабильность совокупности процессов (например, в биопопуляциях – задача С3), описываемых ВВР. Для задач типа С6 величина $V^{+(\text{cp.})}$ является важной характеристикой, связанной с временем запаздывания в цепочке биологической обратной связи. Для управляемых аperiодических процессов величина $R_{(1,J)}$

$$R_{(1,J)} = D_{1,J} / D^+; \quad D_{1,J} = \sqrt{\sum_{i=1}^I (U_{i,1} - U_{i,J})^2} \quad (11)$$

полезна для оценки качества управления процессом перехода от первой точки МТ к последней (чем $R_{(1,J)}$ ближе к «1», тем это качество лучше).

Суммарный угол поворота векторов смещений ИТ в точках ВВР

$$B^{(\text{cp.})} = \sum_{j=1}^{J-1} |R_j^{(\text{радиан})}| \quad (12)$$

для периодического процесса (замкнутая МТ) целесообразно сопоставлять с минимально возможным значением $B_{\min}^{(\text{cp.})}$. Для плоской кривой, то есть двумерного ВВР, $B_{\min}^{(\text{cp.})} = 2\pi$ радиан. Чем больше параметры

$$R^{(B1)} = B^{(\text{cp.})} / B_{\min}^{(\text{cp.})};$$

$$R^{(B2)} = (B^{(\text{cp.})} - B_{\min}^{(\text{cp.})}) / B_{\min}^{(\text{cp.})}, \quad (13)$$

тем траектория менее гладкая. Показатели (13) для ряда задач могут служить некоторой мерой «силы влияния» стохастических факторов.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) значения скорости ИТ вдоль МТ за время T и соответствующий показатель вариации

$$Y = \sqrt{\left(\sum_{j=2}^{J-1} (V_j - V^{+(\text{cp.})})^2 \right) / (J-3)};$$

$$V^{(Y)} = (Y / V^{+(\text{cp.})}) * 100 \% \quad (14)$$

для аperiодических процессов можно считать связанными с оценкой «нестабильности тенденций». Можно также считать, что близкие к нулю значения показателей (14) обычно говорят не только об однонаправленности процессов, но и об их приблизительно постоянной «скорости во времени».

Если ВВР описывает квазипериодический процесс или такое описание получено путем «вычитания» из ВР трендов, то можно дополнительно оценить еще некоторые характеристики МТ. Пусть в период T укладывается N «циклов колебаний» длительностью M шагов по времени каждый:

$$T = N * M * (\Delta t). \quad (15)$$

Продолжительность цикла иногда может быть задана априорно. Например, для задач типа С10 это могут быть сутки, неделя (с оговорками – год).

При квазипериодических процессах для одномерных ВР возможно получение усредненной формы колебания показателя за цикл. Эта процедура может быть обобщена и на МТ – с построением усредненной МТ (УМТ) за совокупность периодов и вычислением показателей разброса МТ от УМТ. При наличии трендов во ВР их целесообразно «вычитать» до определения УМТ, так как тренды приводят к направленному смещению «центров» УМТ по мере увеличения номера цикла. Для траектории такого смещения в принципе могут быть оценены характеристики, аналогичные приведенным ранее.

За период весь период T УМТ в виде совокупности $\{\{A_{i,k}\}_{m=1 \dots M}\}_{i=1 \dots I}$ найдем как средние арифметические положений ИТ на N циклах:

$$\left\{ A_{i,m} = \left(\sum_{n=1}^N U_{i,(n-1)*M+m} \right) / N \right\}_{i=1 \dots I}. \quad (16)$$

Полученную форму УМТ можно использовать для прогнозирования при периодических процессах, так как МРУ в этом случае часто неэффективны. Преимуществом, по сравнению с существующими методами прогноза, является то, что УМТ может иметь произвольный (сложный) характер. Затем к полученным таким образом предварительным прогнозам должны быть добавлены «вычтенные» ранее тренды.

Для МТ в целом СКО по отношению к УМТ

$$Z = \sqrt{\left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I (A_{i,m} - U_{i,(n-1)*M+m})^2 \right) / (J-1)} \quad (17)$$

может служить показателем отличия процесса от стационарности. Альтернативная возможность, в виде нахождения взвешенного среднего значения для всех «СКО от средних значений в каждой точке МТ», может быть полезна, если разным точкам УМТ соответствует неодинаковое количество экспериментальных точек – например, при ВР с пропусками. Показатель типа «средний коэффициент вариации» можно получить усреднением оценок коэффициентов вариации по всем точкам УМТ.

Периодический процесс, описываемый ВВР, кроме «УМТ в виде ломаной линии» можно наглядно представить в виде «многомерной трубки», внутри которой располагаются все МТ за совокупность циклов. При этом «толщина» трубки по длине УМТ может быть различной. Эта «толщина» определяется разбросами значений показателей, соответствующих разным циклам колебаний, в отдельных точках УМТ. Для задач с двумя параметрами (не считая времени) «толщина» трубки соответствует размеру отрезка перпендикулярного УМТ, для трех параметров – «площади сечения» трубки и так далее. Таким образом, при прогнозировании для конкретного момента цикла возможный разброс для прогнозных показателей в простейшем случае можно оценить, исходя из локальной «толщины» трубки.

При сравнении Z , как показателей нестационарности ансамблей ВР, для ВВР с разным количеством ВР (но одинаковыми единицами измерений показателей в них) может быть полезна нормировка Z по

$$Z^* = Z / I. \quad (18)$$

При этом Z^* можно интерпретировать как средний показатель «нестационарности» в расчете на один ВР во ВВР.

Выводы

1. Имеющиеся методы анализа ВР ориентированы преимущественно на «автономные» ВР.
2. Имеющиеся методы анализа ВР имеют ряд существенных функциональных ограничений.
3. Предложенный подход на основе «анализа характеристик многомерных траекторий» может быть применен как для периодических

(или квазипериодических), так и для аperiodических процессов.

4. Подход на основе анализа характеристик многомерных траекторий достаточно нагляден и позволяет определить ряд дополнительных характеристик ВВР.

5. Целесообразна апробация подхода на конкретных задачах с ВВР для оценки информативности предложенных расчетных характеристик МТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверченков, В. И. Мониторинг и анализ информации в Интернете / В. И. Аверченков, С. М. Рошин, Ю. М. Казаков, В. А. Шкаберин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 29–35.
2. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов : ГосУНЦ Колледж, 2005. – 320 с.
3. Василенко, В. А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы / В. А. Василенко. – Новосибирск : Наука, 1983. – 216 с.
4. Дубров, А. М. Многомерные статистические методы / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.
5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, Главная ред. физ.-мат. лит.
6. Кудряшова, Н. А. Автоматизация оценки риска заболевания людей под воздействием химических веществ в воздухе / Н. А. Кудряшова, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 49–51.
7. Кулаичев, А. П. Методы и средства комплексного анализа данных / А. П. Кулаичев. – М.: Инфра-М, 2006. – 512 с.
8. Морозов, Р. Л. Поисковые рейтинги российского Интернета / Р. Л. Морозов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 57–59.
9. Ризниченко, Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии / Г. Ю. Ризниченко. – Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 184 с.
10. Слива, А. С. Развитие методов и средств компьютерной стабильности / А. С. Слива, И. Д. Войнов, С. С. Слива // Известия ЮФУ. Технические науки. – № 9. – 2010. – С. 158–161.
11. Справочник по прикладной статистике : пер. с англ. / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, С. А. Айвазяна, Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1990. – Т. 2. – 526 с.

УДК 004.021

С. А. Быков, А. В. Еременко, А. Е. Гаврилов, В. Н. Скакунов
**АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ МАШИНАМИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex-eremenko@rambler.ru, svn@vstu.ru

В статье рассматриваются алгоритмы обработки изображений, полученных с помощью видеокамер при движении мобильных роботов. С целью выделения локальных препятствий выбран подход к распознаванию образов, основанный на алгоритмах сравнения с шаблоном. Разработано программное обеспечение для анализа изображения, использующее функции библиотеки Open CV; предложена схема взаимодействия модулей программных средств на платформе ОС Linux и реализовано микропроцессорное устройство управления системой технического зрения.

Ключевые слова: мобильный робот, система технического зрения, алгоритмы распознавания образов, микропроцессорная система управления

S. A. Bykov, A. V. Yeryomenko, A. E. Gavrilov, V. N. Skakunov

**ADAPTATION OF COMPUTER VISION ALGORITHMS SYSTEMS FOR WALKING MASHINES
CONTROL**

Volgograd State Technical University

The article deals with recognition algorithms of images, obtained from video cameras during the motion of robot. To identify local obstacles approach for pattern recognition based on pattern matching algorithms was chosen. Software for image analysis using OpenCV library was developed, a scheme of interaction between modules in OS Linux was proposed and microprocessor device for computer vision system was implemented.

Keywords: mobile robot, computer vision system, pattern recognition algorithms, microprocessor control system.

Эффективность мобильных роботов существенно возрастает при наличии систем технического зрения (СТЗ), обеспечивающего автономное поведение робота, что особенно актуально при выполнении работ в экстремальных условиях, мониторинге параметров окружающей среды и во многих приложениях в области безлюдных технологий. Использование шагающего способа передвижения дает качественный рост ряда основных эксплуатационных показателей мобильных роботов по сравнению с другими, наиболее распространенными в настоящее время, типами роботов – колесными и гусеничными движителями [1, 2].

При построении систем технического зрения основные проблемы возникают, прежде всего, при реализации различных подходов к обработке и распознаванию изображений, а также разработке алгоритмов для выделения дополнительной информации об окружающем пространстве с целью геометрического восстановления сцены.

В настоящее время находят применение самые разные способы получения изображения и математические методы их анализа [3, 4, 7]. На выбор соответствующего подхода решающее значение оказывают принятая модель окружающей среды и набор наиболее приоритетных

задач, решение которых возможно в автономном режиме работы. В представленной работе предполагается, что система нормально функционирует в обстановке, характеризующейся статической картиной объектов, относительно простыми формами объектов распознавания и отсутствием сложных фонов. При невысокой скорости перемещения шагающих машин, ограниченных вычислительных ресурсах бортовой системы управления определенное предпочтение имеет стереозрение, т. е. использование нескольких, обычно двух, видеокамер [4].

Рассматриваются возможности выбранного алгоритма распознавания и разработанных программных средств для автономной системы управления роботом, что позволяет в реальном времени обрабатывать изображение, поступающее с двух видеокамер, и находить на отображенной картине заданные объекты-реперы, т. е. объекты с особыми свойствами. В качестве объектов-реперов могут выступать локальные препятствия на пути движения шагающих машин. К ним обычно относят типовые препятствия – стену, дверной проем, лестницу, углубления или другие препятствия, которые классифицируются как запрещенная зона.

В большинстве подобных случаев для распознавания образов наиболее простые решения

дают методы сравнения с шаблоном [6, 7]. Эффект метода сравнения усиливается тем, что для реальных условий функционирования робота объекты-реперы имеют форму и объемы, которые не требуют подробной детализации, а число их в базе классификатора может быть относительно небольшим. Ограничение числа объектов распознавания не только упрощает построение классификаторов, но и обеспечивает гораздо более высокую скорость обработки в алгоритмах сравнения объектов с шаблонами, чем другие известные способы анализа изображений, при сохранении устойчивости к дефектам изображения.

Для разработки программного обеспечения использовалась библиотека Intel Open CV. Это – библиотека алгоритмов компьютерного зрения с открытым кодом [5]. Основная идея предложенного в данной работе алгоритма, использующего функции библиотеки Open CV, заключается в отсеке ненужной информации в изображении до тех пор, пока на нем не останутся

только проекции реперов, выделенных в зоне интереса (ROI). Последовательность операций при обработке изображения с двух камер представлена на рис. 1.

В процессе предварительной обработки видеоизображения с обеих камер разделяются на отдельные кадры, после чего они поступают на вход модуля распознавания. В этом модуле проводятся цветовые преобразования над каждым кадром, при помощи которых выделяются все объекты, подходящие по цвету. Изображение представляется в цветовой модели HSV и разделяется на три отдельных слоя (по параметрам цветовой модели – оттенок, яркость и насыщенность). На каждом слое выделяется репер, после чего они соединяются в одно итоговое изображение.

Для того чтобы получить информацию для системы управления роботом, необходимо на панорамном изображении установить зоны интереса (ROI – region of interest), в которых будет проводиться поиск заданных заранее объектов (рис. 1). Данный подход позволяет существенно выиграть в производительности. В то же время установка камер по двум бортам шагающей машины позволяет разными способами обрабатывать и реагировать на объекты, найденные в зонах интереса. В частности, можно на плоском изображении от каждой камеры находить локальные препятствия по двум сторонам движения робота и вместе с тем, на основе двух моноскопических изображений, построить трехмерные картины для определения реальных размеров и расстояний между объектами. Результат работы программы по поиску одного из заданных объектов для распознавания – дверной проем – можно видеть на рис. 2. Серым цветом выделена зона ROI, а параметр conformity показывает соответствие распознанного изображения шаблону – чем ближе параметр к единице, тем выше соответствие.

В результате проведенных исследований разработана программа, принимающая изображения с двух видеокамер и выделяющая на изображениях заранее определенные в классификаторе объекты. Данная система представляет собой простейшую реализацию машинного зрения. С ее помощью можно производить анализ окружающего робота рабочего пространства по локальным зонам и управлять движением робота. Однако разработанные программные средства выполняют относительно грубое сравнение участков изображения с шаблоном,

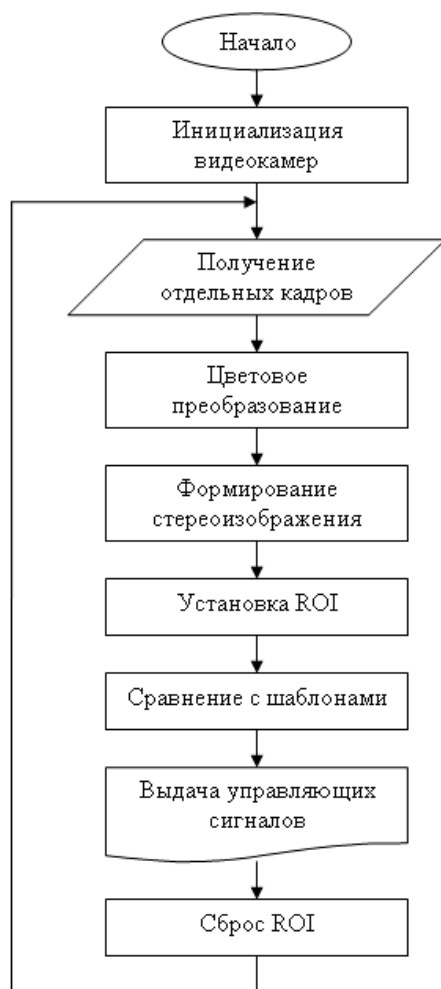


Рис. 1. Схема алгоритма обработки изображения

что обусловлено, как погрешностями, присущими самому методу, так и ограничениями на частоту кадров и скорость обработки. В последующем, с увеличением вычислительных ресурсов бортовой системы управления, следует включить в процедуру сравнения с шаблонами алгоритмы поиска локальных особенностей, такие как SURF, SIFT, PCA-SIFT или модификации этих алгоритмов [8]. В процессе работы данные алгоритмы выделяют на изображении не весь объект, а только некоторые точки, ко-

торые позволяют однозначно идентифицировать шаблон. Как правило, точки выбираются таким образом, чтобы их свойства не менялись при повороте и масштабировании объекта. Кроме того, как показали проведенные исследования, в предложенном алгоритме потребуются дополнительные меры для выделения заданных объектов на более сложном фоне, уменьшения влияния случайных помех, освещенности, несовпадения положений принятых изображений с шаблонами.

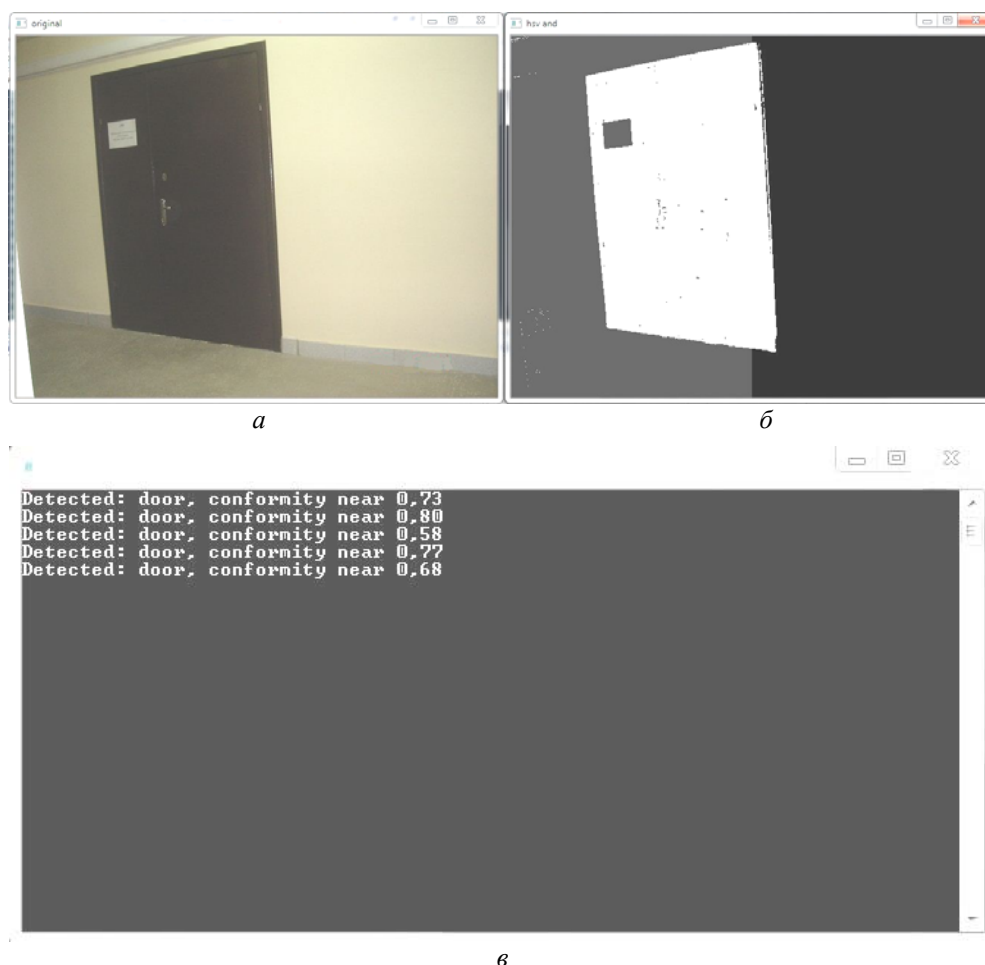


Рис. 2. Оригинальное изображение (а), результат распознавания (б) и пример выдаваемых сигналов (в)

При реализации бортовой системы компьютерного зрения (и в целом системы управления) шагающим роботом используется система на кристалле (SoC) AT91SAM9260, построенная на 32-разрядном процессорном ядре ARM9. Такой выбор обусловлен следующими требованиями к системе управления:

- достаточная производительность для обработки изображения с двух камер в реальном времени с частотой не менее 3–5 кадров в секунду;

- сетевой интерфейс LAN для взаимодействия с пультом оператора: передача команд управления, информирование оператора о текущем положении робота и визуализация окружающей обстановки для принятия решения в сложных (нетиповых) случаях;

- возможность установки операционной системы Linux с открытым исходным кодом;

- низкое энергопотребление для длительной работы от бортовых источников питания (аккумуляторных батарей);

– наличие стандартных интерфейсов: USB, RS-232 и 1-wire для подключения модуля стереозрения, периферийных контроллеров и отдельных датчиков.

На рис. 3 приведена общая структура системы управления шагающим роботом, укомплектованная модулем стереозрения.

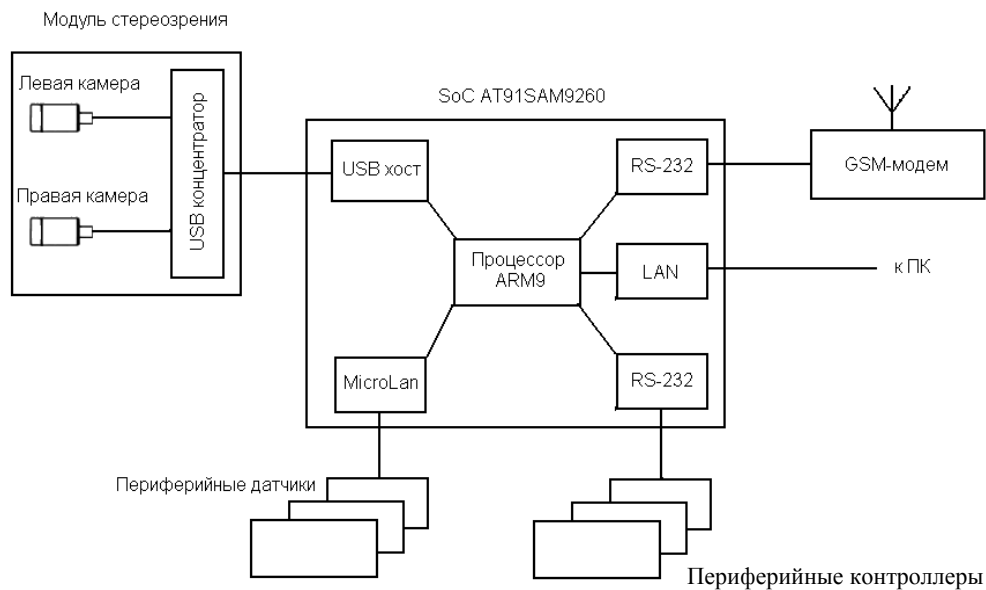


Рис. 3. Структура системы управления шагающим роботом

Модуль стереозрения состоит из двух камер с интерфейсом USB с матрицами 0,3Мпикс, обеспечивающими максимальное разрешение изображения 640х480.

Захват изображений с USB-камер осуществляется с использованием видеоподсистемы Video4Linux2 и работающего на нижнем уровне драйвера USB-камер – UVC (Universal Video Class). При захвате стереоизображения с двух видеокамер необходима синхронизация двух изображений. Если не производить синхронизацию кадров от разных камер, то возможно несовпадение изображений правой и левой камеры в случае

быстро движущихся объектов в поле зрения камеры, или из-за собственного перемещения шагающего робота, например, при выполнении поворота. В результате, стереоизображение не может быть корректно получено из моноскопических изображений. Эта проблема решается введением дополнительного модуля синхронизации на уровне ядра, обеспечивающего принудительный захват изображения обеими камерами перед считыванием их с интерфейсов устройств. Схема модулей разработанного программного обеспечения, использующихся в системе стереозрения, приведена на рис. 4.

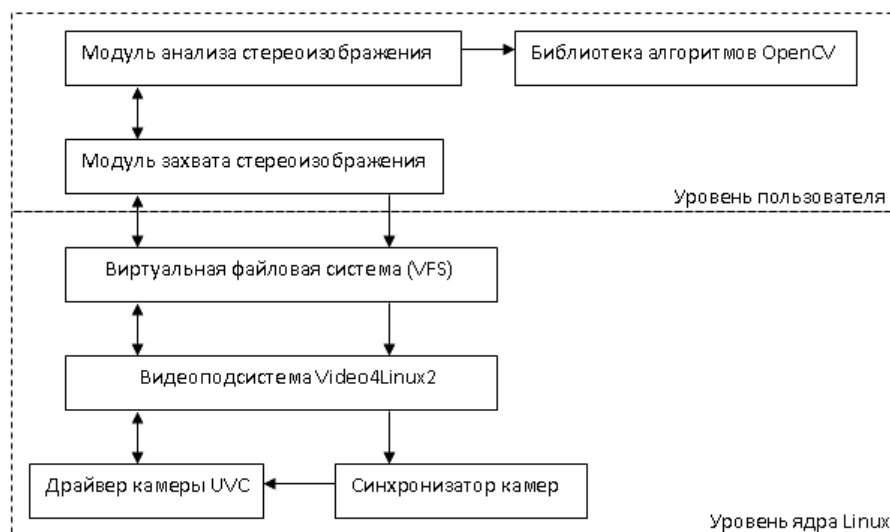


Рис. 4. Структура программного обеспечения системы стереозрения

Разработанные аппаратные и программные средства позволяют обеспечить синхронный захват изображений с двух камер с последующим построением по ним стереоизображения. Выбранная аппаратная платформа дает возможность получить до пяти стереоизображений в секунду. Для относительно медленно перемещающихся шагающих машин невысокая скорость обработки изображений менее критична, чем полученные минимальные габариты системы управления и низкое энергопотребление, что может иметь решающее значение для автономного режима работы робота.

Проведенные экспериментальные исследования по анализу изображения показали принципиальную возможность распознавания локальных препятствий, образы которых заданы в базе классификатора, с помощью алгоритмов сравнения с шаблонами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жога, В. В. Оптимальный закон горизонтального перемещения мобильного робота с ортогональными шагающими движителями / В. В. Жога, А. Е. Гаврилов, А. В. Еременко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 28–32.
2. Шаронов, Н. Г. Синтез алгоритма управления движением шагающей машины «Восьминог» в зависимости от параметров локального препятствия / Н. Г. Шаронов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 35–40.
3. Камаев, В. А. Использование контурного анализа в задаче контроля качества абразивных материалов / А. В. Камаев, П. П. Кудряшов, А. А. Стец // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 57–59.
4. Вахитов, А. Т. Обзор алгоритмов стереозрения / А. Т. Вахитов, Л. С. Гуревич, Д. В. Павленко // Стохастическая оптимизация в информатике. Вып. 4. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2008. – С. 151–169.
5. Bradsky, G. Learning OpenCV – O'Reilly, 2008 / G. Bradsky, A. Kachler. – 555 p.
6. Kolmogorov, V. Graph Based Algorithms for Scene Reconstruction from Two or More Views. PhD thesis, Cornell University, September 2003.
7. Форсайт, Дэвид А. Компьютерное зрение. Современный подход / Дэвид А. Форсайт, Жан Понс. – М.: Вильямс, 2010. – 928 с.
8. Артемьев, Е. М. Применение алгоритмов машинного зрения для получения панорамного изображения млеко-биологического препарата при микроскопии / Е. М. Артемьев, О. О. Привалов, И. В. Степанченко, В. О. Петров // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 44–46.

УДК 681.3.06

М. А. Дыков, П. Н. Воробкалов

АНАЛИЗ СЕМАНТИКИ ПОИСКОВОГО ЗАПРОСА В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dmawork@mail.ru, pavor84@gmail.com

В данной статье рассмотрен существующий метод поиска товаров в Интернет-магазине и его недостатки. Предложен новый метод анализа семантики поискового запроса в Интернет-магазине, позволяющий выделять из строки поискового запроса на естественном языке упомянутые в ней свойства товара и их значения.

Ключевые слова: семантический анализ, поисковый запрос, Интернет-магазин.

М. А. Dykov, P. N. Vorobkalov

SEARCH QUERY SEMANTIC ANALYSIS IN INTERNET-SHOP

Volgograd State Technical University

In this article an existing method of goods search in Internet-shop and its shortcomings are considered. We propose a new method of search query semantic analysis in an Internet-shop that allows extracting goods properties and their values from the search query text in a natural language.

Keywords: semantic analysis, search queries, Internet-shop.

В настоящий момент в большинстве Интернет-магазинов для поиска товаров используют полнотекстовый поиск. Данный вид поиска работает следующим образом [1]:

– метаданные товаров разбиваются на лексемы;

– полученные лексемы, после прохождения ряда словарей, преобразуются в базовую форму и индексируются;

– строка поискового запроса разбивается на лексемы, которые тоже преобразуются в базовую форму;

– полученные слова поискового запроса ищутся среди проиндексированных метаданных товара;

– полученные результаты сортируются по количеству вошедших в метаданные товара слов поискового запроса.

Одной из основных проблем обработки естественного языка является представление семантической составляющей слов [2]. Отсутствие распознавания смысла слов при полнотекстовом поиске приводит к ряду проблем:

– не распознаются бинарные операции (и, или) и унарные операции (не, без);

– не учитываются качественные характеристики количественных свойств товара (например, дешевый – для цены);

– не определяются отношения слов в запросе, что может приводить к его неверному толкованию (например, запросы «плеер с науш-

никами» и «наушники для плеера» при полнотекстовом поиске будут эквивалентными).

Семантический поиск призван увеличить релевантность результатов поиска путем определения требований пользователя и значений ключевых слов в контексте поискового запроса [3].

Для распознавания качественных значений количественных свойств товаров для каждого количественного свойства составляется таблица соответствия качественного значения свойства количественному. Столбцами данной таблицы являются категории, строками – качественные значения свойства (например: дешевый, дорогой для цены). Данная таблица заполняется на основании анализа значений количественного свойства у товаров в каждой категории. В результате данного анализа каждому качественному значению в определенной категории сопоставляется диапазон количественных значений.

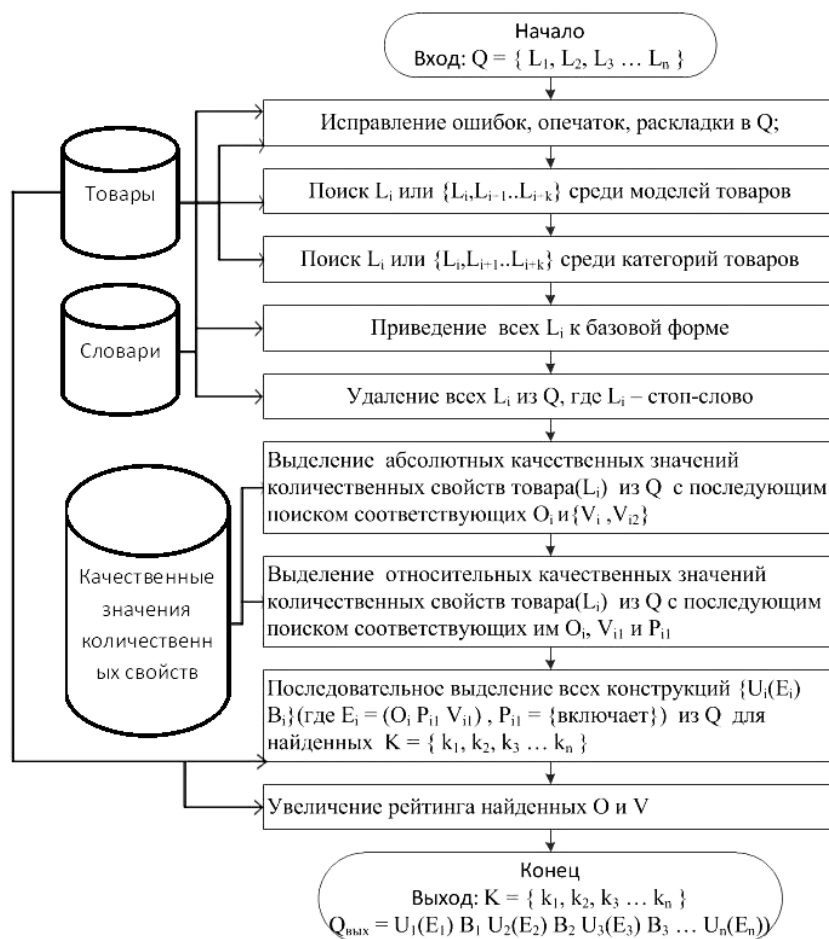


Схема работы метода анализа семантики поискового запроса

Анализ строки поискового запроса в Интернет-магазине значительно проще по сравнению с анализом семантики массивов текста. Прежде всего, запрос состоит только из одного предложения. Строка поискового запроса в Ин-

тернет-магазине может быть представлена в следующем формализованном виде:

$$Q = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_n\},$$

где L_i – слово: союз, частица, предлог, прилагательное, существительное. В результате анали-

за семантики строки поискового запроса необходимо получить следующие данные:

$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$ – набор категорий, к которым может принадлежать товар;

$$Q_{\text{вых}} = U_1(E_1) B_1 U_2(E_2) B_2 U_3(E_3) B_3 \dots U_n(E_n),$$

где E_i – фраза; U_i – унарная операция: {отрицание} (может отсутствовать); B_i – бинарная операция: {и; или}; $E_i = (O_i P_{i1} V_{i1})$ и $(O_i P_{i2} V_{i2})$ – « $(O_i P_{i2} V_{i2})$ » – может отсутствовать; O_i – свойство; P_i – операция отношения: {включает; больше; меньше}; V_i – значение свойства.

Для получения необходимого результата был разработан метод, состоящий из следующих шагов (см. рисунок):

1) исправление ошибок, опечаток, раскладки в Q ;

2) поиск L_i или $\{L_i, L_{i+1}, \dots, L_{i+k}\}$ среди моделей товаров. При этом учитывается, что L_i или $\{L_i, L_{i+1}, \dots, L_{i+k}\}$ не является искомой моделью, если $L_{i-1} = \{\text{для; с; без}\}$. Если модель найдена, то выявляются категории товаров $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$, к которым принадлежит данная модель.

Выход: список категорий товаров

$$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\};$$

3) поиск L_i или $\{L_i, L_{i+1}, \dots, L_{i+k}\}$ среди категорий товаров. При этом учитывается, что L_i или $\{L_i, L_{i+1}, \dots, L_{i+k}\}$ не является искомой категорией k_i , если L_i не находится в именительном падеже или если $L_{i-1} = \{\text{для; с; без}\}$.

Выход: список категорий товаров

$$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\};$$

4) приведение всех L_i к базовой форме.

Выход: Строка поискового запроса со словами в базовой форме

$$Q = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_N\},$$

где L_i в базовой форме;

5) удаление всех L_i из Q , где L_i – стоп-слово.

Выход: Строка поискового запроса без стоп-слов, где все слова в базовой форме

$$Q = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_N\},$$

где L_i в базовой форме; $L_i \neq$ стоп-слово;

6) выделение абсолютных качественных значений количественных свойств товара (L_i) из Q с последующим поиском соответствующих O_i и $\{V_{i1}, V_{i2}\}$.

Выход:

$$E_i = (O_i P_{i1} V_{i1}) \text{ и } (O_i P_{i2} V_{i2});$$

7) выделение относительных качественных значений количественных свойств товара (L_i) из Q с последующим поиском соответствующих им O_i , V_{i1} и P_{i1} .

Выход:

$$E_i = (O_i P_{i1} V_{i1});$$

8) последовательное выделение всех конструкторов $\{U_i(E_i) B_i\}$ (где $E_i = (O_i P_{i1} V_{i1})$, $P_{i1} = \{\text{включает}\}$) из Q для найденных $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$. На данном шаге происходит последовательный поиск группы слов: $\{\{L_i\}; \{L_i, L_{i+1}\}; \{L_i, L_{i+1}, \dots, L_n\}\}$ среди названий свойств и их значений среди найденных $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$. При этом $n = n_{\text{max}}$, если $L_{n+1} = \{U; B; \text{предлог}\}$ или L_{n+1} не существует. Если $\{\{L_i\}; \{L_i, L_{i+1}\}; \{L_i, L_{i+1}, \dots, L_m\}\}$ – найдено и $m = m_{\text{max}}$, то O_i или $V_i = \{\{L_i\}; \{L_i, L_{i+1}\}; \{L_i, L_{i+1}, \dots, L_m\}\}$. При этом в спорных ситуациях, когда возможны несколько значений O_i , учитывается рейтинг O_i . Если $L_{m+1} \neq \{\text{или}\}$, то $B_i = \{\text{и}\}$, иначе $B_i = \{\text{или}\}$.

Выход:

$$Q_{\text{вых}} = U_1(E_1) B_1 U_2(E_2) B_2 U_3(E_3) B_3, \dots, U_n(E_n);$$

9) увеличение рейтинга найденных O и V .

На первом шаге предлагается использовать один из методов орфографического контроля [4]. Схожие методы используют, например, поисковые системы Google и Amazon. Данный метод позволяет исправлять до четырех ошибок в слове за достаточно небольшое время, а также распознавать различные написания одного и того же слова. Например, следующие слова распознаются одинаково: «eM350-21G25ikk», «eM350-21G25», «eM35021G25ikk». При этом, для улучшения точности распознавания подобных значений свойств, желательно индексировать слова «eM350» и «21G25ikk» отдельно. В случае такой индексации слов описанный выше метод отнесет запрашиваемое слово «eM350» к значению свойства «eM350 21G25ikk».

Рассмотрим пример анализа поискового запроса: «Красный дорогой телефон с камерой» с применением разработанного метода. Ниже представлены результаты выполнения каждого шага:

- 1) «красный дорогой телефон с камерой»;
- 2) модель не найдена;
- 3) категория товара : телефоны (камеры – не является категорией искомого товара, так как это слово не находится в именительном падеже);
- 4) «красн дорог с камер»;
- 5) «красн дорог с камер»;
- 6) цена > 5000 рублей;
- 7) относительные качественные значения количественных свойств отсутствуют;
- 8) (цвет включает красный) и (камера присутствует).

Таким образом, получаем следующий результат работы метода:

категория товара – телефоны;
(цвет включает красный) и (цена > 5000 рублей) и (камера присутствует).

Сделаем расчет вычислительной сложности данного метода по сравнению с методом полнотекстового поиска для следующего случая:

поисковый запрос состоит из W слов;
у товара в среднем P свойств;
все товары разбиты на C категорий;
общее количество слов, входящих в значение свойств всех товаров – T ;
количество качественных значений количественных свойств товара – K ;
все слова, входящие в значение свойств в выбранной категории, составляют Y от общего количества слов, входящих в значение свойств всех товаров. $0 < Y < 1$;

Вычислительные затраты на исправление ошибок, опечаток, раскладки, на удаление стоп-слов и на приведение слов к базовой форме одинаковы для приведенного метода и для полнотекстового поиска. Вычислительные затраты полнотекстового поиска на остальные операции определяются общим временем поиска каждого из слов запроса по базе всех слов, входящих в значения свойств товаров. Возьмем время, затраченное на поиск одного слова по базе за X . Тогда время, затраченное на поиск всех слов $= X \times W$.

Рассмотрим время, затраченное на выполнение шагов разработанного метода:

1) время, затраченное на поиск всех слов среди моделей товаров, составляет $W \times X \times (1/P)$;

2) временными затратами на поиск всех слов среди категорий товаров можно пренебречь, так как $C \ll T$;

3) временными затратами на поиск всех слов среди качественных значений количественных свойств товаров можно пренебречь, так как $C \times K \ll T$;

4) время, затраченное на поиск каждого слова запроса среди свойств товаров и их значений, составляет $X \times Y$ (так как уже известна категория товаров). Таким образом, общее время, затраченное на поиск всех слов запроса, составляет $X \times Y \times W$.

Следовательно, соотношение производительности рассмотренных шагов разработанного метода и соответствующих этапов полнотек-

стового поиска $= P/(YP + 1)$. В большинстве случаев $P > 10$, $Y < 0,3$. Таким образом, разработанный метод показывает прирост в производительности.

К недостаткам данного метода можно отнести то, что он будет выдавать некачественные результаты при малом количестве товаров в Интернет-магазине, так как многие слова запроса не будут находиться среди значений свойств товаров и, таким образом, могут некорректно распознаваться свойства состоящие из нескольких слов. В перспективе данный недостаток можно исправить путем создания с последующим подключением словарей, содержащих названия и значений свойств товаров, взятых из других Интернет-магазинов.

Таким образом, был разработан метод анализа семантики поискового запроса, позволяющий выделить из строки поискового запроса, написанной на естественном языке, категорию, свойства и их значения у искомого товара. Применение данного метода позволяет определять требования пользователей: выделять качественные значения количественных свойств товаров, обрабатывать унарные и бинарные операции, выявлять принадлежность слов и словосочетаний определенной характеристике товара, определять отношения между словами или группами слов. Это приводит к повышению качества обработки поисковых запросов и релевантности поисковых результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыльников, А. Г. Объектная модель представления текста для организации естественно-языкового поиска в массиве физических эффектов / А. Г. Рыльников, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 8 (46) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 5). – С. 141–144.
2. Полнотекстовый поиск в PostgreSQL [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : <http://www.sai.msu.su/~megeera/postgres/talks/fts-rit2007.pdf>.
3. Грищенков, К. А. Семантический поиск на основе системы полнотекстового поиска. Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» / К. А. Грищенков. – М.: МФТИ, 2010. – С. 90–91.
4. Как написать спеллчекер [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/blogs/algorithm/105450/>.

УДК 004.81:159.942.52

*А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков***ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ
ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ*****Волгоградский государственный технический университет**

Email: zabzot@gmail.com, vladimir.rozaliev@gmail.com

В статье описано применение нечетких темпоральных переменных и нечетких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях.

Ключевые слова: распознавание эмоциональных реакций, нечеткие темпоральные переменные, нечеткие темпоральные высказывания.

*A. V. Zaboloeva-Zotova, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev, A. S. Bobkov***APPLYING OF FUZZY TEMPORAL STATEMENTS FOR THE DESCRIPTION
OF EMOTIONAL REACTIONS MOTIONS****Volgograd State Technical University**

The article describes the use of fuzzy temporal variables and temporal propositional fuzzy to describe movements in emotional reactions.

Keywords: recognition of emotional reactions, fuzzy temporal variables, fuzzy temporal expression.

Работа, ведущаяся на кафедре «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета, направлена на определение эмоциональных реакций людей по речи и телодвижениям [3, 8]. На данном этапе работы реализована система определения эмоциональных реакций по речи человека при работе с системой автоматизации начальных этапов проектирования и разрабатывается система определения эмоциональных реакций по движениям человека [4, 7].

Поскольку эмоции человека влияют на когнитивные процессы, и в том числе на процесс принятия решения о совершении каких-либо действий, то такие системы определения эмоциональных реакций приобретают все большее значение.

Человек каждую секунду испытывает эмоциональные реакции [1]. Какие это реакции – положительные, отрицательные – не имеет значения, важно то, что мозг человека в каждый момент времени вырабатывает определенные гормоны, заставляющие человеческое тело двигаться, говорить, писать определенным образом. Что такое эмоциональная реакция, сказать никто не может; одни ученые утверждают, что это только продукт физиологических процессов, другие, что физиологические процессы следствие эмоций [2, 3, 8].

Приведем формализацию активности телодвижений человека. Активность «А» выражается в количестве телодвижений человека: чем меньше телодвижений и, как следствие, меньше изменений в каналах *bvh*-файла, хранящего записанное движение, тем значение активности «А» – меньше [8]. Активность телодвижений человека за момент времени Δt определяется формулой:

$$A(\Delta t) = \sum_{n=1}^m (T_n(\Delta t) * k_n), \quad (1)$$

где m – количество временных рядов, характеризующих движение; $T_n(\Delta t)$ – изменение n -го временного ряда за момент времени Δt ; k_n – коэффициент чувствительности для n -го временного ряда (ВР).

Этот коэффициент зависит от степени влияния n -го временного ряда на перемещение массы тела человека в пространстве, а активность – непосредственно от того, какой частью тела субъект совершил движение.

Учеными биомеханиками были произведены исследования по определению массы и длины частей тела человека. В результате усреднения результатов данных исследований для взрослого мужчины получены данные, представленные на рис. 1.

Таким образом, опишем коэффициент чувствительности в следующем виде:

$$k_n = \sum_{i=0}^j (p_i * m_i) \quad (2)$$

где i – номер дочернего элемента; j – максимальный номер дочернего элемента; m_i – коэф-

* Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации № МК-3281.2011.9, РФФИ 10-01-00135-а, 10-01-00165-а, 10-01-90012-Бел_а.

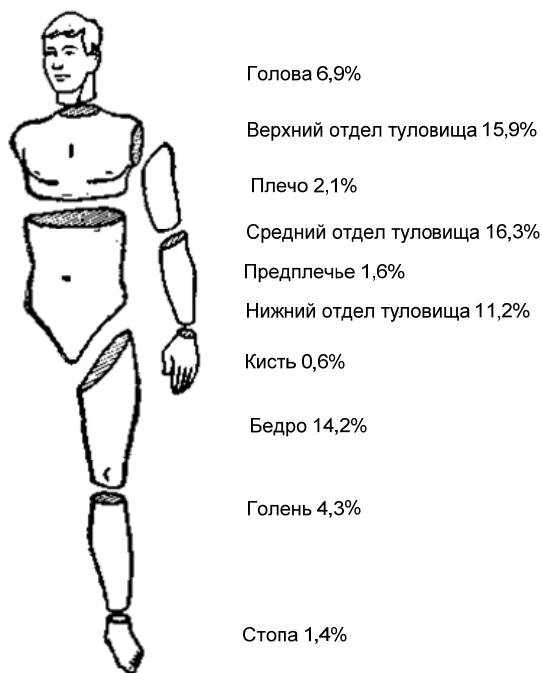


Рис. 1. Распределение массы человека

коэффициент массы тела, показывающий, какую долю от всей массы тела занимает данная часть; p_i – коэффициент пропорциональности массы тела.

Для взрослого мужчины, у которого масса тела распределена согласно рис. 1, коэффициент пропорциональности массы для всех частей равен 1. Например, для женщины, у которой доля массы бедер, а точнее, нижнего отдела туловища, в общей массе тела больше чем у мужчины, этот коэффициент, в зависимости от строения тела, будет больше 1. Аналогично и для всех остальных частей тела коэффициент пропорциональности масс может варьироваться.

Так как векторная модель имеет иерархическое описание, то это накладывает определенные особенности на расчет активности [8]. При-

ведем расчет коэффициента чувствительности узла, который отвечает за плечо, при изменении угла вращения относительно оси X :

$$k_n = p_0 * m_0 + p_1 * m_1 + p_2 * m_2, \quad (3)$$

где k_n – коэффициент чувствительности канала, отвечающий за поворот в узле «плечо» относительно оси X ; m_0 – коэффициент массы тела для плеча, равный 2,1 %. Индекс равен 0, отсюда можно говорить, что это – родительский элемент, для которого идет расчет коэффициента чувствительности; m_1 – коэффициент массы тела для предплечья, равный 1,6 %. Индекс равен 1, значит, это – дочерний элемент первого уровня; m_2 – коэффициента массы тела плеча, равный 0,6 %. Индекс равен 2, значит, это – дочерний элемент второго уровня; p_i – для среднего взрослого мужчины по всем элементам будет равен 1.

Для дальнейшей обработки информации о телодвижениях человека авторами была произведена фаззификация. В каждом *bvh*-файле есть параметр, который отвечает за его скорость воспроизведения и, соответственно, записи. Таким образом, время можно рассчитывать либо в секундах, либо в кадрах. [5] Введем нечеткую темпоральную переменную «Продолжительность». Множеству термов соответствуют следующие понятия: «нулевая», «очень короткая», «короткая», «умеренная», «длительная», «очень длительная». В дальнейшем количество лингвистических значений, которое способно принимать данная переменная в системе, может быть настроено [6]. Это зависит от ошибки, которую мы в дальнейшем получим при конвертации из четкого значения в нечеткое, и обратно.

Графики функций принадлежности к термам представлены на рис. 2.

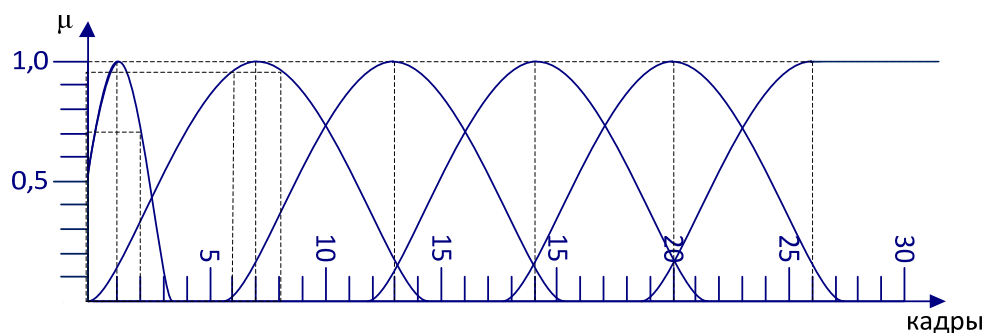


Рис. 2. График функций принадлежности к термам

Для характеристики величины движения введем семейство (группа, множество) лин-

гвистических переменных (ЛП) «Нечеткое изменение угла». Первоначально использовалась

одна переменная «Нечеткий угол», которая описывала поворот узла в какой-то определенный момент времени. Но затем было обнаружено, что данные, которые представлены в *bvh*-файле, содержат величины углов, на которые неспособны суставы человека, в силу ограничения подвижности и строения [8]. Это было связано с первоначальным расположением осей, вокруг которых происходит изменение углов поворота узлов модели.

Количество лингвистических значений (ЛЗ), которое будет принимать переменная, зависит от максимальной подвижности и типа сустава (с тремя, двумя, одной осью вращения).

Так, например, если для характеристики изменения угла вращения локтевого сустава, максимальный поворот которого равен 154 градуса, ввести 17 элементов: A_0 = «нулевой»; A_1 = «минус около $\pi/10$ »; A_2 = «около $\pi/10$ », ..., A_{16} = «около $9\pi/10$ », то для описания лучезапястного сустава, относительно оси, перпендикулярной поверхности ладони, максимальный поворот, которого равен 55 градусов, такое количество элементов будет избыточно и ошибка

при этом велика. Целесообразно ввести меньшее количество ЛЗ, с другими функциями принадлежности, например: A_0 = «нулевой»; A_1 = «минус около $\pi/9$ »; A_2 = «около $\pi/9$ »; A_6 = «около $\pi/3$ ».

После чего проводим гранулирование второго уровня, вводим ЛП «Тенденция ВР». Множество термов ЛП состоит из семи элементов: B_0 – «стабилизация»; B_1 – «слабое уменьшение»; B_2 – «среднее уменьшение»; B_3 – «сильное уменьшение»; B_4 – «слабое увеличение»; B_5 – «среднее увеличение»; B_6 – «сильное увеличение».

Таким образом, используя данные лингвистические переменные, можно описать движение сустава вокруг одной из осей в виде нечеткого темпорального события. Так как события расположены на временной оси сразу друг за другом, то движение можно представить в виде последовательно нечеткого темпорального высказывания (НТВ) [9].

Например, на графике (рис. 3) представлено положение угла поворота вокруг оси X для узла «правая нога» в *bvh*-файле.



Рис. 3. График изменения величины угла

Опишем отрезок $[t_4; t_{12}]$ в виде последовательного нечеткого темпорального высказывания.

«Наблюдается среднее уменьшение угла очень короткой продолжительностью, за которым следует практически нулевая стабилизация изменения угла, за которой следует среднее увеличение угла очень короткой продолжительностью».

Моделью данного описания является следующее НТВ:

$$W = (B_2 r_{tf} L_a) r_{tsn} (B_0 r_{tf} L_b) r_{tsn} (B_5 r_{tf} L_a), \quad (4)$$

где ЛЗ нечеткой переменной «Тенденция ВР»: B_2 – «среднее уменьшение»; B_0 – «стабилизация»; B_5 – «среднее увеличение»; ЛЗ нечеткой темпоральной переменной «Продолжительность»: L_a – «очень короткая»; L_b – «нулевая»; r_{tsn} – темпоральное отношение непосредственного следования.

Одна из задач, которая решается сейчас на кафедре САПР, состоит в том, чтобы имея три нечетких последовательных темпоральных высказывания, каждое из которых описывает движение вокруг одной из осей, построить одно высказывание, которое будет интегрально

описывать все три; при этом семантика останется неизменной.

На данном этапе совместно с психологами были разработаны высказывания, которые описывают поведение человека, когда он испытывает недовольство или нетерпение.

Таким образом, система, имея набор высказываний, которые получены при помощи данного метода, и их интерпретацию, анализирует движения человека и строит описание на ограниченном естественном языке. Затем методом скользящего окна обнаруживает характерные паттерны и сигнализирует об этом пользователю автоматизированной системы.

Также, обращая внимание на всевозрастающие объемы рынка индустрии компьютерных игр и приложений, можно говорить об актуальности еще одной задачи – по заданному текстовому описанию построить анимацию векторной модели человека. В этом случае име-

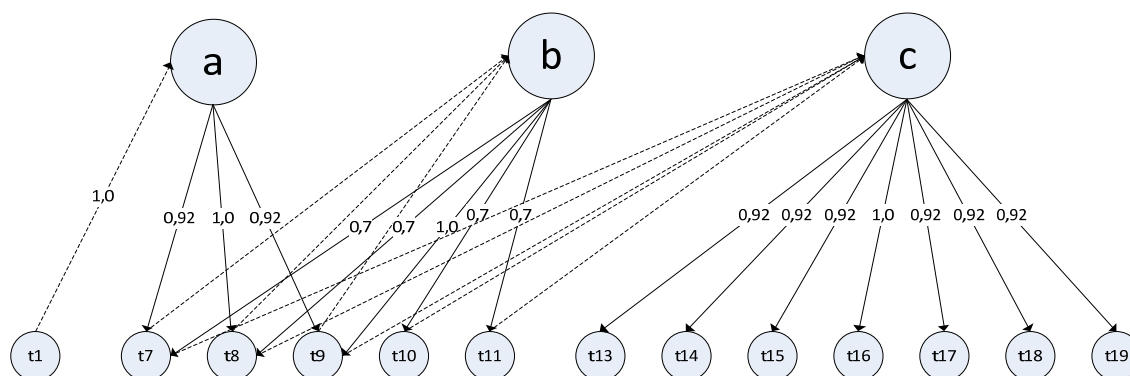
ем на входе описание на ограниченном естественном языке, на выходе – анимированное движение в виде bvh файла.

Одна из задач – поиск нечетких границ разбиения событий. Решим ее следующим способом. Примем маркером начала НТВ W , нечеткую точку $THW = t1$. Геометрической интерпретацией НТВ W является нечеткое разбиение

$$\sum_w TN = \{[TN(a), TK(b)][TN(b), TK(b)][TN(c), TK(c)]\}. \quad (5)$$

Если значения функций принадлежности для ЛЗ «очень короткая» и «нулевая» равны, соответственно, $\mu_{La}(6) = 0,92$; $\mu_{La}(7) = 1$; $\mu_{La}(8) = 0,92$; $\mu_{Lb}(0) = 0,7$; $\mu_{Lb}(1) = 1$; $\mu_{Lb}(2) = 0,7$, то, подставляя их в рекуррентные формулы [9], найдем нечеткие границы разбиения.

Построим нечеткий темпоральный гиперграф для нашего высказывания.



Располагая границами событий, формами функций принадлежности для переменных «Продолжительность», «Нечеткое изменение угла», «Тенденция ВР» и правилами перехода между ними, дефазифицируем значения, чтобы получить анимацию векторной модели человека. Таким образом, если правила построены и описывают паттерны, которые были получены при помощи захвата движений людей, а не сгенерированы в специально предназначенных пакетах (например, Poser, 3ds Max, Motionbuilder или др.), то в результате мы получим более правдоподобные эмоциональные характерные жесты персонажей компьютерных игр и приложений.

Для автоматизации процесса распознавания эмоционального состояния человека по движениям и позам разработаны: классификация характерных поз и их соответствие эмоциональным реакциям; база данных, хранящая интерпретацию, словесное описание и изображение

характерных поз; нейросетевая модель идентификации позы человека и эмоциональной реакции. Автоматизирован процесс предобработки данных и формализована активность движений человека. Произведена фазификация динамической информации, а также грануляции 1-го и 2-го уровней. Разработана модель представления характерных жестов и телодвижений в виде нечеткого последовательного темпорального высказывания. Построены правила соответствия полученных описаний интерпретациям психологов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розалиев, В. Л. Предпосылки, возможности, перспективы создания автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 58–61.

2. Розалиев, В. Л. Построение модели эмоций по речи человека / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 62–65.

3. Розалиев, В. Л. Моделирование эмоционального состояния человека на основе гибридных методов / В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // Программные продукты и системы : междунар. науч.-практ. журн. – Тверь, 2010. – Вып. 2 (90). – С. 141–146.

4. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 9. – С. 26–34.

5. Заболеева-Зотова, А. В. Атрибутная грамматика формального документа «Техническое задание» / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 39–43.

6. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания /

А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 49–52.

7. Заболеева-Зотова, А. В. Моделирование лексического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 2). – С. 39–42.

8. Розалиев, В. Л. Применение нейронных сетей и грануляции при построении автоматизированной системы определения эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 63–68.

9. Белых, А. В. Визуальный язык проектирования / А. В. Белых, С. М. Ковалев, О. В. Ольховик // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9. – № 4 (43). – С. 381–390.

УДК 004:37

А. В. Катаев, А. В. Муха

МОДЕЛЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ СЦЕНАРИЯ ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР И СИМУЛЯТОРОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alexander.kataev@gmail.com, artyomukha@gmail.com

В работе предлагается модель визуального описания сценария обучающих игр и симуляторов.

Ключевые слова: обучающие игры, симуляторы, визуальное программирование.

A. V. Kataev, A. V. Mukha

VISUAL SCENARIO DESCRIPTION MODEL FOR EDUCATIONAL COMPUTER GAMES AND SIMULATIONS

Volgograd State Technical University

The paper describes a visual programming language, designed for educational games and simulations scenery definition purposes.

Keywords: educational games, simulations, visual programming.

Введение

В настоящее время широкое применение для тренировки профессиональных навыков в различных сферах находят многочисленные обучающие игры и симуляторы – компьютерные программы, имитирующие работу технических, экономических, социальных или иных систем. В свое время симуляторы совершили революцию в области тренировки военных и медиков, однако широкому применению их в других областях препятствовала высокая стоимость разработки и эксплуатации. Рост произ-

водительности персональных компьютеров, появление специализированных средств разработки и квалифицированных специалистов сделали применение игрового подхода доступным для крупных и средних предприятий, для более широкого круга профессий. Появились компании, специализирующиеся на разработке симуляторов и обучающих игр по сценариям, предоставляемым заказчиком. Стоимость их услуг все еще достаточно высока, однако анализ применения симуляторов в различных сферах показывает, что вложения оправдываются, так

как эффективность обучения сотрудников повышается в сравнении с традиционными способами обучения [1].

Создание специализированных инструментов разработки обучающих компьютерных игр и симуляторов, снижающих требования к квалификации пользователей, позволит еще больше снизить стоимость разработки и даже сделать их доступными для бюджетных организаций, в том числе высших и средних учебных заведений [2, 3]. Один из возможных путей упрощения процесса разработки – использование технологий визуального программирования, которые позволят разрабатывать симуляции без привлечения программистов.

Инструменты разработки

При анализе некоторых инструментов, используемых при создании обучающих игр и симуляций, было выявлено, что предлагаемые в них технологии программирования не всегда хорошо подходят для описания сценария симуляции. В большинстве сред используются текстовые языки программирования, либо простые блок-схемы алгоритмов. Использование таких языков для описания сценария неэффективно и ненаглядно, так как требуется вручную строить многие типовые действия из отдельных блоков. Кроме того, для работы с этими технологиями пользователь должен обладать навыками структурного программирования. Альтернативой является использование специализированной нотации, обладающей более высокоуровневыми базовыми элементами. Примером такой нотации может служить графический язык среды Thinking Worlds, предназначенной для создания симуляций [4]. Однако язык этой среды, по мнению авторов, не обладает достаточной наглядностью, поскольку различные элементы в нем имеют схожий внешний вид, а различные типы связей отображаются одинаковыми линиями. Кроме того, в языке нет явного выделения модели знаний обучаемого, которая необходима для реализации обучающих игр [5], а также для автоматического анализа различных траекторий обучения, получаемых при выполнении сценария. Другой пример специальной нотации – язык визуального программирования Kismet [6], который обладает большим разнообразием элементов, но не ориентирован на создание обучающих игр, а также не выделяет модель знаний.

Сценарий

Сценарий описывает возможную последовательность действий, происходящих в процессе симуляции, таких как отображение инфор-

мационных сообщений и диалогов, изменение значений параметров объектов виртуального мира, воспроизведение анимации и др. Для указания моментов времени симуляции, когда должны быть выполнены действия, используются различные типы событий, основанные на автоматической проверке заданных условий. Например, часто для запуска действий используются проверка положения персонажа игрока или взаимодействия его с объектами виртуального мира. Ситуацию, при которой удовлетворяются заданные условия, называют *срабатыванием события*.

Для описания сценария симуляции некоторым событиям необходимо назначить дополнительные требования, которые должны быть удовлетворены, чтобы действие было выполнено, после срабатывания события. Эти требования могут быть разделены на три группы:

- требования на состояние сценария: перечисляют, какие действия должны быть выполнены до срабатывания события;
- требования к состоянию виртуального мира: накладываются условия на значения различных атрибутов объектов виртуального мира;
- требования к состоянию модели игрока: проверяются результаты выполнения тестов, оценки уровней знаний и другие характеристики.

Требования могут комбинироваться логическими связками «и» и «или».

Визуальная нотация описания сценария

Для описания сценария была разработана графическая нотация, включающая четыре основных элемента, три вида соединительных линий и два вида дополнительных узлов, внешний вид которых приведен на рис. 1 и 2. Графическое отображение сценария, описанного с использованием этой нотации, будем называть «схемой сценария», или просто «схемой».

Элементы «атрибут» и «объект» (рис. 1, в, г) используются для обозначения объектов виртуального мира, глобальных параметров и параметров модели пользователя. Атрибуты являются базовыми типами данных, и требования, основанные на них, могут включать лишь условия отношений («больше», «меньше», «равно» и пр.), а влияние на их значения может осуществляться записью нового значения или относительным изменением существующего («увеличить на X », «установить в X »). Для объектов возможны более сложные условия (например, проверка видимости объекта или близость его к некоторой точке) и влияния (например, запуск анимации объекта или движение с заданной скоростью).

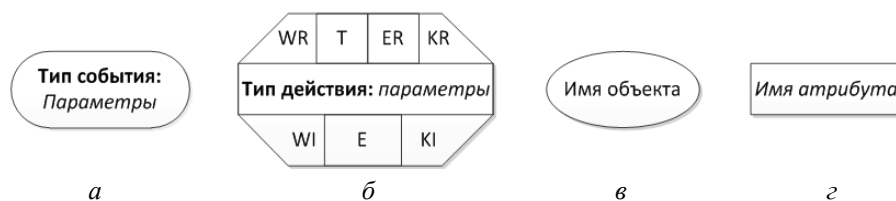


Рис. 1. Графические обозначения элементов сценария:
а – событие; б – действие; в – объект; г – атрибут

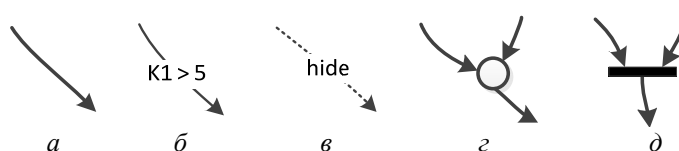


Рис. 2. Графическое обозначение соединительных линий и вспомогательных узлов:
а – последовательность; б – требования; в – влияние; г – объединение; д – пересечение

Элемент «событие» (рис. 1, а) соответствует событиям, возникающим в процессе симуляции. Внутри графического элемента указывается тип события и его параметры. Параметры событий, являющиеся объектами или атрибутами, могут обозначаться с использованием соединительной линии, направленной от элемента, обозначающего параметр (объекта или атрибута), к элементу события. Из элемента «событие» могут выходить соединительные линии типа «последовательность», направленные к элементу, обозначающему действие (может выходить несколько линий, к разным действиям).

Элементы «действие» (рис. 1, б) являются более сложными. На их графическом описании выделены следующие зоны, к которым подводятся различные соединительные линии:

T – событие, после которого выполняется действие;

WR – требования к состоянию игрового мира;

KR – требования к атрибутам модели пользователя;

ER – требования к значениям флагов выполнения других событий;

KI – влияние на атрибуты модели пользователя;

WI – влияние на состояние игрового мира;

E – флаги выполнения действия. У действий, в результате которых пользователь осуществлял выбор (например, диалоги или тесты), может присутствовать несколько флагов выполнения, соответствующих различным вариантам выбора.

Внутри элемента указываются конкретные действия, которые должны быть выполнены: отображение информации, начало диалога, воспро-

изведение анимации, выполнение скрипта и пр.

Для описания сценария элементы связываются соединительными линиями, над которыми могут быть написаны параметры связи (требования и коэффициенты влияния). Использование соединительных линий разного типа позволяет реализовать несколько режимов отображения схемы в программе: отображение всех связей, отображение только связей влияния на модель игрока и др. Линии могут объединяться и разделяться в узлах выполняющих функцию логических связок: «объединение» (рис. 2, г) и «пересечение» (рис. 2, д).

На схеме элементы располагаются следующим образом: слева объекты и атрибуты мира; справа – атрибуты модели игрока; в центре – события и действия, в порядке следования, сверху-вниз. Такое расположение позволяет минимизировать пересечения линий.

Описание сценария производится в специальной программе – редакторе сценария. Для создания описания сценария разработчик должен расположить элементы на схеме, соединить их линиями и назначить параметры связей. При запуске игрового приложения по графическому описанию сценария автоматически генерируется программный код на языке программирования ядра.

На рис. 3 приведен пример схемы сценария; в нем описывается прохождение персонажа в комнату, работа в которой требует знания правил безопасности. В соответствии с этим сценарием, при попадании персонажа на проходную, ему будет выведено уведомление о необходимости сдачи теста по знанию правил безопасности. Если он подойдет к инструктору, то тот расскажет ему правила и проведет тест, по

сдачи теста), то охранник скажет ему, что необходимо сдать тест минимум на 4 балла, иначе дверь откроется, и он сможет пройти дальше.

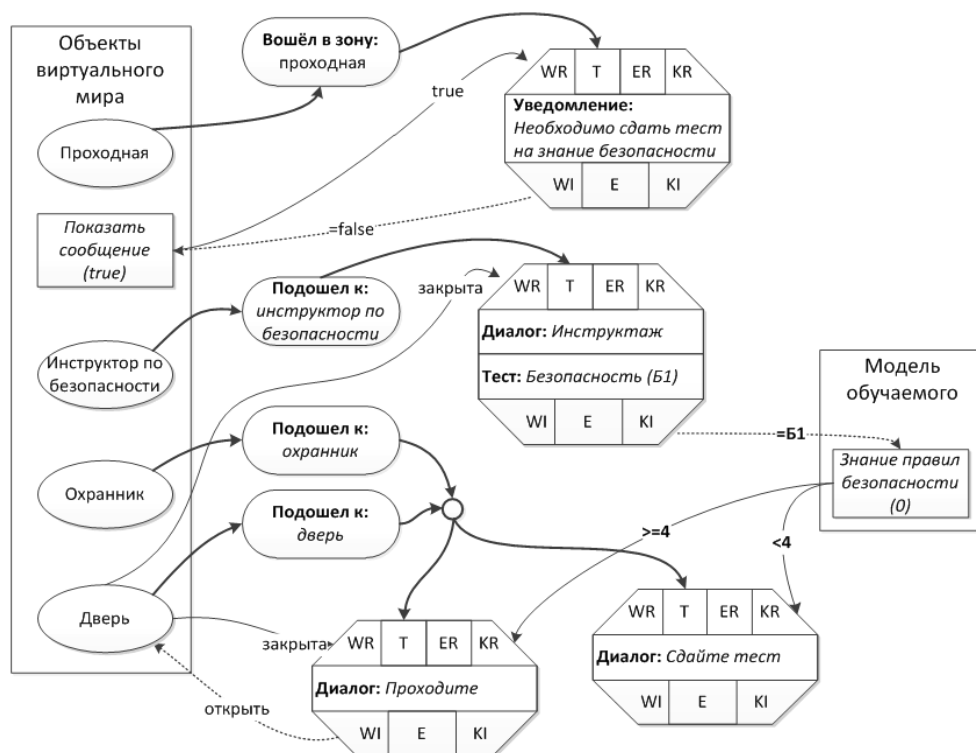


Рис. 3. Пример схемы сценария

нение выходов событий «Подожел к: дверь» и «Подожел к: охранник», так как эти действия должны запускаться после срабатывания любого из этих событий. Однако, в зависимости от состояния модели обучаемого, будет выполняться лишь одно из действий.

Несмотря на сложность схемы, в целом она воспринимается проще по сравнению со схемой этого же сценария, выполненной с помощью других нотаций (например, нотации Thinking Worlds или языка Kismet), поскольку для ее описания использовано меньшее количество элементов, а типы элементов и связей визуаль-но различаются. Снижение количества элемен-тов достигается за счет отображения парамет-ров прямо на линиях связи.

Выводы

Визуальный контроль процесса описания сценария позволяет уменьшить трудоемкость разработки симуляторов и сократить количество возможных ошибок. Предложенная графическая нотация может быть использована для описания сценария разработчиками, не обладающими навыками программирования.

В настоящее время разрабатывается специализированная среда создания обучающих игр и симуляторов. Для описания сценариев в разрабатываемой среде будет реализован визуальный редактор, использующий предложенную нотацию. Схема сценария, создаваемая в визуальном редакторе, будет автоматически переводиться на язык программирования ядра обучающей игры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федянин, Я. Серьезные игры и симуляции – их ценность и стоимость [Электронный ресурс] / Я. Федянин. – Режим доступа : http://premiumconsult.blogspot.com/2010/08/blog-post_05.html 2010 г. – 2011.
2. Шабалина, О. А. Разработка обучающих компьютерных игр для использования в вузе / О. А. Шабалина, П. Н. Воробкалов, А. В. Тарасенко, А. В. Катаев // Качест-

во. Инновации. Образование / Европейский центр по качеству. – М., 2008. – № 4. – С. 14–16.

3. Шабалина, О. А. Обучение разработчиков программного обеспечения: применение компьютерных игр и процесса их разработки / О. А. Шабалина, А. В. Катаев, П. Н. Воробкалов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 117–124.
4. Thinking Worlds Official Site [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.thinkingworlds.com> – 2011.
5. Shabalina, O. 3I-Approach for IT Educational Games Development / O. Shabalina, P. Vorobkalov, A. Kataev, A. Tarasenko // Proceedings of the 3rd European Conference on Games-Based Learning, Graz, Austria, 12–13 October 2009 / FH JOANNEUM University of Applied Science. – [UK], 2009. – P. 339–344.
6. Unreal Developer Network. [Электронный ресурс]. Официальный сайт разработчиков, использующих Unreal Engine 2011 г. – Режим доступа : <http://udn.epicgames.com/> – 2010.

УДК 004.81:159.942.52

Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vladimir.rosaliev@gmail.com

В статье приведено краткое описание современных систем распознавания и/или передачи эмоциональных реакций человека. Рассматриваются перспективные направления использования комплексной системы распознавания эмоций.

Ключевые слова: распознавание эмоциональных реакций, автоматизированные системы, перспективы использования.

Y. A. Orlova, V. L. Rosaliev

MODERN AUTOMATED SYSTEMS REVIEW OF RECOGNITION HUMAN EMOTIONAL REACTIONS

Volgograd State Technical University

The article gives a brief description of modern recognizing systems and/or transfer of human emotional reactions. Perspective directions of an integrated emotion recognition system are considered.

Keywords: recognition of emotional reactions, automated systems, the prospects of using.

Основное направление развития внедряемых в жизнь человека новых информационных технологий – это улучшение человеко-машинного взаимодействия. Количество проводимых исследований и объемы финансирования говорят о том, что данное направление является очень перспективным [1, 6]. Создание роботов, способных заменить в некоторых отраслях реальных людей невозможно без преодоления барьера взаимоотношений «человек – машина» [2, 8]. Неспособность машин испытывать и про-

являть эмоции является одним из факторов, препятствующих быстрому внедрению роботов в повседневную жизнь людей [4].

Здесь также стоит отметить, что человек стремится выразить при общении свои эмоции, даже если это общение виртуально, и это легко проследить в использовании различных смайликов, улыбочек, и других средств выражения (объединяются термином *эматиконы*) [5, 6]. Таким образом, развитие телекоммуникационных технологий в скором времени приведет к тому, что мы, все чаще, будем использовать виртуальное общение, которое будет легким в освоении и эффективным, однако при этом вы-

* Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации № МК-3281.2011.9; РФФИ 10-01-00135-а, 10-01-00165-а, 10-01-90012-Бел_а.

ражение эмоций будет теряться. Развитие методов определения эмоциональных реакций по письменной речи существенно увеличит сферы использования разработок [7]. Так, контроль эмоциональности высказываний можно ввести на форумах, блогах и других местах обсуждения происходящих событий.

Поскольку эмоции человека влияют на когнитивные процессы, и в том числе на процесс принятия решения о совершении каких-либо действий, то такие системы приобретают все большее значение [1, 8].

Рассмотрим системы, где определяются, распознаются или передаются эмоциональные реакции. Системы разобьем на группы по типу определения эмоциональных реакций: 1) по физиологическим показателям; 2) по мимике; 3) по телодвижениям (пантомимика); 4) по голосу.

1. Определение эмоциональных реакций по физиологическим показателям

1.1. Биологическая обратная связь (БОС). Используется для клинического определения эмоций. Суть БОС-метода состоит в «возврате» пациенту на экран компьютерного монитора или в аудио-форме текущих значений его физиологических показателей, определяемых клиническим протоколом: электроэнцефалограмма головного мозга (ЭЭГ); вегетативная активация (проводимость кожи, кардиограмма, частота сердечных сокращений, дыхание, электромиограмма, температура, фотоплетизмограмма и др.).

1.2. Устройство от NeuroSky, надеваемое на голову и содержащее один датчик мозговой активности – опытный образец. Он определяет степень концентрации, расслабления или беспокойства человека, оценивая их по шкале от 1 до 100. Предназначен для подключения к игровым приставкам или PC.

1.3. Система контроля психоэмоционального состояния человека (VibraImage). Предназначена для выявления агрессивных и потенциально опасных людей, с помощью бесконтактного дистанционного сканирования с целью обеспечения безопасности в аэропортах и других охраняемых объектах.

1.4. Технология, использующая специальный датчик и элемент Пельтье. Обеспечивает «физическую» передачу эмоций с одного сотового телефона на другой от группы исследователей из Токийского университета.

1.5. Проект AffQuake на базе продукта ID Software Quake II от Affective Computing Re-

search Group. Расширяет возможности игр за счет внесения в игровой процесс реально испытываемых игроком переживаний, модифицирующих ход игры.

1.6. Продукт компании Siemens – сотовый телефон CX70 Emoty. Создает виртуальный персонаж, отождествляемый с самим пользователем телефона и наделенный возможностью переживать.

1.7. Проект исследователя Кристиана Питера (Christian Peter). Выставлен в марте 2006 г. на всемирной выставке CeBIT; использует видео-распознавание лица человека в сочетании с измерением его биологических параметров для определения эмоций.

2. Определение эмоциональных реакций по мимике

2.1. Сервис FaceReader онлайн-распознавания эмоций по выражению лица на фотографии. Определяются нейтральное выражение, грусть, удивление, отвращение, счастье, злость, испуг.

2.2. Система распознавания и классификации выражения лиц в режиме реального времени от Политехнического университета Мадрида и Университета короля Хуана Карлоса. Делит на группы: гнев, отвращение, страх, счастье, печаль и удивление.

2.3. Автоматизированная система для записи движений лицевых мышц от компании GfK. Предназначена для улучшения понимания эмоций человека и средств их выражения.

2.4. Auto Smiley – небольшое приложение для платформы Mac, которое автоматически генерирует «смайлики» в тексте, набираемом в окне текстового редактора или интернет-мессенджера.

2.5. Прибор компании Media Lab. Состоит из миниатюрной камеры, прикрепленной к очкам и соединенной с карманным компьютером. Предназначен для определения реакции окружающих людей на владельца устройства. Полезен для ораторов, аутистов.

2.6. Система видеонаблюдения от TruMedia определяет реакцию человека на просматриваемую рекламу. Система отслеживает, насколько долго взгляд человека был направлен на монитор и определяет его пол, примерный возраст и расовую принадлежность.

2.7. Роботизированная голова от компании Machine Perception, выражающая эмоции с помощью мимики. Внешностью робот копирует Альберта Эйнштейна и может сердиться, удивляться и печалиться.

2.8. Технология выражения эмоций при помощи средств мобильной связи от компании Nokia. Предполагает применение различных цветов, указывающих на то, в каком эмоциональном состоянии пребывает владелец «трубки».

3. *Определение эмоциональных реакций по телодвижениям (пантомимика)*

3.1. Проект Natal от компании Microsoft. Программное обеспечение осуществляет полное 3-х мерное распознавание движений тела, мимики лица и голоса. Natal способен распознавать эмоции по голосу и лицу. Анализ движений при этом не происходит.

3.2. Технология Sony Computer Entertainment America. Направлена на определение таких эмоций, как смех, тоска, печаль, гнев и радость. Распознает эмоции по лицу и голосу и движениям, но без возможности работы в трех измерениях, да к тому же с не самой высокой точностью.

3.3. Система определения эмоционального состояния по мимике и жестикуляции от исследователей Hatice Gunes, Massimo Piccardi и Maja Pantic из группы компьютерного зрения (Computer Vision Research) в Сиднее. Движения торса, ног и наклон головы не учитываются.

3.4. Система определения эмоционального состояния по мимике и жестикуляции от исследователей C. Shan, S. Gong, и P. W. McOwan (Факультета Информатики (Department of Computer Science) института Лондона). Анализируется только изменение положения тела, статические позы и положения не учитываются.

4. *Определение эмоциональных реакций по голосу*

4.1. Программа Emotive Alert от Affective Computing Research Group распознает эмоции по голосу. Устанавливается непосредственно на автоответчик владельца и индексирует входящие сообщения. Классифицирует каждое сообщение как той или иной эмоциональной окраски.

4.2. Программное обеспечение для автомобилей от Affective Media. Распознает эмоциональное состояние водителя во время движения. Технология позволяет постоянно следить за эмоциональным состоянием водителя, анализируя его интонацию, тембр голоса во время его запросов к системе навигации автомобиля.

4.3. Технология детектирования «степень любви и дружелюбия» в голосе человека от сотового оператора KTF. Система голосового анализа может выяснить, врет ли человек или говорит правду, заинтересован ли в разговоре или

тема беседы кажется скучной и неинтересной.

4.4. Технология компании Sound Intelligence. Применяется лондонской полицией для оснащения камер наблюдения умными голосовыми сенсорами, которые смогут улавливать агрессивную интонацию в разговоре. Если устройство заметит, что кто-то из прохожих ругается, оно оповестит об этом дежурного. Тот, в свою очередь, может приблизить изображение с помощью зума и выяснить, в чем там дело.

4.5. Технология распознавания эмоций от компании Federal Express. Используется, чтобы выяснить, насколько хорошее или плохое впечатление сложилось у клиентов. В основе технологии лежит верификация голоса, анализируется громкость звука и его высота, чтобы находить в записанных звонках слова, звучащие как, например, «вау».

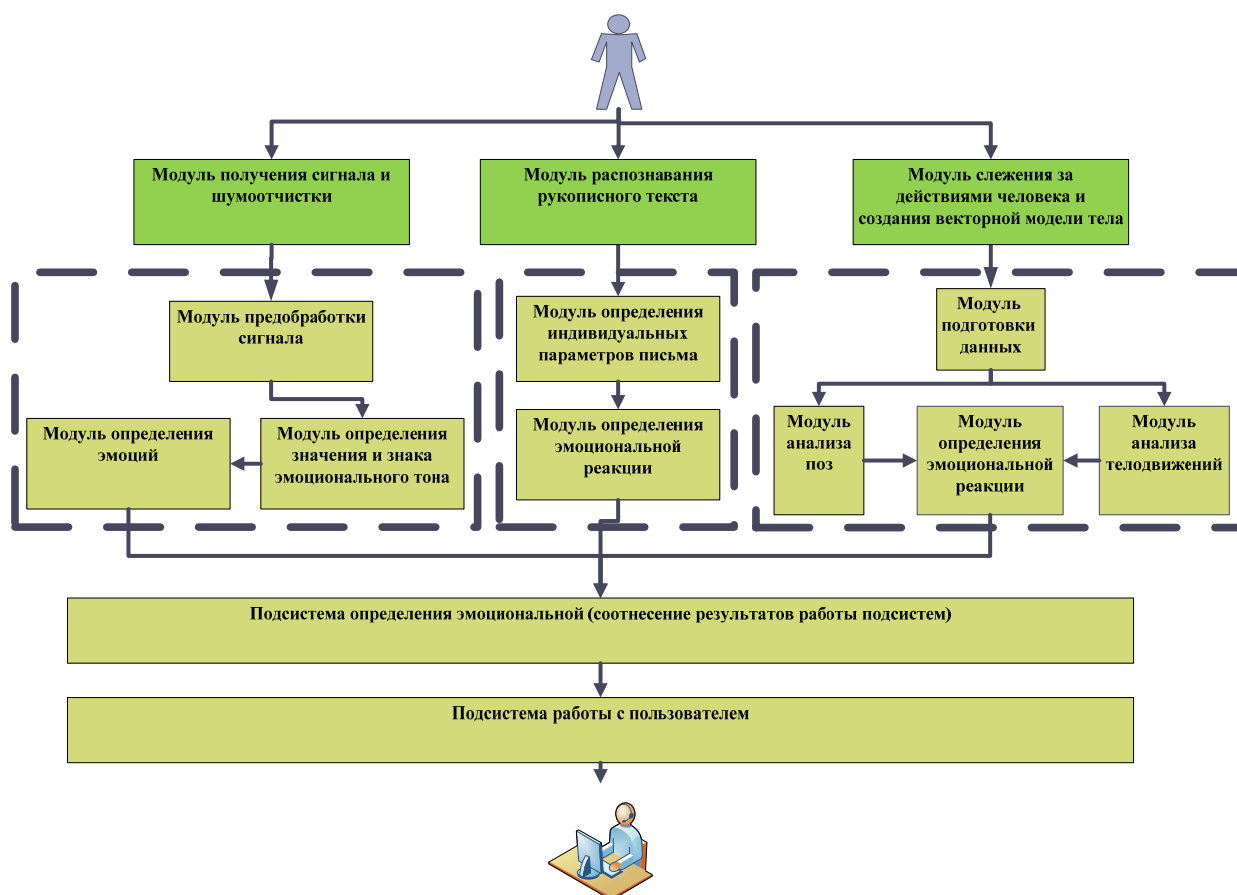
В результате проведенного обзора можно сформировать таблицу, в которой отмечены способности программных систем определять эмоциональное состояние по лицу, мимике, голосу и пантомимике.

Можно также сделать вывод о том, что на сегодняшний момент не существует системы, полностью реализующей анализ всех средств передачи эмоциональных реакций, а значит, нет средства очень точного определения эмоциональной реакции по нескольким показателям. Предлагаемые в работах [1, 2, 3, 8] модель, методики и построенная на их основе система могут решить эту проблему. В состав такой системы входят уже разработанные и подготавливаемые к разработке блоки, представленные на рисунке. На вход системы подаются видеосигнал, звуковой сигнал и образцы рукописного текста. На выходе оператору системы сообщается об эмоциональном состоянии исследуемых людей.

За счет использования методики определения знака эмоциональных реакций и модели эмоционального тона повышается эффективность обработки информации при человеко-компьютерном взаимодействии. Это дает возможность компьютеризированным системам гибко подстраиваться под эмоциональные реакции человека, увеличивая тем самым свои конкурентные преимущества. В первую очередь, это повышение эффективности, которое обеспечивается за счет формализации сложнейшего процесса эмоциональная реакция, а значит, создаются возможности для задания этого процесса в виде алгоритмов действия.

Результаты обзора систем распознавания эмоций

Разработчик	по мимике	по физиологическим показателям	по голосу	по пантомимике
FaceReader, GfK, Auto Smiley, Media Lab, TruMedia	Реализовано	Не реализовано	Не реализовано	Не реализовано
NeuroSky, Vibrant, Токийский университет, Affective Computing Research Group: AffQuake (MIT)	Не реализовано	Реализовано	Не реализовано	Не реализовано
Affective Computing Research Group: Emotive Alert (MIT), Affective Media, KTF, Sound Intelligence	Не реализовано	Не реализовано	Частично Реализовано	Не реализовано
Проект Natal, Sony Computer Entertainment America	Реализовано	Не реализовано	Частично Реализовано	Не Реализовано
Hatice Gunes и Massimo Piccardi (Computer Vision университет Сиднея), C. Shan, S. Gong, и P. W. McOwan (институт Лондона)	Реализовано	Не реализовано	Не реализовано	Частично Реализовано



Архитектура системы определения эмоциональных реакций

Это может способствовать созданию эффективных средств общения «человек – компьютер». Используемая в работе системы методика

определения эмоциональных реакций по речи позволяет получить знак эмоционального тона, что помогает отслеживать изменения отноше-

ния людей к происходящим событиям. Знак эмоционального тона показывает, прежде всего, отношение человека к произошедшему событию, а так как событий происходит достаточно много в единицу времени, то – общую вызванную реакцию на все эти события. Обнаруженные функциональные зависимости между акустическими параметрами и эмоциональными реакциями повышают качество распознавания речевого потока. Не секрет, что основная сложность создания высокоэффективных систем распознавания речи – это эмоциональность речи. Под воздействием эмоций речь может сильно меняться и обученная на нормальное, стабильное состояние человека программа просто не сможет понять, о чем говорит человек (или не сможет его идентифицировать). Исследование эмоций в речи позволит убрать это узкое место всех современных систем распознавания.

Разработанная модель эмоциональных реакций человека позволяет находить и описывать эмоции, образованные различными эмоциональными тонами, для которых не существует однозначного лексического значения в естественном языке. Достаточно легко определять состояние человека, если оно простое. Если человек испытывает гнев – то мы можем сказать, что человек гневается; если у человека радость – то мы можем сказать, что человек радуется. А как назвать состояния, когда человек грустит, гневается и радуется одновременно; как найти такое верное и емкое слово, которое сможет полностью определить все аспекты данного состояния? Ответ один: только за счет формализации возможно точно и емко обозначать такие сложные состояния человека, которые будут доступны для безошибочного и однозначного понимания роботизированными существами.

Жизнь стремительно информатизируется, и внедрение систем контроля эмоциональности не только по голосу при разговоре, но и по видеоряду, передаваемому по сетям 3G или через Интернет (т. е. без существенных задержек и в хорошем качестве) позволит внедрять системы, способные контролировать жизнь общества, выявляя агрессию, злость, депрессивные состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розалиев, В. Л. Предпосылки, возможности, перспективы создания автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 58–61.
2. Розалиев, В. Л. Построение модели эмоций по речи человека / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 62–65.
3. Розалиев, В. Л. Моделирование эмоционального состояния человека на основе гибридных методов / В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // Программные продукты и системы : междунар. науч.-практ. журн. – Тверь, 2010. – Вып. 2 (90). – С. 141–146.
4. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 9. – С. 26–34.
5. Заболеева-Зотова, А. В. Атрибутная грамматика формального документа «Техническое задание» / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 39–43.
6. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 49–52.
7. Заболеева-Зотова, А. В. Моделирование лексического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 2). – С. 39–42.
8. Розалиев, В. Л. Применение нейронных сетей и грануляции при построении автоматизированной системы определения эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 63–68.

УДК 519.688:621.396.99

*А. Г. Финогеев, В. Е. Богатырев, В. А. Маслов, А. А. Финогеев***МОНИТОРИНГ И ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ****Пензенский государственный университет**

E-mail: finogeev@sura.ru

В статье рассматриваются вопросы создания системы мониторинга и поддержки принятия решений на базе гетерогенной беспроводной сетевой среды ZigBee/GSM/GPRS/GPS. Формализована методология и принципы поддержки принятия решений по результатам мониторинга инженерных коммуникаций в городской системе ЖКХ. Предложена архитектура экспериментальной системы беспроводного мониторинга приборов промышленной автоматики блочно-модульных котельных и терминалов тепловых магистралей.

Ключевые слова: мониторинг, сенсорная сеть, поддержка принятия решений, ZigBee, SCADA-система, GSM/GPRS, беспроводные технологии.

*A. G. Finogeev, V. E. Bogatirev, V. A. Maslov, A. A. Finogeev***MONITORING AND SUPPORT OF DECISION-MAKING IN THE URBAN HEAT BASED ON HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORK****Penza State University**

In article are considered questions of the making the system monitoring and decision support on the base heterogeneous wireless network environment (ZigBee/GSM/GPRS/GPS). The formalized methodology and support decision principles making on result of the monitoring engineering communication in town system HCS. The architecture of the experimental system wireless monitoring for industrial automation block-module boiler and terminal of the heat pathways.

Keywords: monitoring, sensor network, support decision making, ZigBee, SCADA system, GSM/GPRS, wireless technologies.

Введение

Появление энергосберегающих технологий обусловлено необходимостью рационального расходования ресурсов, таких как электроэнергия, вода, тепло, газ. Конечной целью процессов энергосбережения и энергоучета является снижение расхода топливно-энергетических ресурсов на всех этапах жизненного цикла энергопотребления – от производства до утилизации. Развитие данных технологий можно условно разделить на следующие этапы:

1. Внедрение энергосберегающих технологий на всех стадиях строительства и реконструкции объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и производственной сферы.

2. Внедрение энергосберегающих мероприятий, оптимизация и регулирование потребления энергоресурсов, минимизация потерь.

3. Комплексное внедрение приборов учета и контроля потребления ресурсов, организация взаиморасчетов с поставщиками по фактическим величинам.

4. Внедрение автоматизированных систем мониторинга и диспетчеризации инженерных коммуникаций для предотвращения аварий или оперативной ликвидации их последствий.

Эффективность работы диспетчерских служб, аварийно-ремонтных бригад и руководителей предприятий ЖКХ определяется оперативно-

стью получения необходимой информации о состоянии эксплуатируемых объектов и инженерных коммуникаций топливно-энергетического комплекса в целях оптимизации потребления энергоресурсов и своевременного реагирования на различные внештатные ситуации. Как правило, объекты и коммуникации распределены на достаточно больших площадях, что делает невозможным использование проводных SCADA-систем для сбора телеметрических данных и мониторинга в реальном времени приборов промышленной автоматики, приборов учета и контроля энергоресурсов, датчиков состояния внешней среды и охранно-пожарной сигнализации и т. д. Несмотря на повышенную надежность и помехозащищенность проводных технологических систем по сравнению с беспроводными сетями, их прокладка и эксплуатация в масштабах городского хозяйства требует значительных материальных и финансовых вложений.

Современный уровень развития беспроводных технологий и тенденция к конвергенции различных информационных сервисов в единых мобильных устройствах показывает целесообразность разработки технологических SCADA-систем мониторинга и управления на базе беспроводных телекоммуникационных сетей. Возможность построения систем дистан-

ционного сбора телеметрической информации с приборов автоматики, учета и контроля, установленных на распределенных объектах ЖКХ и инженерных коммуникациях (электрических, газовых, водопроводных, тепловых и канализационных сетях), определяет необходимость и актуальность решения подобной масштабной задачи. Идея использования беспроводных технологий в системах мониторинга и управления стала привлекательной в последнее время в результате широкого распространения сотовой связи, появления недорогих GSM/GPRS-модемов, модулей GPS/ГЛОНАСС-навигации, вычислительных устройств сверхнизкого энергопотребления, интегрированных с радиопередатчиками и работающих в безлицензионных ISM-диапазонах.

1. Формализация методологии и принципов поддержки принятия решений в комплексной системе мониторинга ЖКХ

Исследования информационных процессов управления региональными коммунальными системами, объединяющими водопроводные, канализационные, электрические, тепловые, газовые сети, показали, что совокупность задач, решаемых на разных этапах принятия решений, нужно рассматривать с точки зрения системно-синергетического подхода и теории сложных систем [1].

Система поддержки принятия решений по результатам распределенного мониторинга определяет построение систем управления, реализующих следующие особенности:

- возможность решения двух задач по локальным критериям оптимальности: задачи самоорганизации структуры автономного управления и задачи координации подчиненных подсистем нижнего уровня иерархии;
- возможность учета приоритетов при принятии решений между подсистемами, входящими в состав сложной системы;
- возможность установления связей подсистем нижнего уровня с подсистемами верхних уровней путем передачи структурированной и обобщенной информации;
- возможность установления связей подсистем верхних уровней с подсистемами нижнего уровня посредством управляющих воздействий;
- расположение подсистем с выраженными свойствами по уровням иерархии в соответствии с приоритетом принимаемых решений; причем в горизонтальной плоскости подсистемы обладают одинаковым приоритетом в выборе решений.

Результатом поддержки принятия решений является разработка перечня мероприятий, направленных на обеспечение оптимального и безаварийного функционирования сетей инженерных коммуникаций в городских системах генерации, доставки и распределения энергоресурсов. В частности, такие мероприятия должны быть направлены:

- на повышение эффективности работы диспетчерских служб;
- использование технологий энергосбережения;
- оптимизацию энергопотребления;
- внедрение технологий мониторинга инженерных коммуникаций;
- предотвращение внештатных, аварийных и чрезвычайных ситуаций;
- оперативное реагирование на аварийные и чрезвычайные ситуации;
- обеспечение профилактических и аварийных ремонтных работ (и т. д.).

Обозначим обобщенную методологию поддержки принятия решений при управлении в службах ЖКХ через Z . Она включает методики решения множества следующих подзадач Z_n :

- мониторинга инженерных коммуникаций и других объектов ЖКХ;
- учета потребления энергоресурсов и расчетов клиентов;
- обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ;
- оперативного реагирования на аварии и внештатные ситуации;
- инвентаризации объектов распределенной инфраструктуры ЖКХ;
- анализа деятельности и качества услуг предприятий ЖКХ;
- развития, проектирования и модернизации инженерных сетей.

Существует множество $X (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ возможных вариантов принятия решений:

- диспетчерского управления для обеспечения нормальных режимов эксплуатации инженерных коммуникаций (X_1);
- по оперативному реагированию на угрозы, внештатные и аварийные ситуации (X_2);
- по организации учета потребления энергоресурсов и расчетов клиентов за них (X_3);
- по внедрению энергосберегающих технологий и оптимизации энергопотребления на всех стадиях производства, доставки, распределения и потребления энергоресурсов (X_4);
- по проектированию, модернизации и реконструкции инженерных сетей (X_5).

Определим множество R вариантов принятия прочих управленческих решений и множество V технико-экономических оценок целесообразности принятия решений $\{X \cup R\}$ с учетом выполнения эксплуатационных и технических требований T .

В [2] показаны подходы к разработке информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений задач, связанных с управлениями инженерными сетями и обеспечением потребителей энергоресурсами. Для оценки эффективности решения задачи управления с учетом реализуемости используется функция F , которая представляет собой отображение декартова произведения $X \times R$ на множество оценок V :

$$F: X \times R \rightarrow V. \quad (1)$$

Таким образом, методология поддержки принятия решений Z характеризуется набором (X, R, F) . Элемент x_i из X , удовлетворяющий функционалу F , является решением конкретной задачи поддержки принятия решений Z_n и характеризуется предикатом $P(x_i, Z_n) = (x_i \text{ есть решение } Z_n)$.

Определим задачи поддержки принятия решений в отдельных службах ЖКХ по результатам мониторинга конкретных инженерных коммуникаций: для водопроводных и канализационных сетей – Z_v ; для электрических сетей – Z_e ; для тепловых сетей – Z_t ; для газовых сетей – Z_g . Задачу принятия решений по выбору оптимальных транспортных маршрутов аварийных бригад и руководителей обозначим через Z_c . Тогда, как и в общем случае для всей ЖКХ, можно определить задачи Z_e, Z_v, Z_b, Z_g и Z_c соответствующими кортежами $(X_e, R_e, F_e), (X_v, R_v, F_v), (X_b, R_b, F_b), (X_g, R_g, F_g)$ и (X_c, R_c, F_c) , варианты принятия решений $\{X \cup R\}$ как декартовы произведения: $X = X_e \times X_v \times X_t \times X_g \times X_c$ и $R = R_e \times R_v \times R_t \times R_g \times R_c$. Задачи управления в соответствующих службах ЖКХ представляют собой сужение общей задачи Z на конкретных множествах: Z_e на X_e, Z_v на X_v, Z_t на X_t, Z_g на X_g, Z_c на X_c , причем $x_i = (x_e, x_v, x_b, x_g, x_c)$.

Задачи управления отдельными компонентами конкретных классов инженерных коммуникаций Z'_j ($i \in \{e, v, t, g, c\}, j \in \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$), также могут быть сформулированы в виде функционала F и охарактеризованы своими кортежами $(X_{ij}, R_{ij}, F_{ij}, V_{ij})$.

В наших проектах выполняются задачи поддержки принятия решений при управлении городской системой теплоснабжения по ре-

зультатам мониторинга тепловых сетей посредством разработанной беспроводной системы оперативного дистанционного контроля тепловых магистралей и пунктов подогрева (блочномодульных котельных (БМК) и центральных тепловых пунктов (ЦТП)). В данном случае следует выделить задачи принятия решений Z'_j в процессе:

- учета, контроля и оптимизации теплопотребления в домах и квартирах группами потребителей;
- учета, контроля и минимизации тепловых потерь на магистралях, пунктах подогрева и распределения теплоносителя, объектах теплопотребления;
- определения характеристик участков тепловых сетей;
- выбора конструктивных компонентов тепловой сети с учетом использования энергосберегающих технологий;
- внедрения мероприятий реагирования на внештатные, аварийные и чрезвычайные ситуации и т. п.

Если обозначить $S_t = (x'_1, \dots, x'_k)$ совокупность вариантов решений задачи управления тепловыми инженерными сетями $Z'_j, j = 1, \dots, n_t$, то для S_t всегда можно выбрать вариант $x_t \in X_t$, который характеризуется оператором $x_t = \Theta_t(S_t)$. Аналогичные рассуждения имеют место и при определении локальных задач поддержки принятия решений в других службах ЖКХ [2].

Выбор варианта принятия решения при управлении всеми системами ЖКХ осуществляется, исходя из максимального удовлетворения спроса населения в энергоресурсах (вода, тепло, электричество и газ) при минимизации затрат на производство и транспортировку энергоносителей, минимизации потерь и оптимизации энергопотребления. При решении задач Z_e, Z_v, Z_b, Z_g, Z_c фактически формируется многомерный вектор S_n , который порождает решение задачи Z , при эксплуатационных и технических условиях $T = C \times P \times E \times N$, где

- $C \rightarrow \min$ – затраты на энергоснабжение конечных потребителей;
- $P \rightarrow \min$ – потери при энергоснабжении;
- $E \rightarrow \max$ – энергоэффективность;
- $N \rightarrow \text{const}$ – требуемый уровень надежности инженерных коммуникаций.

Для решения задачи поддержки принятия решений в системе теплоснабжения $Z'_j, j = 1, \dots, n_t$ должен формироваться вектор S_t , который порождал бы решение задачи Z_t . В формализованном виде запишем:

$$\exists(Z'_j, x'_j, j = \overline{1, n_i}) : P(x'_j, Z'_j) \Rightarrow P(x', Z') \left| \begin{array}{l} x' = \Theta'(S_i) \\ S_i = (x'_1, \dots, x'_{n_i}). \end{array} \right. \quad (2)$$

Если требуется решение задачи при достижении экстремума целевой функции F , опреде-

ленной на множестве критериев $T = \{x|P(x, Z)\}$, то имеем:

$$\begin{aligned} \exists(Z'_j, x'_j, j = \overline{1, n_i}) : P(x'_j, Z'_j) \Rightarrow \exists(S^i_t = (x^i_{t1}, \dots, x^i_{tm}), x^i_{ij} = \{x_{ij}\}, j = \overline{1, n_i}) : \\ F_t(\Theta_t(S^i_t)) = \underset{x \in H_t}{extr} F_t(x_t). \end{aligned} \quad (3)$$

Поскольку решение задач поддержки принятия решений ведется на базе системно-синергетического подхода, то система мониторинга и поддержки принятия решений в ЖКХ должна удовлетворять базовым системным принципам иерархичности ее структуры, координации частных задач, совместимости и модифицируемости.

Принцип иерархичности Y можно представить как отношения на декартовом произведении множеств: $Y = O \times W \times M \times D \times L$, где O – множество решений задачи управления региональными коммунальными системами; W – множество операторов (математических, инфологических и процедурных моделей поддержки принятия решений по результатам мониторинга отдельных видов коммуникаций); $M = \{M_e, M_v, M_b, M_g, M_c\}$ – множество управляющих сигналов для принятия решений при управлении водопроводными, электрическими, тепловыми, газовыми и транспортными подсистемами; $D = \{D_e, D_v, D_b, D_g, D_c\}$ – множество информационных сигналов о решении частных задач управления; $L = \{L_e, L_v, L_b, L_g, L_c\}$ – множество координирующих сигналов для задач управления нижестоящих уровней.

Принцип координируемости означает, что задачи поддержки принятия решений нижестоящего уровня должны быть скоординированы относительно задач вышестоящего уровня. Для формализации этого принципа определены координирующие сигналы верхнего уровня управления для операторов принятия решений Z_e, Z_v, Z_b, Z_g, Z_c следующим образом:

$$\begin{aligned} \forall l_e \in L_e : Z_e(I_e) : R \times \{ \times D^e_j | j \in N_e \} \rightarrow \{L_{ej} | j \in N_e\} \\ \forall l_v \in L_v : Z_v(I_v) : R \times \{ \times D^v_j | j \in N_v \} \rightarrow \{L_{vj} | j \in N_v\} \\ \forall l_t \in L_t : Z_t(I_t) : R \times \{ \times D^t_j | j \in N_t \} \rightarrow \{L_{tj} | j \in N_t\} \\ \forall l_g \in L_g : Z_g(I_g) : R \times \{ \times D^g_j | j \in N_g \} \rightarrow \{L_{gj} | j \in N_g\} \\ \forall l_c \in L_c : Z_c(I_c) : R \times \{ \times D^c_j | j \in N_c \} \rightarrow \{L_{cj} | j \in N_c\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, операторы $Z_e(l_e), Z_v(l_v), Z_t(l_t), Z_g(l_g), Z_c(l_c)$ параметрически зависят от координирующих сигналов l_e, l_v, l_t, l_g, l_c , поступающих с вышестоящих уровней системы поддержки принятия решений.

Принцип координируемости задач поддержки принятия решений относительно вышестоящего уровня управления требует, чтобы задачи верхнего уровня и множество задач нижнего уровня имели решение, т. е.:

$$\begin{aligned} \forall i \in \{e, v, t, g, c\}, \wedge \forall j \in (n_1, n_2, \dots, n_k) \exists(I_{ij}, m_{ij}) \wedge \exists(I_e, I_v, I_t, I_g, I_c) : \\ [P(m_{ij}, Z_{ij}(I_{ij})) \wedge P(I_{ij}, Z_e(I_e)) \wedge P(I_{ij}, Z_v(I_v)) \wedge P(I_{ij}, Z_t(I_t)) \wedge P(I_{ij}, Z_g(I_g)) \\ \wedge P(I_{ij}, Z_c(I_c))] \wedge P(I_e, I_v, I_t, I_g, I_c, Z) \end{aligned} \quad (5)$$

В системах поддержки принятия решений задачи вышестоящего уровня могут воздействовать на процесс управления только через задачи нижнего уровня. Поэтому для достижения целей глобальной задачи управления необходимо учитывать принцип совместимости нижестоящих целей и задач поддержки принятия решений с вышестоящими. Вышестоящая задача, например, Z_i , осуществляя координацию задачи Z_{ij} , преследует свои цели (достижение максимума энергоэффективности E при минимуме теплотеря P и энергозатрат C). Поэтому

задачи, например, $Z_{ij} | j \in N_i$ должны быть совместимы по отношению к общей задаче Z . Пусть оператор f_m отображает множество координирующих сигналов $I = \{I_e, I_v, I_b, I_g, I_c\}$ на множество сигналов управления инженерными коммуникациями. Будем считать известными обратный оператор f^1_m , позволяющий определить сигналы $I = (I_e, I_v, I_b, I_g, I_c)$ по результатам мониторинга коммуникаций m_{ij} , т. е.:

$$\begin{aligned} I = f^1_m(m_{ij}) | (i \in \{e, v, t, g, c\}, \\ j \in (n_1, n_2, \dots, n_k)). \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда требование совместимости задач в иерархической системе управления комму-

нальными системами может быть сформулировано в форме:

$$\begin{aligned} & \forall i \in \{e, v, t, g, c\}, \wedge j \in (n_1, n_2, \dots, n_k) \exists (I_{ij}, m_{ij}) \wedge \exists (I_e, I_v, I_t, I_g, I_c): \\ & [P(m_{ij}, Z_{ij}(I_{ij})) \wedge P(M_e, Z_e) \wedge P(M_v, Z_v) \wedge P(M_t, Z_t) \wedge P(M_g, Z_g) \\ & \wedge P(M_c, Z_c)] \Rightarrow [P(m_{ij}, Z_{ij}(I_{ij})) \wedge P(f_m^{-1}(m_{ij}, i \in \{e, v, t, g, c\}, \\ & j \in (n_1, n_2, \dots, n_k), Z)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Это условие означает, что задачи Z_{ij} нижнего уровня скорректированы относительно глобальной задачи Z тогда, когда они скорректированы относительно частных задач Z_e, Z_v, Z_t, Z_g, Z_c .

Принцип модифицируемости означает возможность изменения (модификации) задач нижнего уровня управления, в случае, когда в многоуровневой системе поддержки принятия решений отсутствует координируемость. Другими словами, требуется найти такое множество координирующих сигналов $L = \{L_e, L_v, L_t, L_g, L_c\}$ и множество задач управления $Z_j^i (i \in \{e, v, t, g, c\}, j \in (n_1, n_2, \dots, n_k))$, при которых выполняются условия координируемости и совместимости.

При проектировании уровень формализации задач управления определяется наличием информации об объектах производства и распределения энергии, об объектах энергопотребления, о конфигурации инженерных коммуникаций сетей, о характеристиках компонент (конструктивных элементах, приборов автоматики учета, контроля и регулировки) в системы энергоснабжения, о методиках принятия решений, о мероприятиях по профилактике и ликвидации последствий аварий. Алгоритмы решения взаимосвязанных задач управления сетями должны обеспечивать нахождение решения с точностью, согласованной с точностью априорной информации. Разработка интеллектуального и программного обеспечения на основе системного подхода позволит повысить качество, снизить сроки выполнения и стоимость реализации управленческих решений, связанных с удовлетворением потребностей населения в энергоресурсах.

В соответствии с системно-синергетическим подходом, функционирование системы мониторинга и поддержки принятия решений базируется на перечисленных формализованных принципах управления инженерными коммуникациями комплексной инфраструктуры территории [3].

2. Функциональность системы беспроводного мониторинга на примере тепловых сетей города

Рассмотрим основные функции предлагаемого комплекса оперативного дистанционного мониторинга в системе городского теплоснабжения с использованием гетерогенной технологической радиосети, построенной на базе беспроводных технологий ZigBee (802.15.4) и GSM/GPRS [4]. Концепция построения системы удаленного мониторинга приборов тепловой автоматики, учета теплоносителя на объектах ЖКХ, блочно-модульных котельных и ЦТП, а также состояния теплотрасс предусматривает реализацию следующих функций:

- автоматический сбор с тепловычислителей параметров теплопотребления (текущих, часовых, суточных, архивных) для сохранения в базе данных и передачи в ГИС компоненту с целью пространственного анализа;

- автоматический сбор данных с приборов тепловой автоматики, датчиков загазованности, пожарно-охранной сигнализации на БМК и ЦТП;

- автоматический мониторинг состояния тепловых магистралей посредством опросов терминальных модулей системы проводного оперативного дистанционного контроля (ОДК);

- автоматический мониторинг состояния теплосчетчиков и других параметров системы теплопотребления на объектах ЖКХ;

- передача распределенных результатов мониторинга в технологической гетерогенной беспроводной сети [5] на центральный диспетчерский пункт и на мобильные средства связи различными способами (с использованием мощных направленных антенн, цепочек ZigBee-ретрансляторов, GSM/GPRS-модулей, WiFi-маршрутизаторов);

- обработка и интеллектуальный анализ результатов мониторинга с целью предоставления результатов мониторинга и рекомендаций по принятию решений в наглядном виде;

- отображение результатов мониторинга посредством Web-интерфейса на стационарных

диспетчерских компьютерах и мобильных средствах связи руководителей и аварийно-ремонтных бригад;

– определение местоположения и слежение за перемещениями мобильных средств связи руководителей и аварийных бригад.

Для определения местоположения мобильных средств на картах и планах местности предложена методология [6], которая допускает использование технологий спутниковой навигации и позиционирования относительно базовых станций сотовой связи на открытом пространстве. Однако внутри административных зданий и производственных помещений, где нет возможности приема сигнала от спутников и плохие условия приема сигналов от станций сотовой связи, используются методики локального позиционирования относительно источников радиоизлучения, работающих в ISM-диапазонах (WiFi, Bluetooth и ZigBee-узлов) с привязкой к координатам системы навигации.

Особенностью системы мониторинга является использование сенсорных ZigBee-узлов компании Jennic в качестве контроллеров сбора телеметрической информации с приборов тепловой автоматики, прочих устройств и датчиков, установленных в БМК и ЦТП, а также с терминалов проводной системы ОДК теплотрасс [7]. Преимуществом является низкое энергопотребление подобных сенсорных устройств, которое позволяет размещать их без привязки к источникам внешнего питания, что особенно актуально для тепловых магистралей. Для решения проблемы передачи на большие расстояния в условиях городской застройки и отсутствия прямой видимости в проекте используются три базовых технологии:

– направленные мощные антенны (не менее 12 dBi), вынесенные на высоту для установления прямой видимости;

– методы динамической маршрутизации в ячеистой сенсорной сети с целью ретрансляции данных через промежуточные узлы, что позволяет использовать маломощные радиопередатчики сенсорных узлов;

– передача данных с использованием сотовой сети и модемов GSM/GPRS. Серьезной проблемой здесь являются условия эксплуатации автономных сенсорных ZigBee-узлов, устанавливаемых непосредственно на терминалах тепловых магистралей при низкотемпературных режимах, что снижает срок службы источников питания. Поэтому создание и админист-

рирование системы в масштабе территориально распределенного предприятия с учетом условий эксплуатации, требований надежности, автономности работы в режиме реального времени является достаточно сложной научно-технической задачей.

3. Характеристика основных объектов распределенного мониторинга

В системе городского теплоснабжения можно выделить три основных подсистемы, которые требуют постоянного контроля: подсистема подогрева теплоносителя; подсистема доставки; распределения и утилизации теплоносителя; подсистема контроля и учета потребления тепла. В последнем случае существуют готовые решения на основе использования GSM/GPRS-модемов сотовой связи, поэтому рассмотрим характеристики объектов распределенного мониторинга для первых двух подсистем [8].

В подсистеме подогрева городского теплоснабжения в последнее время применяются автоматические блочно-модульные котельные (БМК), выполненные в формате транспортного контейнера с комплектом оборудования. Применение БМК имеет ряд преимуществ: высокое КПД, низкая стоимость монтажа и эксплуатации за счет заводской комплектации, автономность работы, снижение тепловых потерь за счет приближения к потребителям. Контроль и регулирование температуры теплоносителя производится по графикам, в зависимости от температуры наружного воздуха путем смешивания обратной воды, подающейся в обход теплообменников. Для этого в БМК устанавливаются контроллеры учета типа ОВЕН ТРМ32-Щ4, к которым подключены датчики ТСМ 50М, ТСП 50П или ТСМ 100М, ТСП 100П, Pt100, контролирующие температуру наружного воздуха ($T_{\text{наруж}}$), температуру обратной воды ($T_{\text{обр}}$), температуру воды в контуре отопления ($T_{\text{отоп}}$), температуру воды в контуре горячего водоснабжения ($T_{\text{гвс}}$). Контроллеры выполняют и другие функции: обеспечение защиты от превышения температуры воды, работа в ночном режиме, регистрация данных и т. д. Для погодного регулирования теплоснабжения используются тепловычислители типа ВКТ-5(7), которые предназначены для вычисления управляющего воздействия на исполнительное устройство (запорный клапан, гидроэлеватор). Такой прибор решает несколько за-

дач: регулирование температуры воздуха в помещении, регулирование давления теплоносителя, регулирование расхода, регулирование температуры горячего водоснабжения (ГВС). Регулирование температур осуществляется по отопительному графику, а защита от превышения температуры – по графику температуры обратной воды. Приборы имеют интерфейсы RS-232/RS-485 для связи с вычислительными устройствами. Недостатком БМК является отсутствие возможности контролировать его работу с удаленного диспетчерского пункта, так как для снятия показаний с приборов и выполнения регламентных работ требуется присутствие специалиста на объекте.

В подсистеме современных тепловых магистралей для транспортировки теплоносителя используются двойные трубы с внутренним утеплителем и системой проводного оперативного дистанционного контроля (ОДК). Система ОДК служит для обработки информации о состоянии изоляции и включает выносные терминалы для контрольных измерений, кабели для вывода терминалов на поверхность, приборы контроля и обнаружения (детекторы и локаторы). При повреждении внутренней трубы и попадании воды в слой теплоизоляции с помощью детектора, подключенного к терминалу, можно обнаружить изменение состояния системы. Однако для локализации поврежденного участка необходимо использовать локатор, который позволяет определить повреждение на расстоянии до 2 км с точностью около 1 %. Недостатком системы является отсутствие оперативного контроля, так как для детектирования и локализации требуется периодический обход магистралей и подключение устройств к терминалам, что фактически исключает своевременное обнаружение и предупреждение аварийных ситуаций.

4. Архитектура системы мониторинга и поддержки принятия решений тепловой сети города

Гетерогенная технологическая радиосеть системы беспроводного мониторинга включает локальные сенсорные ZigBee-сегменты котельных, сенсорные ZigBee-сегменты тепловых магистралей, сенсорную ZigBee-сеть регионального уровня, сотовую сеть GSM/GPRS, спутниковый навигационный сегмент. Сама система беспроводного дистанционного мониторинга включает пять подсистем:

- 1) подсистему мониторинга состояния теплоцентралей;
- 2) подсистему мониторинга и управления БМК;
- 3) подсистему мобильной поддержки руководителей и аварийных бригад;
- 4) подсистему учета и контроля теплопотребления;
- 5) диспетчерский центр сбора и обработки данных.

1. *Подсистема мониторинга состояния теплоцентралей.* Для оперативного и постоянного мониторинга состояния магистралей предлагается установка детекторов, совмещенных с сенсорными модулями ZigBee, непосредственно на терминалах. Модули предназначены для измерения волнового сопротивления теплоизоляции труб на различных участках и передачи значений на диспетчерский компьютер, где, в случае изменения параметров волнового сопротивления, регистрируется внештатное событие в момент его возникновения и производится локализация места повреждения. Передача информации выполняется с использованием метода динамической маршрутизации через промежуточные сенсорные узлы, установленные на терминалах. Согласно требованиям нормативно-проектной документации на монтаж тепловых магистралей установка терминалов предусмотрена каждые 300 м. Данного расстояния достаточно для установления надежных радиоканалов между соседними маломощными ZigBee-модулями и функционирования сенсорной транспортной сети. Возможна регистрация событий и на мобильных средствах связи с ZigBee-модемами при их попадании в зону радиодоступа вокруг магистралей. Подобный мониторинг состояния участков теплотрасс позволяет оперативно определять момент начала протечки теплоносителя на магистрали, тем самым предупреждая аварийные ситуации, минимизировать затраты на ликвидацию последствий аварий.

2. *Подсистема мониторинга и управления БМК.* Подсистема включает ZigBee-модули компании Jennic (JN5139-Zxx--M02/M04), которые устанавливаются на БМК в разных районах города. Внутри котельной к ним подключаются приборы тепловой автоматики типа ОВЕН ТРМ32-Щ4, тепловычислители типа ВКТ-5/7, датчики загазованности и охранно-пожарной сигнализации. Для соединения интерфейсов RS-232/RS-485 данных приборов с радиокана-

лом разработаны модули преобразования данных в форматы кадров ZigBee для буферизированной передачи посредством профиля SPPIO через асинхронный порт UART. Координатор содержит приемопередатчик с встроенным регулируемым усилителем мощности и связанную с ним наружную направленную антенну для передачи данных на антенну диспетчерской напрямую, либо через промежуточный ZigBee-ретранслятор. В качестве промежуточных ретрансляторов целесообразно использовать узлы, связанные с терминалами магистралей. Для мониторинга объектов, в зоне радиовидимости которых отсутствуют приемные антенны или промежуточные узлы, используются готовые решения по передаче данных в сотовой сети посредством GSM/GPRS-модемов, хотя данное решение является достаточно дорогим из-за тарифов провайдеров сотовой связи.

3. *Подсистема мобильной информационной поддержки руководителей и аварийно-ремонтных бригад.* Для повышения эффективности принятия решений и оперативности реагирования на внештатные ситуации используется третья подсистема, которая включает мобильные средства связи с установленным программным обеспечением, позволяющим получать информацию с диспетчерского сервера или непосредственно с коммуникационных модулей котельных и магистралей, а также трекеры GSM/ГЛОНАСС/GPS для слежения за передвижениями транспорта предприятия.

4. *Подсистема учета и контроля теплопотребления.* Подсистема предназначена для автоматизированного надежного и достоверного коммерческого учета и контроля потребления энергоресурсов как по отдельным потребителям (подомовой, поквартирный учет), так и по управляющим компаниям с минимизацией влияния «человеческого фактора». Учет ведется посредством дистанционного считывания показаний с различных счетчиков тепла, оборудованных телеметрическим или интерфейсным выходом и передачи результатов мониторинга через GSM/GPRS-модемы сотовой сети на диспетчерские пункты и центра взаиморасчетов.

5. *Диспетчерский центр сбора и обработки данных.* В диспетчерской установлен сервер с геоинформационной системой мониторинга, хранилищем данных для сбора информации с узлов распределенной сети и OLAP-компо-

нентами обработки и визуализации результатов мониторинга на карте города. К серверу подключен центральный ZigBee-координатор с шлюзами ZigBee-Ethernet, ZigBee-TCP/IP, GSM модем-координатор для получения информации с GSM-модулей котельных и навигационных трекеров.

5. Описание работы экспериментальной системы мониторинга и поддержки принятия решений

В настоящее время создан и введен в эксплуатацию прототип программно-аппаратного комплекса для системы теплоснабжения города Кузнецка Пензенской области. Система предназначена для эффективного управления технологическим процессом обеспечения потребителей тепловой энергией и горячим водоснабжением с целью повышения энергоэффективности, надежности, качества и экономичности. Распределенная система мониторинга будет охватывать в общей сложности восемь тепловых пунктов подогрева и несколько километров центральных тепловых магистралей с проводной системой ОДК. В настоящее время развернут прототип системы с двумя подключенными автономными котельными к технологической гетерогенной радиосети, включающей сенсорный сегмент и сегмент сотовой связи.

Сенсорный сегмент сети соединяет по радиоканалу ISM-диапазона (2,4 ГГц) посредством мощной направленной антенны ZigBee-модули компании Jennic (JN5139-Zxx--M02/M04), установленные на блочно-модульной котельной на расстоянии около 2 км от диспетчерского центра, которые снимают показания с прибора тепловой автоматики ОВЕН ТРМ32-Щ4 и тепловычислителя ВКТ-5. Для конфигурирования и эксплуатации ZigBee-модулей выбрана прошивка JN-AN-1016-ZigBee-Wireless-UART, которая предназначена для создания UART-соединения поверх беспроводной сети ZigBee. Прошивка модифицирована с учетом параметров выходных портов приборов ТРМ32-Щ4, ВКТ-5 и преобразователей интерфейсов.

Сегмент сотовой сети соединяет по радиоканалу GSM-модемы IRZ MC52iT, установленные на удаленной БМК (микрорайон «Дружба», г. Кузнецк) на расстоянии около 8 км от диспетчерского центра, которые снимают показания с тепловычислителя ВКТ-5 через интерфейс RS-232. Модемы выполнены на базе модуля Cinterion MC52i и предназначены для

приема/передачи SMS и данных в стандарте GSM 900/1800 и GPRS (Class 10) со скоростью до 171 кбит/с. Для опроса приборов ВКТ-5 и ВКТ-7 с диспетчерского сервера по голосовому каналу передачи данных применяется программная утилита компании «Теплоком». Передача цифровых данных происходит с использованием технологии передачи данных CSD (Circuit Switched Data).

Сбор результатов мониторинга выполняется следующими способами: по расписанию, по запросу от сервера, по запросу от мобильных устройств, при возникновении внештатной ситуации. В первом случае информация от контроллеров и терминалов передается на центральный сервер в определенные моменты времени согласно расписанию перехода сенсорных узлов в «активное» состояние и сбора показаний с приборов и датчиков. В остальные периоды времени сенсорные узлы находятся в «спящем» режиме пониженного энергопотребления. Во втором случае диспетчер производит адресный или широковещательный опрос сенсорных узлов на предмет сбора требуемой информации. В третьем случае опрос осуществляется путем инициирования сбора информации с узлов через диспетчерский сервер, либо путем локального опроса узлов с мобильного устройства в зоне радиодоступа. При наступлении внештатной ситуации активация «спящих» узлов и передача информации с координатами места возникновения аварийного события производится узлами самостоятельно. Событие регистрируется на сервере, далее данные передаются руководителям и аварийным бригадам, перемещение которых отслеживается на карте города посредством навигационных трекеров GSM/GPS/ГЛОНАСС.

Заключение

Основные пути преодоления кризиса в жилищно-коммунальном хозяйстве направлены на внедрение энергосберегающих технологий и систем контроля над потреблением энергоресурсов. Комплексная интеграция в проектируемой системе инновационных технологий, таких как распределенный мониторинг приборов тепловой автоматики в реальном времени, интеллектуальный анализ результатов мониторинга, пространственный анализ с применением ГИС, передача информации на мобильные средства связи, определение местоположения аварийно-

ремонтных бригад и руководителей, позволяет создать принципиально новые методы управления, с целью оптимизации потребления энергоресурсов и повышения эффективности принятия решений по предупреждению аварий и ликвидации их последствий.

Аналогичные системы могут использоваться для распределенного мониторинга инженерных коммуникаций, контроля и учета потребления энергоресурсов в различных сферах ЖКХ. Работы над проектом создания системы мониторинга и поддержки принятия решений выполняются студентами, аспирантами и преподавателями кафедры САПР Пензенского государственного университета, Пензенского филиала Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, сотрудниками МУП «Гортеплосеть» города Кузнецка Пензенской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Финогеев, А. Г.* Моделирование исследования системно-синергетических процессов в информационных средах : монография / А. Г. Финогеев. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2004. – 223 с.
2. *Пахомов, П. И.* Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П. И. Пахомов, В. А. Немтинов. – М.: Машиностроение, 2009. – 124 с.
3. *Бершадский, А. М.* Концепция мониторинга комплексной инфраструктуры территории : монография / А. М. Бершадский, А. С. Бождай. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 242 с.
4. *Финогеев, А. Г.* Система беспроводного оперативного дистанционного мониторинга и управления сетями городского теплоснабжения на основе сенсорных сетей. [Электронный ресурс] / А. Г. Финогеев [и др.]. – 2010. – Режим доступа : <http://inno-terra.ru/sites/default/files/98-107.doc>
5. *Бершадский, А. М.* Разработка и моделирование гетерогенных инфраструктур для беспроводного информационного обеспечения процессов мониторинга / А. М. Бершадский, А. Г. Финогеев, А. С. Бождай // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1.
6. *Маслов, В. А.* Локализация в беспроводных сетях / В. А. Маслов, А. Г. Финогеев // Надежность и качество : сб. тр. Междунар. симп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 234–237.
7. *Финогеев, А. Г.* Мобильные сенсорные сети для поддержки принятия решений / А. Г. Финогеев, А. А. Финогеев // ИНФО-2009 : сб. материалов Междунар. конф. (1–10 октября 2009). – Сочи, 2009. – С. 146–149.
8. *Финогеев, А. Г.* Системы оперативного дистанционного контроля / А. Г. Финогеев, А. А. Финогеев // Надежность и качество: сб. тр. Междунар. симп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 2. – С. 124–126.

УДК 625.7.001.18:681.3.016

М. В. Щербakov, Д. А. Скоробогатченко, А. А. Авдеев, М. А. Аль-Гунаид
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Maxim.shcherbakov@gmail.com, algonid@gmail.com, Avdeev.alexander@gmail.com

Предлагается использование нечеткой нейронной сети для прогнозирования изменения эксплуатационного состояния автомобильных дорог. Для практических расчетов по прогнозированию разработана автоматизированная система. Приведен практический пример прогнозирования изменения эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, эксплуатационное состояние, нечеткие нейронные сети.

M. V. Shcherbakov, D. A. Skorobogatchenko, A. A. Avdeev, M. A. Al-Gunaid

DESIGN PROBLEMS OF PREDICTION OF OPERATING CAR
NETWORK-BASED FUZZY NEURAL NETWORKS

Volgograd State Technical University

Proposes to use fuzzy neural network for forecasting changes the operational status of highways. For practical calculations to forecast developed an automated system. The practical examples of forecasting changes in the operational status of highways.

Keywords: roads, operational status, fuzzy neural networks.

В настоящее время для принятия обоснованных управленческих решений в дорожно-строительном секторе необходима эффективная система прогнозирования эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ЭС АД) с учетом внешнего транспортно-климатического воздействия и дорожных работ. В этом направлении разработан ряд программных продуктов для управления текущим ремонтом и содержанием автомобильных дорог, среди которых можно выделить АБДД «РЕМОНТ» и АБДД «ДОРОГА», Титул 2000-2005, IndorGIS/Road «Минимум» [4]. Однако широкому практическому применению созданных систем препятствует необходимость сбора большого количества данных на основе дорогостоящей диагностики эксплуатационного состояния автомобильных дорог [2].

Таким образом, в связи с тем, что процессы прогнозирования изменения ЭС АД достаточно сложны для анализа с помощью общепринятых количественных методов, а ЭС АД в каждый конкретный момент времени может очень удобно интерпретироваться качественной информацией, авторы считают, что для прогнозирования изменения ЭС АД большие возможности открывает использование нечеткой логики [1, 5]. В свою очередь, объединение нечетких множеств с нейронными сетями в нечеткую нейронную сеть позволяет повысить точность прогноза и устранить субъективизм в формули-

ровке правил [3]. Существенным положительным качеством получаемой в результате такого объединения нечеткой нейронной сети (ННС) является способность к «обучению», то есть к самостоятельной корректировке прогнозируемых результатов на основе статистических материалов.

Первоначально модель прогнозирования ЭС АД строилась на работе двух ННС, параллельно сочетающих воздействие внешней среды и дорожные работы на ЭС АД (рис. 1). Рассмотрим последовательность ее функционирования:

На первом слое (L_1) пользователь вводит данные, характеризующие уровень начального ЭС АД, воздействия среды и дорожные работы:

$$y_i = x_i, \quad (1)$$

где y_i – нейроны первого слоя, значениям которых присваивается значение входной переменной; x_i – входные переменные, значения которых задаются пользователем; i – количество входных переменных ($i = 1 \dots 3$).

На втором слое (L_1) каждая переменная первого слоя представляется тремя функциями принадлежности гауссовского типа:

$$y_{i,r} = \mu_r(x_i), \quad (2)$$

где $\mu_r(x_i)$ – функции принадлежности нечетких множеств входных переменных x_i (см. табл. 1): r – количество нечетких множеств ($i = 1 \dots 3$).

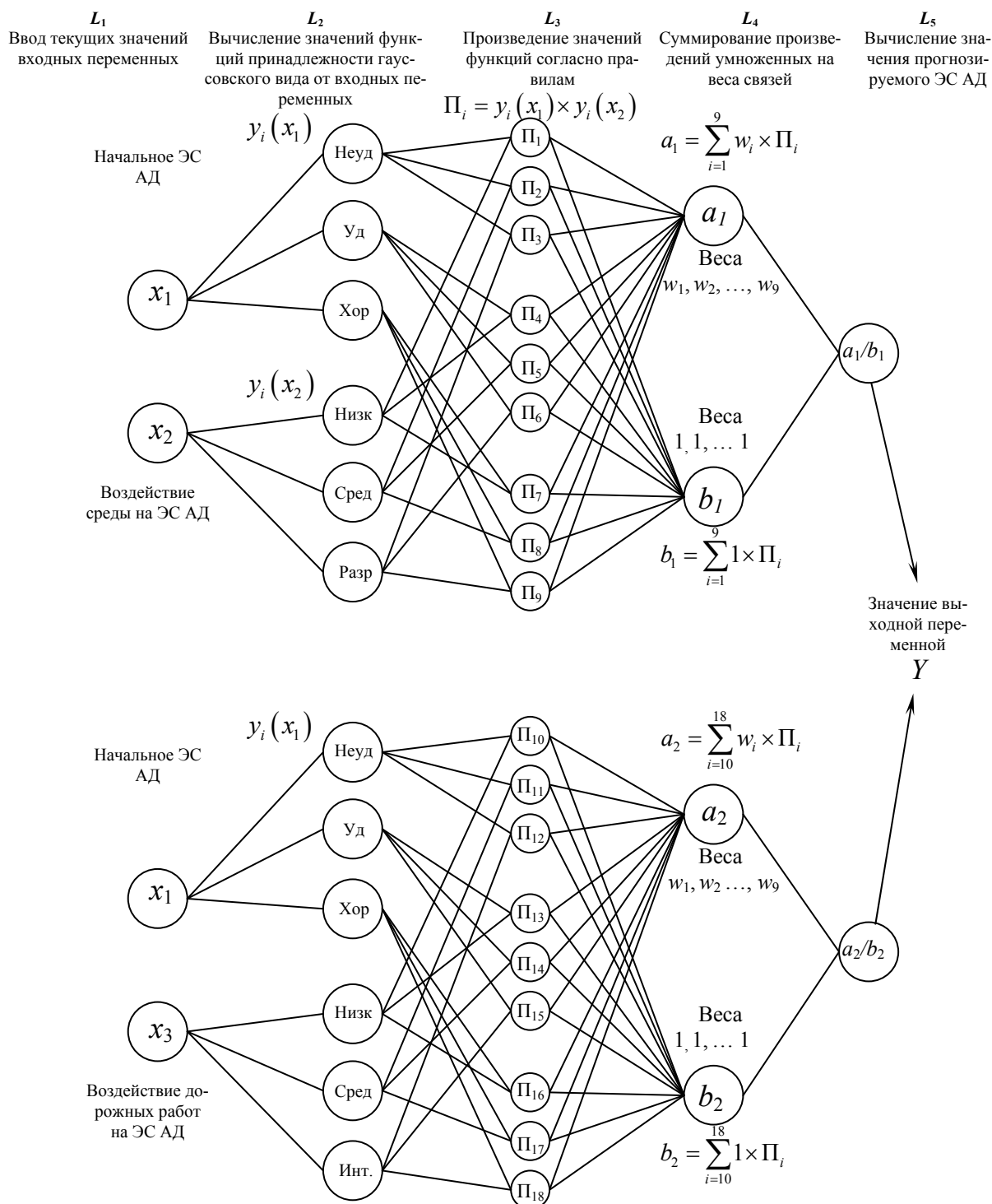


Рис. 1. Структура модели прогнозирования ЭС АД, основанная на двух ННС с двумя параллельными входами

На третьем слое (L_3) осуществляется произведение значений нейронов второго слоя, представляющее собой перебор вариантов возможных сочетаний:

$$y_j = \prod_{i=1 \dots 3} \mu_r(x_i), \quad (3)$$

где j – количество произведений: нейронов третьего слоя (в каждой из двух сетей $j = 1 \dots 9$).

На четвертом слое (L_4) осуществляется суммирование результатов произведений третьего слоя, помноженных на веса связей. В результате, в данном слое имеется всего два нейрона:

$$y_a = \sum_{j=1}^9 \omega_j \cdot \prod_{i=1 \dots 3} \mu_r(x_i) \quad \text{и} \quad y_b = \sum_{j=1}^9 \prod_{i=1 \dots 3} \mu_r(x_i),$$

где ω_j – первоначальный вес связи.

Таблица 1

Вид функций принадлежности (нейроны второго слоя)

Начальное эксплуатационное состояние		Воздействие среды		Воздействие дорожных работ	
Название множества	Функция принадлежности	Название множества	Функция принадлежности	Название множества	Функция принадлежности
1	2	3	4	5	6
Неудовлетворительное	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0}{0,2}\right)^2\right]$	Низкое	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0}{0,2}\right)^2\right]$	Низкое	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0}{0,2}\right)^2\right]$
Удовлетворительное	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0,6}{0,15}\right)^2\right]$	Среднее	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0,4}{0,15}\right)^2\right]$	Среднее	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-0,3}{0,15}\right)^2\right]$
Хорошее	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-1}{0,2}\right)^2\right]$	Разрушительное	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-1}{0,2}\right)^2\right]$	Интенсивное	$y(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-1}{0,2}\right)^2\right]$

На пятом слое (L_5) получается выходное значение прогнозируемого ЭС АД путем деления значения нейрона a на значение нейрона b :

$$Y = y_a / y_b. \quad (5)$$

Настройка весовых коэффициентов позволит устранить субъективизм в формулировке набора нечетких правил. Алгоритм обучения ННС следующий:

1. По материалам фактического обследования дорог за прошлые годы определяется обучающая выборка. Она представляет собой статистический набор фактических значений входных переменных и соответствующих им значений выходной переменной – прогнозируемого ЭС АД (табл. 2).

Таблица 2

Общий вид обучающей выборки для ННС с двумя входами

Номер примера выборки m	Фактическое значение первой входной переменной x_1^m	Фактическое значение второй входной переменной x_2^m	Фактическое значение выходной переменной $Y_{\text{факт}}^m$	Расчетное значение выходной переменной, полученное в модели $Y_{\text{расч}}^m$	Фактическое значение ошибки прогнозирования $\varepsilon_{\text{факт}}^m = Y_{\text{расч}} - Y_{\text{факт}}$
1	x_1^1	x_2^1	$Y_{\text{факт}}^1$	$Y_{\text{расч}}^1$	$\varepsilon_{\text{факт}}^1$
2	x_1^2	x_2^2	$Y_{\text{факт}}^2$	$Y_{\text{расч}}^2$	$\varepsilon_{\text{дейст}}^2$
...	...	...	...	...	...
M	x_1^M	x_2^M	$Y_{\text{факт}}^M$	$Y_{\text{расч}}^M$	$\varepsilon_{\text{дейст}}^M$

2. Определяется расчетное значение выходной переменной $Y_{\text{расч}}^m$ для каждого из m -примеров обучающей выборки, которые также приводятся в массиве рядом с фактическими данными.

3. Задается величина средней допустимой ошибки за цикл обучения ($\varepsilon_{\text{доп}}$), а также величина скорости обучения (η).

4. Рассчитываются новые значения весов связей между третьим и четвертым слоем по следующим формулам:

$$\omega_j^m(t+1) = \omega_j^m(t) + \Delta\omega_j^m, \quad (6)$$

$$\Delta\omega_j^m = -\eta \times y_j \times \varepsilon_{\text{факт}}^m, \quad (7)$$

где t – номер цикла обучения. Один цикл обучения включает перебор всех примеров из обучающей выборки.

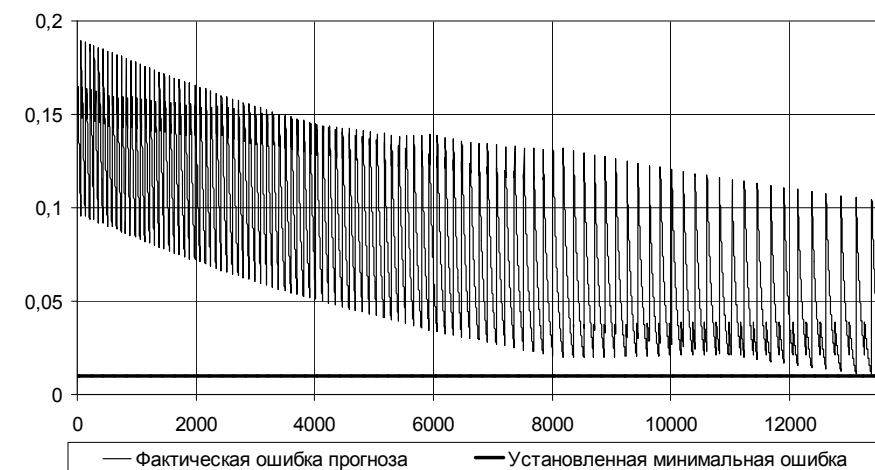
5. Определяется средняя фактическая ошибка за цикл обучения:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \sum_{m=1}^M \varepsilon_{\text{факт}}^m / M. \quad (8)$$

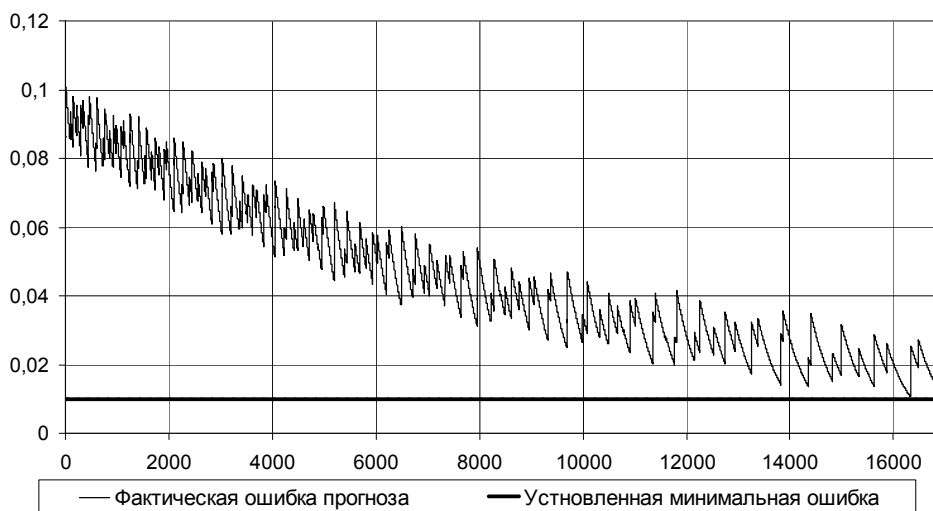
Если значение средней фактической ошибки за цикл обучения превышает значение средней допустимой ошибки, то происходит возврат на шаг 4.

6. В противном случае процесс обучения прекращается, и сеть считается обученной.

Практические расчеты, основанные на модели, использующей параллельную работу ННС, показали скачкообразное снижение ошибки, вызванное независимой работой двух ННС даже при низких скоростях обучения (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Типичные графики снижения ошибки прогнозирования ЭС АД при применении модели, основанной на двух параллельных ННС

Для устранения данного недостатка авторы перешли от работы двух параллельных ННС с двумя входами к реализации одной ННС с тремя входами (рис. 3), сохранив при этом общую концепцию функционирования сети. Результаты прогнозирования и процесс снижения ошибки в модели с тремя входами представим на рис. 4.

Таким образом, в результате объединения композиционного вывода по прогнозированию ЭС АД и нейронной сети получена гибридная ННС. Экспериментально обоснована применимость ННС с тремя входами. Для практических расчетов предложена АСУ «Road Status», позволяющая повысить до требуемой величины точность работы модели прогнозирования изменения ЭС АД.

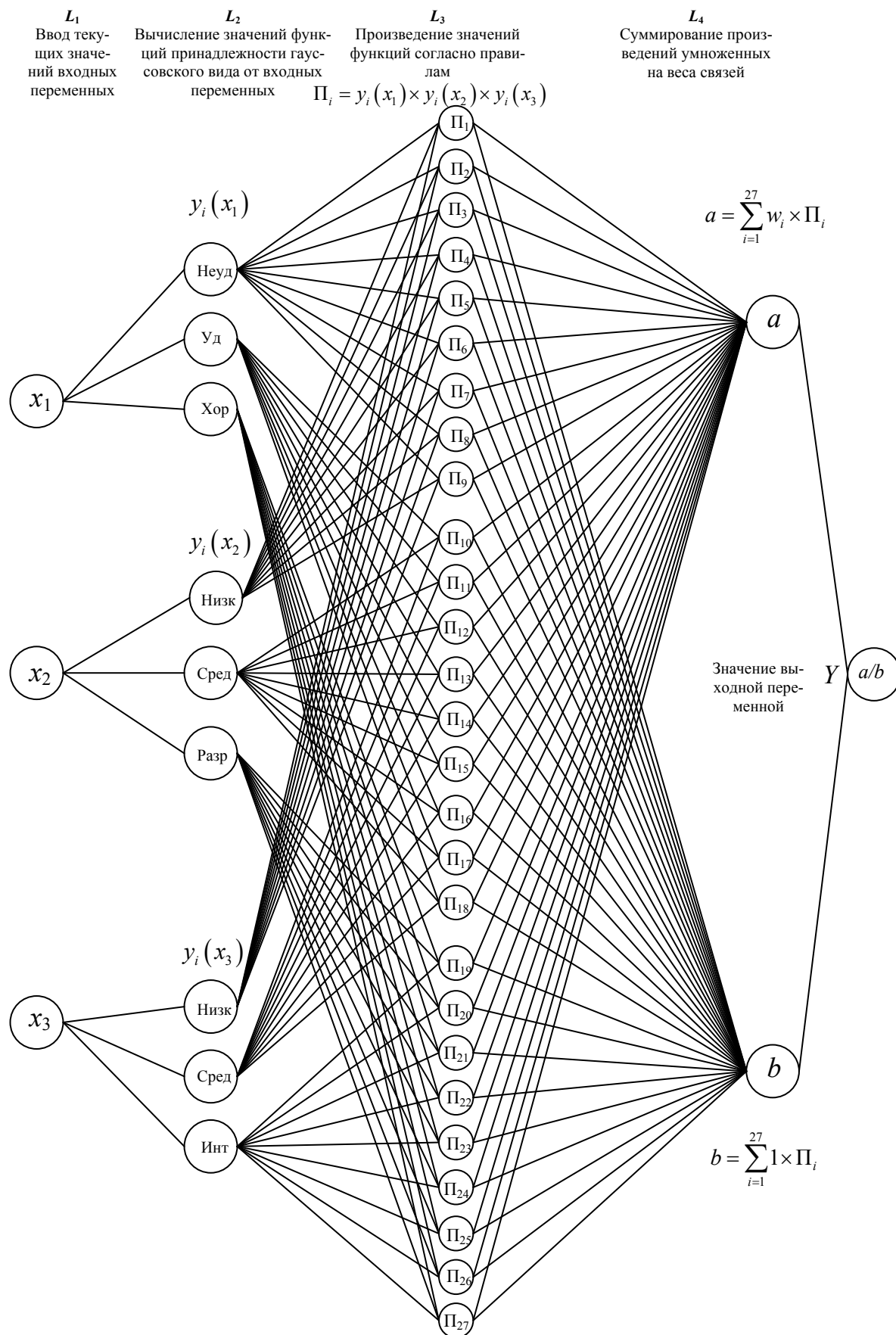
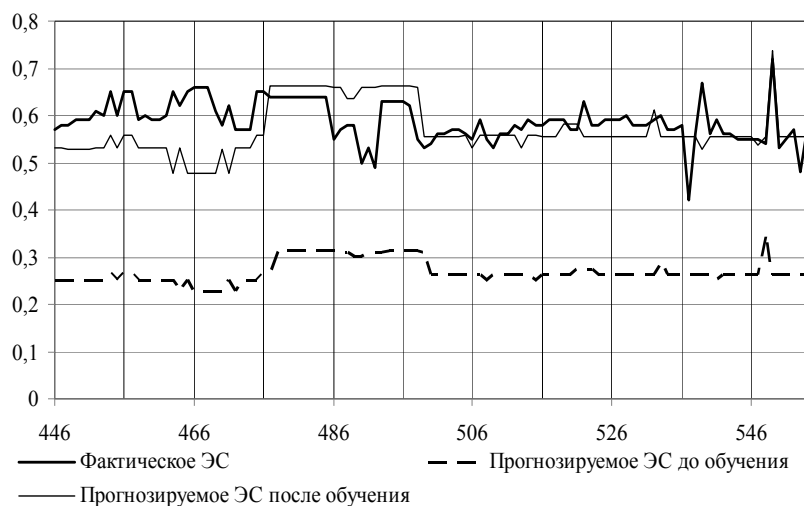
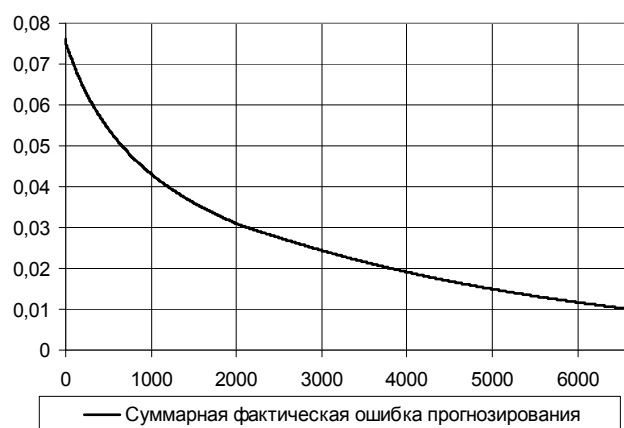


Рис. 3. Структура ННС по прогнозированию ЭС АД с тремя входами



а



б

Рис. 4. Результаты прогнозирования ЭС АД «Сызрань – Саратов – Волгоград» до и после настройки весов (а) и снижения ошибки в процессе обучения (б)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровик, В. С. Система оценки и прогнозирования изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог / В. С. Боровик, Д. А. Скоробогатченко // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 10. – С. 89–94.
2. Камаев, В. А. Применение нечетких нейросетевых моделей для идентификации состояния автомобильных дорог / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. А. Скоробогатченко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – № 12. – С. 36–41.
3. Сарычев, Д. С. ГИС, САПР и БД / Д. С. Сарычев,

А. В. Скворцов // Автомобильные дороги. – 2009. – № 1. – С. 54–57.

4. Хусаинов, И. Ж. К диагностике автомобильных дорог / И. Ж. Хусаинов // Автомобильные дороги. – 2009. – № 4. – С. 52.

5. Щербаков, М. В. Специфика применения интеллектуальных моделей анализа данных для повышения энергетической эффективности / М. В. Щербаков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 72–76.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК: 61:658.011.56

Е. В. Албегов, Д. В. Бутенко, Л. Н. Бутенко

МЕДИЦИНСКАЯ КОНСУЛЬТАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ТРАДИЦИОННОЙ КИТАЙСКОЙ МЕДИЦИНЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: albegov05@mail.ru

В данной работе дается обоснование предпосылок разработки, целей и перспектив использования консультационной системы коррекции здоровья на основе функциональных гомеостатических моделей. Представлено описание прототипа разрабатываемой системы.

Ключевые слова: «Пентакуб», «Гексагон», автоматизированная система.

Y. V. Albegov, D. V. Butenko, L. N. Butenko

MEDICAL CONSULTING SYSTEM OF HUMAN HEALTH CORRECTION BASED ON PRINCIPALS OF THE TRADITIONAL CHINESE MEDICINE

Volgograd State Technical University

In this paper the explanation of the prerequisites for development, aims and perspectives of the consulting system of human health correction application is represented. The description of the prototype of the developing system is represented also.

Keywords: «Pentacube», «Hexagon», automated system.

Основное требование к медицине XXI века заключается в том, что организм человека должен рассматриваться как сложная интегративная система. Такое представление развивается в медицине Китая много лет; его основным принципом является учет взаимодействия и взаимовлияния органов человеческого тела друг на друга посредством физиологических связей.

Цель работы – разработка консультационной системы, которая на основе входных данных диагностического исследования выдает рекомендации по приему фитопрепаратов (лекарственных трав), биологически активных добавок и продуктов диетического питания по системе пяти элементов [1] в соответствии с выбранной стратегией коррекции и временем физиологического непатологического состояния больного органа. В основу идеи создания исследовательского макета консультационной системы были положены интегративные функциональные гомеостатические модели взаимодействия энергий органов человека «Пентакуб» и «Гексагон» [2], обладающие научной новизной и получившие положительный отзыв Инс-

титута рефлексотерапии Федерального научного клинично-экспериментального центра традиционных методов диагностики и лечения Минздрава Российской Федерации. Данные функциональные модели были получены в результате изучения и анализа теории традиционной китайской медицины У-Син с применением современных знаний и постулатов теории гомеостатического управления биологических систем.

На данном этапе работы получены следующие результаты: разработана автоматизированная система выбора лекарственных средств [3, 4, 5], являющаяся прототипом медицинской консультационной системы коррекции здоровья человека на основе принципов традиционной китайской медицины. Автоматизированная система включает подсистемы визуализации «Пентакуб» и «Гексагон»; блок выбора стратегии лечебной коррекции на основе гомеостатической картины взаимодействия энергий органов, которые впоследствии детализируются до соответствующих эвристических правил лечебной коррекции больных органов;

банк данных лекарственных фитопрепаратов, содержащий расширенные данные о лекарственных растениях.

Разработанная автоматизированная система выбора лекарственных средств преследует цель достижения следующих вспомогательных для врача-фитотерапевта целей:

- визуализация взаимосвязи и взаимодействия энергий органов человека;
- автоматизация процесса выбора органов человека;
- автоматизация процесса поиска заболевания;
- автоматизация процесса выбора заболевания;
- автоматизация процесса выбора стратегий лечебной коррекции больных органов;
- автоматизация процесса формирования эвристик лечебной коррекции больных органов;
- автоматизация процесса выбора эвристик лечебной коррекции больных органов;
- автоматизация процесса поиска лекарственных растений;
- автоматизация процесса выбора лекарственных растений;
- автоматизация процесса получения информации о лекарственных растениях;
- автоматизация процесса формирования рекомендаций по лечебной коррекции больных органов.

На основе интегративных когнитивных гомеостатических моделей сформирован жесткий набор из четырех соответствующих коррекционных метастратегий лечения больного органа, который имеет следующий вид:

С1: стабилизируем и/или угнетаем орган, относящийся к той же группе органов.

С2: стабилизируем и/или угнетаем орган, относящийся к оппозиционной группе органов.

С3: стабилизируем и/или угнетаем сам больной орган.

С4: стабилизируем и/или угнетаем орган, связанный с больным по гомеостату.

Данные стратегии лечения детализируются в дальнейшем до соответствующих эвристических правил.

Стратегия 1.

ЭП 1.1: стабилизируем и угнетаем органы, относящиеся к одной группе органов.

ЭП 1.2: стабилизируем орган, относящийся к одной группе органов.

ЭП 1.3: угнетаем орган, относящийся к одной группе органов.

Стратегия 2.

ЭП 2.1: стабилизируем и угнетаем органы, относящиеся к оппозиционной группе органов.

ЭП 2.2: стабилизируем орган, относящийся к оппозиционной группе органов.

ЭП 2.3: угнетаем орган, относящийся к оппозиционной группе органов.

Стратегия 3.

ЭП 3.1: стабилизируем сам больной орган.

ЭП 3.2: угнетаем сам больной орган.

Стратегия 4.

ЭП 4.1: стабилизируем орган, связанный с больным органом по гомеостату.

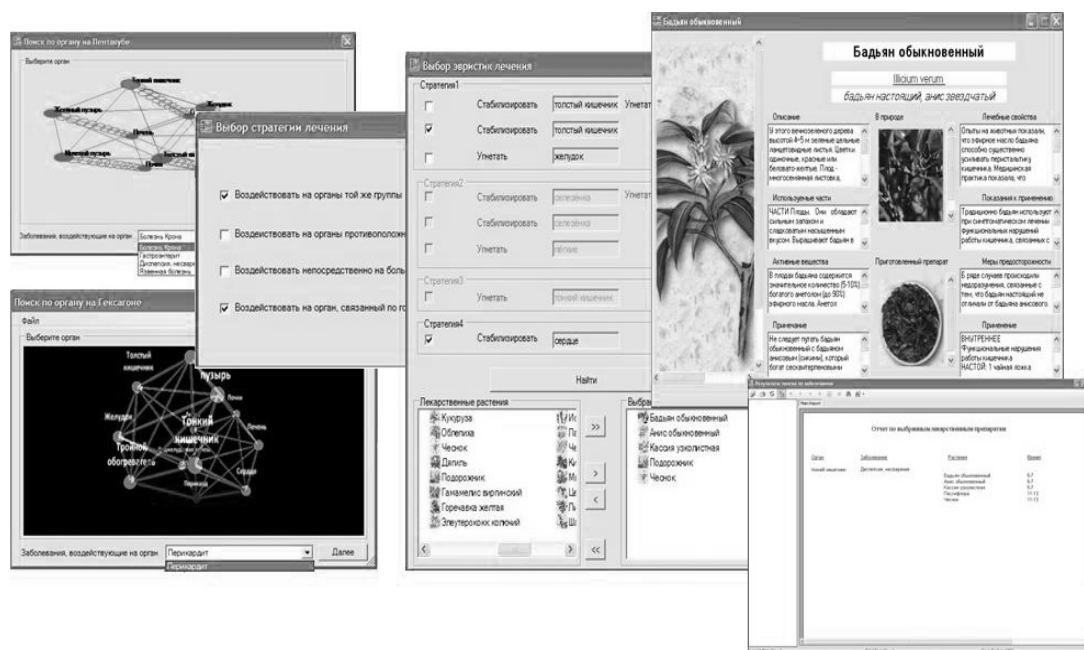
ЭП 4.2: угнетаем орган, связанный с больным органом по гомеостату.

Результатом работы автоматизированной системы выбора лекарственных средств является представление отчета с рекомендациями по приему лекарственных фитопрепаратов, содержащего название больного органа человеческого тела, название заболевания органа тела, перечень лекарственных фитопрепаратов и время применения последних с учетом состояния физиологической временной непатологической гиперфункциональной активности органов человеческого тела.

В последующем планируется построение моделей для составления коррекционных диет на основе интегративных представлений китайской медицины, проектирование баз данных продуктов диетического питания и биологически активных добавок, проектирование подсистем формирования диеты в соответствии с выбранными параметрами, проектирование подсистемы генерации отчетов по диетическому питанию.

Результатом работы консультационной системы будет являться представление отчета с рекомендациями по приему лекарственных фитопрепаратов и биологически активных добавок, содержащего название больного органа человеческого тела, название заболевания органа, перечень лекарственных фитопрепаратов, биологически активных добавок и время их применения с учетом состояния физиологической временной непатологической гиперфункциональной активности органов человеческого тела. Также будет генерироваться отчет по диетическому коррекционному питанию.

Отметим, что предлагаемый подход позволяет осуществить множественный выбор лекарственных фитопрепаратов, биологически активных добавок, вариантов коррекционных



Экранные формы работы системы

диет специалистом в зависимости от состояния пациента, быстро получить расширенную информацию о том или ином лекарственном растении, БАДе и способах их применения.

В результате проделанной работы была разработана автоматизированная система выбора лекарственных средств на основе интегративных функциональных гомеостатических моделей. Автоматизированная система является прототипом медицинской консультационной системы коррекции здоровья человека, идея и предпосылки к разработке которой были представлены выше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Темели, Б. Питание по системе пяти элементов / Б. Темели. – СПб.: Уддияна, 2006. – 240 с.

2. Albegov, Y. V. The Wu Xing Theory and Homeostatic Interaction of Organs / Y. V. Albegov, D. V. Butenko, L. N. Butenko // Chinese Medicine. – 2010. – Vol. 1, Num. 2. – P. 45–48.

3. Албегов, Е. В. Разработка автоматизированной системы выбора лекарственных средств на основе функциональных моделей / Е. В. Албегов, Д. В. Бутенко, Л. Н. Бутенко // Фундаментальные науки и практика : сб. науч. тр. / Томск : СибГМУ, 2010. – Т. 1; вып. 4. – С. 105–106.

4. Албегов, Е. В. Автоматизированная система выбора лекарственных средств [Электронный ресурс] : (свидетельство об отраслевой регистрации электронного ресурса № 00141 от 29 июля 2009 г.) / Е. В. Албегов, Д. В. Бутенко. – М. : Ин-т информатизации образования, 2009.

5. Албегов, Е. В. Построение гомеостатических моделей взаимодействия органов человеческого тела / Е. В. Албегов, Дм. В. Бутенко, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 55–58.

УДК 004.946

А. А. Алимов, О. А. Шабалина

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ. МНОГОУРОВНЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАКТИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АГЕНТОВ

Волгоградский государственный технический университет
E-mail: Velorth.avelies@gmail.com, o.a.shabalina@gmail.com

В работе рассматривается концепция системы управления персонажами игрового виртуального мира на основе агентного подхода, позволяющая реализовать рациональное и реалистичное поведение персонажей.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, виртуальная реальность.

A. A. Alimov, O. A. Shabalina

ARTIFICIAL INTELLECT IN COMPUTER GAMES. MULTI-LEVEL PLANNING AND AGENT'S REACTIONS

Volgograd State Technical University

The paper describes a conception of using agent approach for characters control systems that allows implementing rational and realistic character's behaviour.

Keywords: artificial intellect, computer games, multi-agent systems, virtual reality.

Разработка видеоигр давно перестала быть развлечением программистов. Сегодня это активно развивающаяся индустрия, пользующаяся результатом применения все более сложных технологий в области компьютерной графики и обработки звука. Однако, если технологии визуализации развиваются теми же темпами, что и аппаратная часть – игровые приставки и персональные компьютеры, – то игровой искусственный интеллект (ИИ) развивается значительно медленнее. В настоящее время в разработке игр все больше применяются методы классического ИИ, растет интерес академического сообщества к технологиям, используемым в компьютерных играх. Наибольший интерес представляют модели поведения несобственных персонажей, управляемых компьютером, или аниматов [1].

Под *игровым ИИ* понимают набор программных методик, которые используются в компьютерных играх для создания иллюзии интеллекта в поведении персонажей, управляемых компьютером. Игровой ИИ, помимо методов традиционного искусственного интеллекта, включает также алгоритмы теории управления, робототехники, компьютерной графики и информатики в целом.

Алгоритмы интеллектуальной обработки данных применяются в тех случаях, когда точное решение задачи аналитическими методами неизвестно или обладает большой вычислительной сложностью, поэтому для достижения более реалистичного поведения разработчики обратились к методикам искусственного интеллекта: нейронным сетям, продукционным правилами, конечным автоматам.

Постепенно в игровой ИИ были перенесены адаптивные и обучаемые алгоритмы, как, например, в [2]. Способность несобственных персонажей к обучению не только позволяет разработчику сэкономить немало времени, но и повышает привлекательность игры за счет реализации интересных проектных решений. С другой стороны, реализация обучения достаточно проблематична с точки зрения обеспечения производительности программного кода [3]. Иными словами, потребность в некой статичной системе ИИ никогда не исчезнет, даже если она будет играть всего лишь роль соединительной ткани между адаптивными компонентами.

В играх человек и компьютер находятся в изначально неравных условиях, поскольку часто в целях повышения производительности или

ускорения процесса разработки с игрока-компьютера снимаются некоторые ограничения, накладываемые на игрока-человека. Цель игрового ИИ – реализация компьютером поведения, максимально схожего с человеческим.

Основными задачами игрового ИИ являются:

- реализация поведенческих реакций, таких как сбор предметов, нажатие переключателей, выполнение определенных жестов;
- решение задачи навигации в виртуальном мире, в которую входят поиск пути, поиск пути с использованием интерактивного окружения, а также перемещение группами;
- принятие решений, выбор определенной тактики поведения или действия из нескольких возможных.

Поведение аниматов, как правило, имеет многоуровневый характер; разработчики игр обычно выделяют четыре уровня поведения [4]:

- стратегический уровень, на котором персонаж ставит себе те или иные цели;
- тактический уровень, на котором выбираются способы достижения целей;
- уровень исследования местности, в ходе которого происходит сканирование местности на наличие ценных объектов, вражеских боевых единиц.
- инстинкт самосохранения (например, персонажи защищаются при нападении и т. д.).

Однако, как показывает практика, подобное деление далеко не всегда является подходящим (в частности, в нем нет места для моделирования эмоций). По словам одного из разработчиков игры *SilentStorm*, идеальной была бы модель поведения со сколь угодно большим количеством уровней планирования [5].

На сегодняшний день можно выделить следующие существенные проблемы, присущие игровому искусственному интеллекту:

- «зависание», в результате которого подсистема ИИ в некоторых ситуациях никогда не отдает команды «конец хода» (проблема специфичная для пошаговых игр);
- повторение одних и тех же действий, не приводящих к результату, т. е. абсолютно нелогичных с точки зрения человеческого здравого смысла (например, в широко известной игре *Starcraft* ИИ заставлял персонажей бегать перед препятствием, если атакуемая цель была скрыта за ним, – вместо того, чтобы атаковать препятствие);
- применение тактики в неподходящей ситуации (например, строительство верфи на картах, лишенных воды);

- сложность реализации совместных действий с учетом влияния персонажей друг на друга;
- конфликты сюжетной линии с подсистемой ИИ (например, стрельба по персонажу, который сделан неуязвимым при помощи сценария и явно не получает от этого никаких повреждений) – это настолько распространенное поведение, что некоторые разработчики даже не считают его ошибочным [5].

Первые три проблемы носят чисто технический характер и решаются в процессе доработки программного кода, в то время как реализация совместных действий и преодоление конфликтов с сюжетной линией – принципиальные проблемы, требующие решения. В частности, последняя проблема возникает из-за того, что сюжетную линию игры и сценарии, ею управляющие, искусственно отделяют от системы ИИ. Модель сюжетной линии должна представлять самый верхний уровень планирования анимата. При таком подходе желания и намерения несобственного персонажа совпадают с замыслом дизайнера, не возникает конфликтов между системой ИИ и сценариями.

При проектировании систем игрового ИИ различные уровни планирования поведения часто используют принципиально различные интерфейсы, что серьезно затрудняет разработку иерархичных систем. Решение этой проблемы позволит существенно сократить затраты на разработку ИИ и повысить его эффективность.

В рамках данной работы были рассмотрены модели и методы реализации поведения аниматов в открытых и коммерческих системах игрового ИИ, таких как FEAR [3], NavokAI [6], ORTS[7], A-Life [8].

В состав NavokAI входят максимально полезные и эффективные для разработчика алгоритмы (преимущественно это алгоритмы нахождения пути в динамически изменяющемся и динамически подгружаемом виртуальном мире [5]). FEAR позиционируется как проект, использующий преимущественно методы классического ИИ. ORTS – проект с открытым исходным кодом для реализации стратегий в реальном времени. Помимо подсистемы ИИ, ORTS предоставляет также средства визуализации и взаимодействия с пользователем [7].

A-Life – встроенная в X-Ray система управления персонажами. A-Life реализует два режима перемещения персонажей: он- и оффлайн. Для каждого из уровней создается свой навигационный граф, детальный, который используют

персонажи для передвижения в онлайн. Для каждого детального графа также создается его менее детализированный аналог, вершины которого можно связать с вершинами графа другого уровня. После объединения всех таких графов воедино получается граф, который объединяет все уровни. Он и используется персонажами для передвижения в оффлайне. Также им пользуются персонажи в онлайн, когда они выполняют свои стратегические цели [8].

Все рассмотренные продукты в той или иной степени привязаны к определенной программной платформе. Это обусловлено тем, что для реализации системы ИИ необходимо обеспечить получение информации о внешней среде.

Из методов искусственного интеллекта в индустрии компьютерных игр наибольшее распространение получили конечные автоматы, нейронные сети, продукционные правила.

Системы, основанные на правилах, хорошо подходят для реализации реактивного поведения аниматов. В современных ролевых играх игроку может быть доступна база правил некоторых несобственных персонажей, таким образом можно настроить подходящее поведение персонажа в бою, а именно – кого и как следует атаковать, защищать игрока или защищаться самому, какие заклинания и когда использовать.

Нейронные сети используются в задачах адаптивного управления и в робототехнике. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Однако, из-за невозможности интерпретации этой модели человеком, нейронные сети редко используют в алгоритмах принятия тактических решений, гораздо лучше они работают в реализации выбора оружия или прицеливания, как например в FEAR [3]. К тому же велика вероятность того, что дообученная или обученная заново нейронная сеть будет работать хуже.

Конечный автомат является одной из старейших формальных моделей вычислительных систем, активно используемой в различных вариантах и в настоящее время. В чистом виде редко применяются в играх из-за серьезных проблем, возникающих при реализации моделей сложных объектов [9].

При моделировании таких систем как несобственные персонажи с помощью конечных автоматов размер множества состояний очень быстро растет. Частично эта проблема решается при помощи расширенных и взаимодейст-

вующих конечных автоматов, которые позволяют в более удобной форме моделировать многокомпонентные системы. С точки зрения разработки игрового ИИ, взаимодействующие конечные автоматы представляют весьма перспективную модель.

На основании анализа имеющихся систем и проблем реализации игрового ИИ предложена концепция системы управления несобственными персонажами, основанная на многоуровневом планировании и поведенческих реакциях. Поведение анимата управляется иерархической системой планов. Верхний уровень иерархии представлен интерфейсом к сюжетной линии, содержащим список целей. Каждый следующий уровень содержит возможные алгоритмы планирования действий, которые реализуются нижними уровнями. Каждому уровню сопоставлен набор сенсоров. Сенсоры получают информацию из внешней среды, преобразуют ее и пере-

дают на верхние уровни и в алгоритмы планирования. Количество запланированных действий зависит от горизонта планирования: чем выше уровень, тем дальше горизонт планирования. На низших уровнях горизонт планирования близок к нулю и позволяет выполнить только одно действие, в этом случае предполагается использование моделей поведенческих реакций, таких как конечные автоматы или правила.

Самый низкий уровень реализует выполнение элементарных действий и получение данных с подсистемы физики, фактически этот уровень является интерфейсом взаимодействия подсистемы ИИ с другими компонентами игры. Планы верхних уровней могут управлять не одним аниматом, а несколькими (что, к примеру, дает возможность реализации тактических маневров и перемещения отрядов в военных играх). Схема иерархии планов агента приведена на рисунке.

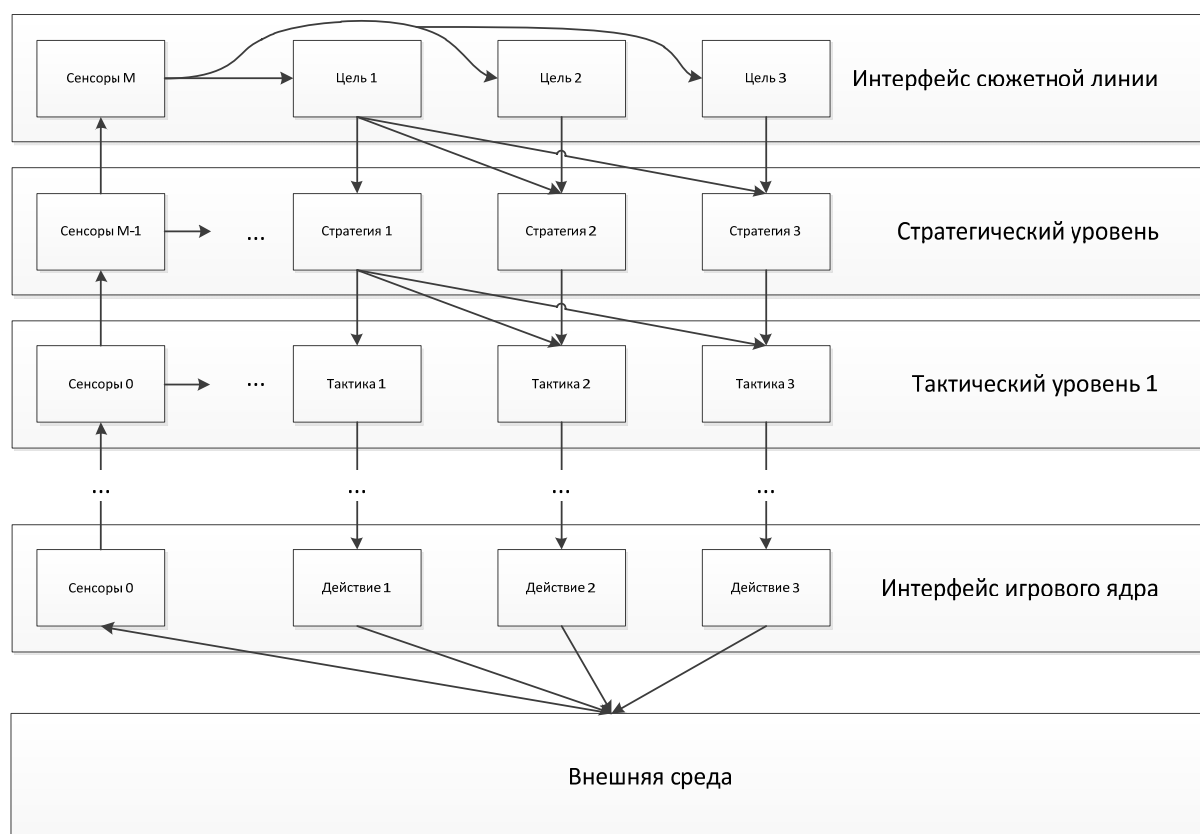


Схема поведения агента

Главным требованием к реализации концепции является использование общих интерфейсов алгоритмов планирования, что позволяет конструировать сложные иерархические планы из заранее подготовленной палитры элементов.

Использование иерархичной многоуровневой системы планов должно позволить реализовать рациональное и относительно реалистичное поведение несобственных персонажей. Наличие на верхних уровнях значительных по времени, на несколько действий вперед, гори-

зонтов планирования позволяет оптимизировать использование вычислительных ресурсов.

Предложенная концепция системы управления несобственными персонажами применяется в среде разработки обучающих игровых приложений. В настоящий момент ведутся работы по проектированию прототипа подсистемы управления игровыми персонажами. Планируется использование подсистемы в среде разработки для создания компьютерных игр.

Дальнейшая работа связана с поиском возможности применения реализованных моделей агентов в областях, не относящихся к разработкой игр и мультимедиа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Редько, В. Г. От моделей поведения к искусственному интеллекту / В. Г. Редько. – М.: КомКнига, 2010. – 456 с.
2. Крыжановский, А. И. Применение кооперативного обучения и прогнозирования в мультиагентных системах / А. И. Крыжановский, П. С. Пыхтин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) / ВолгГТУ. – Волгоград,

2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 44–46.

3. Шампандар, Дж. А. Искусственный интеллект в компьютерных играх / Дж. А. Шампандар. – М.: Вильямс, 2007. – 768 стр.

4. Медноногов, В. А. Интеллект компьютера в стратегиях реального времени [Электронный ресурс] / В. А. Медноногов. – Режим доступа: http://pmg.org.ru/ai/ai_rt.htm.

5. Плахов, А. С. КРИ / А. С. Плахов // Организация разработки AI для стратегических игр. – 2004.

6. Havok AI / Оф. сайт Havok Inc. [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: www.havok.com.

7. Buro Michael ORTS – A Free Software RTS Game Engine. – Games Group University of Alberta. – 2010. – Режим доступа: <http://skatgame.net/mburo/orts/>.

8. Куляев, А. М. S.T.A.L.K.E.R.: Тень Чернобыля. Интервью с руководителем проекта [Электронный ресурс] / А. М. Куляев // CRGP.RU. – 2007. Режим доступа: <http://www.crgp.ru/sections.php?op=viewarticle&artid=2165>

9. Бугайченко, Д. Ю. Разработка и реализация методов формально-логической спецификации самонастраивающихся мультиагентных систем с временными ограничениями / Д. Ю. Бугайченко // Сайт математико-механического факультета СПбГУ. – Санкт-Петербургский государственный университет, 2007. – 2010. – Режим доступа: http://www.math.spbu.ru/user/soloviev/Бугайченко_phd_tourload.pdf.

УДК 002:378

Ю. М. Брумиштейн, Н. Ф. Мангаладзе, В. П. Ватулева, Н. Н. Пугина

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ ВУЗОВ

Астраханский государственный университет

E-mail: brum2003@mail.ru, mangaladze@mail.ru, kubba@rambler.ru, astra8512@mail.ru

Показаны роль и место заочного обучения в образовательной системе России. Рассмотрены цели, направления, методы контроля знаний в процессе обучения, их организационное, информационное и программно-техническое обеспечение. Исследованы модели поведения студентов-заочников в отношении контроля знаний. Проанализированы возможности/ограничения по управлению уровнями требований при контроле.

Ключевые слова: вузы, заочное обучение, контроль знаний, методы контроля, модели поведения, управление уровнем требований, ограничения.

J. M. Brumshtejn, N. F. Mangaladze, V. P. Vatulova, N. N. Pugina

ANALYSIS OF SOME PROBLEMS CONCERNING WITH REQUIREMENTS LEVEL MANAGEMENT DURING KNOWLEDGE CONTROL OF DISTANT STUDENTS AT UNIVERSITIES

The Astrakhan State University

The distant education role and place in Russia educational system are shown. The purposes, directions, knowledge quality monitoring in the course of training, their organizational, information, program and technical maintenance are considered. The models of distant students behavior concerned with knowledge control are investigated. Possibilities/restrictions for requirements levels management during control are analyzed.

Keywords: universities, distant education, knowledge control, quality monitoring, models of behavior, requirements level management, restrictions.

В настоящее время в вузах России обучение осуществляется как в очной, так и в заочной (дистанционной) формах. Качество получаемого заочного высшего профессионального обра-

зования (ЗВПО) во многом определяется эффективностью применяемых систем контроля знаний студентов (СКЗС). Поэтому цель данной статьи – анализ некоторых вопросов орга-

низации и управления эффективностью СКЗС для ЗВПО с учетом факторов конкурентоспособности вузов, которые слабо отражены в литературе.

Роль и место ЗВПО в образовательной системе России

Высшее профессиональное образование (ВПО) в России можно получить: как первое ВПО при очном обучении; «параллельное» (дополнительное) ВПО при очном обучении по иной специальности; заочное, в т. ч. с элементами дистанционного обучения; с переходом (по разным причинам) с очного на заочное отделение в процессе обучения; вечернее или вечерне-заочное; экстерном (последние две формы уже почти не применяются). Востребованность ЗВПО подтверждается достаточно большими объемами наборов студентов (особенно по гуманитарным специальностям) и высокими стоимостями платного обучения [2, с. 10]. В регионах России рынок ЗВПО представлен в основном платными местами в бюджетных вузах (БВ) и филиалах иногородних вузов (ФИВ) – бюджетных и коммерческих. Для привлечения студентов ФИВ, по сравнению с БВ, обычно снижают стоимость обучения и уровни требований в СКЗС. Как правило, длительность обучения при ЗВПО составляет 6 лет. Однако ФИВ нередко используют схемы ускоренного и индивидуального обучения, прием на старшие курсы с дипломом о законченном ВПО и пр. Нередко это осуществляется с некоторыми нарушениями нормативных требований. Поэтому часто в ФИВ можно получить дипломы за более короткое календарное время, чем в БВ, а график обучения в ФИВ для заочников может соответствовать экстернату.

Предполагается, что меньший объем часов обучения (особенно аудиторного) при ЗВПО должен компенсироваться «работой по специальности» для получения профессиональных знаний на практике. Однако сейчас студенты ЗВПО достаточно часто работают не по специальности.

Для вузов ЗВПО позволяет: расширить клиентскую базу за счет дополнительного «платного» контингента; получить дополнительные внебюджетные средства; полнее задействовать имеющиеся трудовые, материальные, информационные и методические ресурсы. Для студентов ЗВПО может быть средством обеспечения: карьерного продвижения; соответствия занимаемой должности и квалификации по ди-

плому; восполнения недостающих для выполняемой работы знаний; диверсификации возможностей трудоустройства; создания собственного бизнеса и пр. Для работодателей ЗВПО: один из способов обеспечения необходимых знаний/умений работников без отрыва от производства, удовлетворения квалификационных требований к персоналу. Для «регионов в целом» ЗВПО: источник наращивания интеллектуального потенциала населения; средство повышения восприимчивости региональной экономики к инновациям, адаптации персонала к изменяющимся условиям на рынке труда; обеспечения информационной и информационно-психологической безопасности региона [1, с. 100].

В целом по России доля студентов ЗВПО от общего числа студентов в 2009/2010 учебном году составляла 52,6 %, причем в «государственных» вузах она была 47,3 %, а в негосударственных – 77,9 % [5]. В условиях повышения требований Минобрнауки к количеству студентов в вузах и ФИВ, ряд их старается сохранять в списках лиц, фактически прекративших обучение. В последнее время некоторые ведущие вузы России начали отказываться от ЗВПО с целью повышения качества выдаваемых дипломов. Однако для региональных вузов и ФИВ это экономически неприемлемо.

Модели поведения абитуриентов при принятии решения об обучении

Упрощенно модель выбора абитуриентами вуза для обучения и получения ЗВПО (из общего числа I вузов) и специальности (из общего числа J – специальностей) можно описать как

$$\min_{i,j} \left(\sum_{k=1}^K \xi_k f_k \left(U_{i,j,k}^{(f)}; U_{j,k}^{(a)} \right) \right), \quad (1)$$

где $I = 1 \dots I$; $j = 1 \dots J$ (если в i -м вузе j -я специальность отсутствует, то она, естественно, не учитывается); K – количество параметров, по которым осуществляется выбор; $U_{j,k}^{(a)}$ – некоторое желаемое для абитуриента значение k -го показателя для j -й специальности (для простоты – независимое от вуза); $U_{i,j,k}^{(f)}$ – фактическое значение k -го показателя для i -го вуза и j -й специальности; f_k – функция описывающая зависимость величины «штрафа» от разницы желаемого и фактического значений показателей; ξ_k – весовой коэффициент для k -го показателя (в принципе, без ξ_k можно обойтись, если вклю-

чить его в f_k). Барьерные (предельные) значения для некоторых показателей можно обеспечить в рамках выбора вида функций f_k .

В России пока отсутствует единая компьютерная база выданных вузами (включая ФИВ) дипломов. Это обеспечивает «процветание» рынка фальшивых дипломов (ФД) о ВПО, особенно о ЗВПО. Доля ФД по некоторым оценкам составляет до 15–25 %, включая так называемые «проведенные дипломы», «информация о которых заносится в архивы вузов, вплоть до сдаваемых зачетов» [3, с. 5]. При этом часть ФИВ и головных вузов, выдавших дипломы, уже прекратили существование, получили иные наименования или объединились с другими вузами; у некоторых вузов (прежде всего расположенных на территории Чечни) архивы были уничтожены; даже ведущими вузами России информационная поддержка через Интернет списков лиц, получивших в них дипломы о ВПО, пока не осуществляется. Наиболее «популярны» ФД именно о ЗВПО, так как в таких группах студенты знают друг друга значительно хуже, чем при очном обучении. Модель принятия потенциальными студентами решения о приобретении ФД вместо обучения с получением легального диплома (ЛД) соответствует

$$\max(D_{\text{ФД}}; D_{\text{ЛД}}) \quad (2)$$

$$D_{\text{ФД}} = \left(\sum_{m1=0}^{M0} E_{m0} - Z_{m0} \right) + \sum_{m1=1}^{M1} E_{m1} - \sum_{m2=1}^{M2} P_{m2} * R_{m2};$$

$$D_{\text{ЛД}} = \Psi * \sum_{m3=1}^{M3} E_{m3} - \sum_{m4=1}^{M4} Z_{m4}, \quad (3)$$

где $D_{\text{ФД}}$ и $D_{\text{ЛД}}$ соответствуют разностям положительных и отрицательных эффектов для обоих видов решений; $\sum_{m1=0}^{M0} E_{m0}$ – сумма, учитывающая «экономии трудовых затрат» и, возможно, календарного времени в случае ФД (здесь, и далее, трудовые затраты приводятся к денежным затратам); Z_{m0} – денежные затраты на получение ФД; $\sum_{m1=1}^{M1} E_{m1}$ и $\sum_{m1=3}^{M3} E_{m3}$ – суммы положительных эффектов для вариантов ФД и ЛД (понятно, что $\sum_{m1=1}^{M1} E_{m1} < \sum_{m1=3}^{M3} E_{m3}$ за счет отсутствия фактического обучения); P_{m2} – вероятность реализации риска вида $m2$ в случае ФД; R_{m2} – оценка величины ущерба при реализации риска

этого вида; Ψ – вероятность успешного завершения обучения и получения ЛД; Z_{m4} – величина затрат $m4$ -го вида при получении ЛД (трудовые затраты приводятся к денежным затратам). Верхние границы суммирования для $M0...M4$ различаются. При повышении уровня требований в СКЗС обычно снижается V , увеличивается часть Z_{m4} (за счет роста трудовых затрат). Однако одновременно растет и $\sum_{m1=3}^{M3} E_{m3}$ – за счет улучшения качества знаний, расширения объема компетенций; повышения «авторитета диплома».

Дополнительными условиями при выборе между ЛД и ФД могут быть:

$$\{R_{m2} \leq R^*\}_{m2=1...M2} \text{ или } \{R_{m2} \leq R_{m2}^*\}_{m2=1...M2} \quad (4)$$

$$\left(\sum_{m2=1}^{M2} R_{m2} \right) \leq R^{**} \quad (5)$$

$$\left(\sum_{m2=1}^{M2} P_{m2} * R_{m2} \right) \leq R^{**}, \quad (6)$$

где R^* , R_{m2}^* ; R^{**} – предельные значения ущербов от реализации рисков (они обычно индивидуальны для каждого лица, принимающего решение). При этом (4) определяют максимальные ущербы для рисков по одному из факторов; (5) – максимально возможный суммарный ущерб; (6) – максимально возможный «интегральный» риск. Могут также использоваться некоторые комбинации параметров из (4)–(6). В некоторых случаях решающим фактором при выборе варианта с ФД являются календарные сроки.

На практике увеличение уровня требований в СКЗС по конкретной специальности/вузу может влиять не столько на выбор между ФД и ЛД, сколько на «уход» потенциального студента в другой вуз. В целом возможность приобретения и использования ФД снижает: спрос на образовательные услуги вузов и ФИВ, особенно в отношении ЗВПО; уровни требований в СКЗС; уровни оплаты коммерческого обучения и пр.

Цели, направления, методы контроля знаний студентов-заочников

Качество ЗВПО обеспечивается: стандартами ВПО; соблюдением вузами этих стандартов; качеством кадрового состава вузов; их материально-технической базой; деятельностью структур Минобрнауки (в том числе контролирующей), работой региональных органов управления образованием; применением специализированных информационных систем [4, с. 98].

Основные цели использования СКЗС для вузов: обеспечение качества знаний студентов; соблюдение стандартов ВПО; информационное обеспечение принятия решений при управлении учебным процессом и пр.

Для СКЗС с позиций вузов можно выделить такие направления: 1) входной (начальный) контроль знаний – для выработки оптимальной тактики обучения (после введения ЕГЭ собственные приемные испытания могут использоваться лишь весьма ограниченным количеством вузов); 2) внутривузовский контроль по отдельным предметам; 3) внешний контроль по отдельным предметам и их совокупностям (однако «Интернет-тестирования (экзамены)» пока проводятся в основном для студентов-очников, а не заочников); 4) заключительный – в форме ГАК и ГЭК с привлечением части их членов извне вуза.

Типы контроля при обучении по отдельным предметам: текущий; промежуточный (поэтапный); итоговый. Особый вид – обучающий контроль в рамках компьютеризированных курсов, при котором может быть реализована, в том числе, и адаптивная тактика обучения. Для ЗВПО полный комплект этих вариантов в СКЗС возможен, в основном, при использовании электронных обучающих курсов, включающих тесты.

Обычно выделяют такие виды СКЗС: устный; письменные ответы на вопросы/задачи; автоматизированный/компьютеризированный в форме тестов, в том числе и в дистанционной форме; в виде студенческих докладов (для ЗВПО – нехарактерно); контрольные работы; расчетно-графические работы; курсовые работы; рефераты. Контроль знаний группой преподавателей (комиссией) проводится при ГАК, ГЭК и при конфликтных ситуациях.

Расширение использования информационных технологий в вузах для заочного обучения может способствовать: расширению применения индивидуальных траекторий обучения и наборов предметов на основе системы «кредитов»; повышению гибкости графиков дистанционного обучения/тестирования; организации дистанционной работы с отдельными студентами и их группами в режиме видеоконференцсвязи.

Особенности компьютеризированных СКЗС по сравнению с устным опросом преподавателями: высокий уровень формализации тестовых заданий; возможность динамической компоновки тестов из базы тестовых заданий; авто-

матизированная оценка результатов выполнения тестов.

Модели поведения студентов в отношении контроля знаний

Большинство студентов ЗВПО ориентируются на минимальный уровень требований (МУТ) вузов, достаточный для получения положительных оценок. При этом МУТ (Θ) определяется сочетанием: «объемов требований в СКЗС» (V) – например, суммарным количеством вопросов при зачетах, экзаменах, тестированиях в процессе обучения; сложностью требований (D). Примем, что субъективный МУТ для студента

$$\Theta_1 = V^a D^b, \quad (7)$$

где V, D целесообразно понимать как усредненные значения по всем I контрольным мероприятиям (КМ) СКЗС; a, b – индивидуальные коэффициенты для студента ЗВПО. При учете отдельных КМ в СКЗС вместо (1)

$$\Theta_2 = (\sum_{i=1}^I V_i^a D_i^b) / I. \quad (8)$$

Возможны, конечно, и иные подходы к оценкам, чем (7) и (8).

Для студента, способного полностью освоить программу ЗВПО, МУТ определяет суммарный объем трудозатрат, необходимых для получения ЛД, включая «собственно обучение» и прохождение КМ. Для ЗВПО этот объем обычно – несколько первых сотен астрономических часов в год (для студентов-очников – номинально более 1000 ч в год); доля времени, расходуемого на КМ от общих трудозатрат на обучение, может составлять до 20 % (с учетом пересдач), а иногда и выше. Дефицит времени студентов при получении ЗВПО определяется: их загруженностью по работе; тем, что предусмотренные законодательством учебные отпуска предоставляются (по крайней мере, коммерческими организациями) неохотно и, обычно, не в полном объеме. Этот дефицит времени студентов при получении ЗВПО определяется: их загруженностью по работе; тем, что предусмотренные законодательством учебные отпуска предоставляются (по крайней мере, коммерческими организациями) неохотно и, обычно, не в полном объеме. Этот дефицит времени часто преодолевается студентами с использованием «помощников» (в том числе при подготовке контрольных, курсовых и дипломных работ, при дистанционном тестировании, подготовке рефератов). Для слабых студентов такая «помощь» может быть необходимой все время обучения. Отметим, что репетиторские услуги отстающим студентам сейчас являются мало-востребованными.

Возможности индивидуальных «некоррупционных» методов оказания студентами ЗВПО

давления на преподавателей при прохождении КМ (в отношении снижения уровней требований) относительно невелики, особенно при компьютеризованном контроле. Однако эти возможности могут возрастать при согласованных действиях групп студентов.

Широкое использование в ряде вузов рефератов, как формы КМ, стимулировало: формирование обширных баз рефератов в Интернете; в прошлом – распространение их на лазерных дисках; появление многочисленных коммерческих сервисных фирм (КСФ), распечатывающих готовые рефераты, реже – подготавливающих их на заказ. Поэтому доля самостоятельно подготовленных студентами ЗВПО рефератов (особенно в ФИВ) часто близка к нулю, причем в ряде случаев студенты их даже не читают. Однако рефераты могут быть полезны при приеме экзаменов, зачетов и пр. В настоящее время КСФ активно предлагают также курсовые и дипломные работы (ДР). На 01.12.2010 г. для г. Астрахани типичные стоимости «покупки» составляли (в тыс. руб.): ДР – 10–18; курсовых – 2–3; рефератов – 0,5 и выше. При годовых стоимостях обучения ЗВПО в 25–40 тыс. руб. затраты на приобретение такой «продукции» могут увеличивать фактические расходы на 20–50 %. В связи с этим отметим: внутривузовский контроль повторяемости тем ДР не всегда достаточно полон, а межвузовский (даже внутрирегиональный) – обычно отсутствует; сроки хранения ДР в бумажной форме в вузах достаточно ограничены, а в электронной – не требуются существующими правилами; контроль содержания ДР на «заимствования» (плагиат) может проводиться автоматизировано (например, через сайт www.antiplagiat.ru), но нормативными документами он не предусматривается как обязательный и пока применяется лишь в отдельных вузах.

Управление уровнями требований при контроле знаний и затратами на разработку контрольных материалов

Для вузов затраты на СКЗС и КМ обеспечивают: формальное соблюдение нормативных требований; поддержание качества обучения. Снижение этого качества может ухудшать имидж специальностей и вуза в целом, и как следствие – условия набора студентов. Поэтому объективно использование СКЗС направлено на предотвращение ущерба, связанного с реализацией рисков закрытия специальностей по решению контролирующих органов (W_1) или

при утрате конкурентоспособности специальностей на рынке ЗВПО (W_2). С другой стороны, высокие МУТ при обучении (фактически в СКЗС) увеличивают риски, связанные с ущербами вузам: от общего уменьшения количества поступающих абитуриентов (U_1), в том числе на ЗВПО; нерационального (для вузов) распределения абитуриентов по специальностям (U_2); переходов студентов в другие вузы в процессе обучения (U_3) или прекращения ими обучения без такого перехода (U_4). Переходы обычно осуществляются из бюджетных вузов в ФИВ, где МУТ и стоимости обучения существенно ниже. Однако такие переходы связаны с преодолением барьеров (в том числе, психологических); по оформлению документов; досдачей предметов из-за разницы дисциплин в учебных планах; перехода на более младшие курсы и пр. Все шесть указанных параметров ($W_{1,2}, U_{1,2,3,4}$) являются нелинейными функциями от МУТ для специальностей/вузов. Кроме того, они зависят, по крайней мере, еще и от темпов роста стоимости платного обучения; фактической величины расходов на обучение, в том числе и при обучении «на бюджете» (C_1); уровня межвузовской конкуренции (УМВК) по данной и смежным специальностям ЗВПО; затрат вуза по привлечению студентов на данную специальность, общее повышение известности/репутации вуза и/или филиала (Z_1). Поэтому оптимальный МУТ (Θ_{opt}) для вуза при СКЗС можно оценить по

$$\max(N * R(C_1) - Z_1 - (W_1 + W_2 + U_1 + U_2 + U_3 + U_4)), \quad (9)$$

где N – количество студентов ЗВПО, а «чистый доход» вуза от обучения одного студента-заочника ($R(C_1)$) при себестоимости (S_1) его обучения:

$$R(C_1) = C_1 - S_1. \quad (10)$$

Параметры в (9), (10) взаимозависимы. В частности, $S_1 = S_1(K)$, в том числе из-за появления малокомплектных групп при отчислении студентов ЗВПО по различным причинам. Альтернативой расформирования таких групп при $R(C_1) < 0$ может быть упреждающее снижение вузом МУТ. Кроме того, в (9), (10): $C_1 = C_1(K, Z_1)$; C_1 зависит от УМВК для специальности; U_3 – от МУТ и УМВК, а U_4 – от МУТ;

U_3 , U_4 зависят еще и от политики вуза по отношению к задержкам оплаты обучения студентами. На практике МУТ для специальности может изменяться в процессе обучения, например – повышаться при приближении к защите ДР. Причины: объективные требования к уровням ДР студентов-выпускников; повышение уровня мотивации студентов при приближении окончания обучения; увеличение «высоты барьеров» в отношении переходов в другие вузы; снижение экономической заинтересованности вузов в обучении «платных» студентов по мере сокращения остающегося срока обучения; объективная экономическая заинтересованность вузов в ликвидации малокомплектных учебных групп.

Для вузов себестоимость однократного использования конкретного материала для СКЗС (МдСКЗС) в расчете на одного студента (S_2) определяется: стоимостью его первоначальной разработки (β_0) и последующих актуализаций ($\beta_{1...N}$); количеством применений (M) и количеством студентов, для каждого применения в СКЗС $\{\phi_{m=1...M}\}$. С использованием коэффициентов дисконтирования (Φ) для разновременных затрат

$$S_2 = \left(\beta_0 \Phi_0 + \sum_{n=1}^N (\beta_n \Phi_n) + \sum_{m=1}^M (T_m \Phi_m) \right) / \left(\sum_{m=1}^M \phi_m \right), \quad (11)$$

где T_m – стоимость m -го использования МдКЗС, включая оплату сотрудников, амортизацию ресурсов ПЭВМ, сетевого оборудования и пр.

Выводы

1. Заочное обучение является важным, экономически эффективным направлением деятельности большинства головных вузов и их филиалов.

2. Для решений о получении ЛД или приобретении ФД, выборе студентами специальности/вуза, тактики прохождения ими СКЗС предложены математические модели, которые могут быть развиты в различных направлениях.

3. При МУТ, превышающих «сложностные» и/или «временные» возможности студентов-заочников, они используют для прохождения СКЗС «чужую работу», переходят в другой вуз/ФИБ или прекращают обучение.

4. МУТ для СКЗ ограничиваются: характером специальности; конкурентными условиями на рынке образовательных услуг; требованиями Минобрнауки.

5. Оптимальные МУТ, обеспечивающие максимальный положительный эффект для вуза/ФИБ, могут: различаться по специальностям внутри вуза; меняться в процессе обучения.

6. При разработке/модификации МдСКЗС и, в частности, планировании трудозатрат, необходимо учитывать предполагаемые объемы и календарную продолжительность их использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брумштейн, Ю. М. Анализ факторов информационной безопасности региона и влияния на нее вузов / Ю. М. Брумштейн, Т. Т. Салхенов, С. В. Чернов, А. А. Боркова // Известия Волгоградского государственного технического университета № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 99–102.
2. Ватулева, В. П. Анализ структуры и уровней оплаты обучения на экономических специальностях в вузах г. Астрахани / В. П. Ватулева, Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Региональная специфика развития бизнеса и экономики : мат. III Междунар. науч. конф. (г. Астрахань, 20–21 апреля 2010 г.). – Астрахань : Астраханский университет, 2010. – С. 9–14.
3. Дипломы-оборотни / Известия. – 2010. – № 131 (28146). – С. 1–5.
4. Разработка и реализация компонентов информационной системы поддержки процесса заочного обучения в Волгоградском государственном техническом университете / А. Н. Савкин, Д. Е. Декатов, Е. А. Захаров, А. В. Крохалев // Известия Волгоградского государственного технического университета № 9 (35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 98–100.
5. Информационные материалы о предварительных итогах Всероссийской переписи населения 2010 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/>.

УДК 007.51

*М. С. Гарин, А. Г. Кравец, Е. В. Романенко***АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-АДМИНИСТРИРОВАНИЯ В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ФИРМЕ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: m.garin@mail.ru, agk@gde.ru, romka_oranj_star@mail.ru

Автоматизация специфики деятельности туристической фирмы сегодня очень актуальна. Туризм в России – одна из самых перспективных и быстроразвивающихся индустрий. Автоматизация бизнес-администрирования в туристической фирме предполагает устранение недостатков, связанных с «бумажным» (классическим) способом оформления туристических услуг, используя преимущества новых информационных технологий.

Ключевые слова: турфирма, туризм, автоматизация, бизнес-администрирование, CRM.

*М. S. Garin, A. G. Kravets, E. V. Romanenko***AUTOMATION BUSINESS ADMINISTRATION IN TOURISM COMPANY****Volgograd State Technical University**

Automating the specifics of the travel company today is very crucial. Tourism in Russia – one of the most promising and fastest growing industries. Automation of business administration in tourism firm implies the elimination of disadvantages associated with «paper» (classical) way of registration of tourist services, taking advantage of new information technologies.

Keywords: travel agency, tourism, automation, business administration, CRM.

Введение

Туризм в России – активно развивающаяся сфера. Главной целью разработки системы является обеспечение качественного и надежного взаимодействия между туристической компанией и ее клиентами. В первую очередь, такое взаимодействие может быть достигнуто с помощью автоматизации деятельности туристической фирмы.

Любая фирма или предприятие – это единый организм, требующий комплексной автоматизации бизнес-процессов. В результате применения информационных технологий возрастают безопасность и качество туристических услуг, а отнюдь не происходит изменение их явного человеческого содержания.

Эффективная автоматизация бизнес-процессов поможет достичь запланированного роста с меньшим увеличением сотрудников. Допустим, продажи предприятия выросли на 100 %. Предположим, что без автоматизации бизнес-процессов, для поддержания темпов роста необходим рост численности персонала на 60 %. При условии эффективной автоматизации бизнес-процессов, необходимый рост персонала можно уменьшить до 15–40 % в количественном выражении [4], причем за счет наиболее высокооплачиваемых сотрудников, чья деятельность больше поддается автоматизации. Можно спорить о необходимости автоматизации бизнеса, но факт существенного сокращения издержек на предприятии – налицо.

Туризм сегодня

Внедрение специализированных программных продуктов, разработанных исключительно для нужд туристической отрасли, российские компании-разработчики начали уже более пятнадцати лет назад. Следует заметить, что рынок туризма высокотехнологичен, и трудно себе представить сегодня серьезного туроператора, не использующего какого-либо программного комплекса.

Туризм сегодня – это глобальный компьютеризированный бизнес, в котором участвуют крупнейшие авиакомпании, гостиничные цепочки и туристические корпорации всего мира. Современный турпродукт становится более гибким и индивидуальным, более привлекательным и доступным для потребителя. Персональный компьютер и интернет, их доступность и надежность, способствуют проникновению во все сферы общества новых информационных технологий. Эти технологии являются, возможно, первыми в истории человечества, обеспечивающими рост производительности в сфере услуг. Это наблюдается сегодня и в туризме. Ведь туризм и информация неразделимы: решение о поездке принимается на основе информации; сам тур в момент покупки – тоже только информация [3]; информацией обмениваются сотни раз в день все участники туристического рынка. Значит, нужно уметь работать с информацией, собирать, обрабатывать и принимать на ее основе единственно верное

решение. Поэтому развитие информационных технологий в туризме должно быть одним из первоочередных; на этом и было акцентировано внимание в данной работе.

Концепция автоматизации туристического бизнеса

В условиях нарастающей конкуренции во время насыщения рынка, а также в моменты спада деловой активности и экономического кризиса, руководители туристических фирм малого и среднего бизнеса ищут ресурсы для повышения эффективности бизнеса. Использование современных технологий дает определенный бизнес-эффект, создавая конкурентное преимущество для туристической фирмы.

Автоматизированная система для туристической фирмы должна реагировать на изменения спроса и составлять кратко-, средне- и долгосрочные прогнозы с помощью анализа структуры спроса, при минимальном участии человека эффективно реагировать на внешние воздействия на характер спроса, включая мероприятия по стимулированию сбыта и внедрение новых продуктов.

Одними из систем, использующих такие технологии, являются мультиагентные системы, способные с минимальным вмешательством человека в процесс функционирования системы эффективно обрабатывать информацию, перераспределяя процессы информационной обработки по элементам системы, что ведет к увеличению ее общей производительности. У таких систем высокая оперативность реагирования на совершения необходимых в данный момент действий, что экономит время пользователя и не требует особых навыков работы с ней [5]. Неотъемлемой частью должна являться открытая архитектура системы, которая будет предоставлять возможность вносить изменения в базу в случае изменения стандартов на правила заполнения туристической путевки данных типовых документов; возможность установки модулей расширения системы предприятием без привлечения разработчика.

Разрабатывая концепцию автоматизации туристического бизнеса, можно выделить ряд правил для создаваемой системы:

- система должна учитывать законодательство и внутренний регламент; разделять сотрудников по обязанностям и ролям; требовать для работы данных о заказчике, услугах; вести учет финансовой деятельности;
- должен быть блок авторизации, на основании которого предоставляют права пользова-

ния; блок ввода данных, обеспечивающий систему данными о пользователях и турах; блок обработки, занимающийся организацией туров и расчетами с пользователями; блок вывода данных в виде печатных документов;

- для успешного функционирования система должна обеспечить пользователя возможностью ввода данных о турах и других предоставляемых услугах, данных о клиенте. Основной задачей блока ввода данных является оформление заявки клиента на получение туристической услуги;

- неотъемлемой частью систем автоматизации туристической индустрии также является ввод информации для финансового учета на основе платежей клиента;

- основными функциями обработки данных существующих систем являются определение подходящего тура под заказ клиента и расчет финансовой информации;

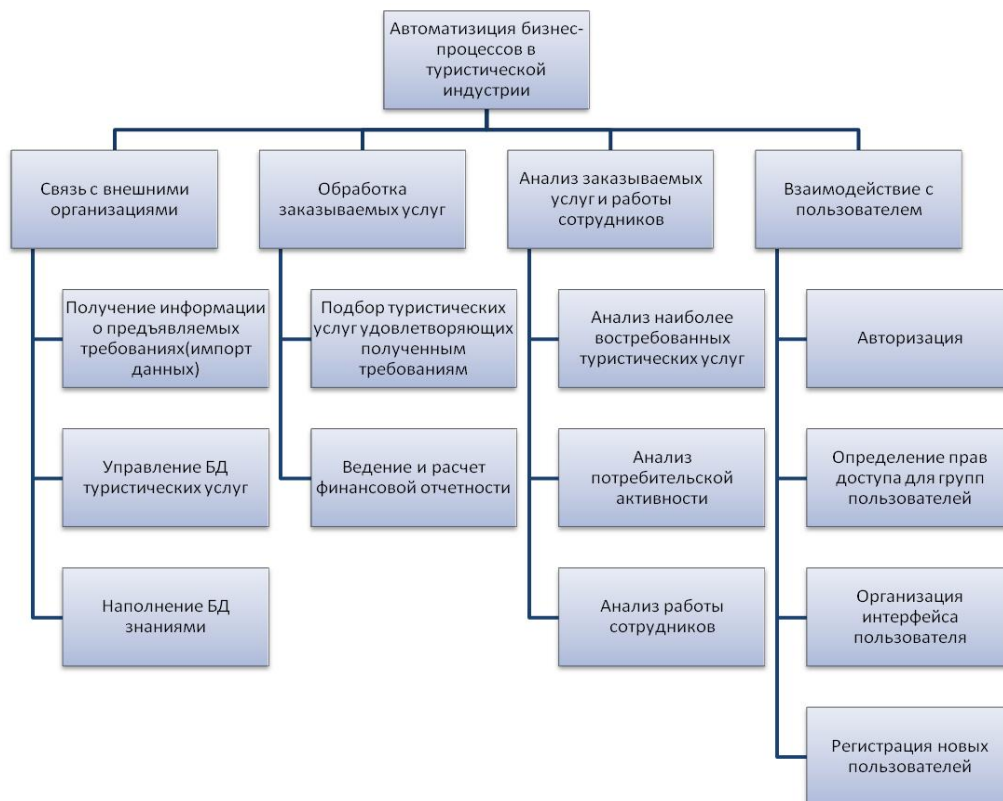
- CRM (Customer Relationship Management) – внутриофисная система, используемая агентством – должна позволять туристическому агентству сохранить наработанную клиентскую базу данных и историю взаимоотношений со своими клиентами [2];

- автоматизация анализа данных и получение статистики – для принятия правильных стратегических решений программное обеспечение, используемое турфирмой, должно формировать исчерпывающее количество статистических отчетов, которые покажут рентабельность работы компании за промежуток времени, среднюю доходность заявок по направлениям и туроператорам и многое другое [1].

На приведенном рисунке изображена концептуальная схема функций системы, удовлетворяющая всем начальным условиям.

Выводы

На сегодняшний день российский рынок туристических услуг направлен практически полностью на выездной туризм, причем крупными туроператорами предоставляются «типовые туристические продукты». Даже незначительная индивидуализация тура по запросам клиента влечет существенное увеличение стоимости продукта. Исходя из этих предпосылок, развивается и рынок специализированного ПО для турфирм, в том числе региональных. Фактически такие фирмы занимаются перепродажей туров более крупных фирм или туроператоров. Соответственно, программное обеспечение турфирмы зачастую сводится к оплачен-



Функциональная схема системы

ному доступу к БД туроператора через Интернет. В некоторых случаях турфирмы имеют достаточно дорогостоящий доступ к системам бронирования или пользуются различными бесплатными Интернет-ресурсами.

Современные тенденции развития туристической индустрии (как в России, так и за рубежом) направлены на развитие въездного (из-за рубежа) и внутреннего (внутри страны) туризма. Такая задача особенно актуальна для региональных рынков туризма. Однако без решения проблемы консолидации информации о туристических услугах региона реализовать такие тенденции невозможно.

В ходе проведенных исследований регионального рынка были сделаны следующие выводы:

1) для развития въездного и внутреннего туризма необходимо решение задачи консолидации разнородной информации регионального рынка туристических услуг;

2) для продвижения услуг региональных турфирм необходимо внедрять технологии управления взаимоотношениями с клиентами (CRM);

3) задача автоматизации должна решаться комплексно, с применением перспективных информационных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Браймер, Р. А. Основы управления в индустрии гостеприимства : пер. с англ. / Р. А. Браймер. – М.: Аспект Пресс, 2007. – 224 с.
2. Максименко, Ю. Автоматизация глазами турфирмы [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс / Ю. Максименко. – 2009. – Режим доступа : <http://www.tmanager.ru/russian/articles.html>.
3. Кравец, А. Г. Автоматизированные системы бизнес-администрирования в туристической индустрии [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс / А. Г. Кравец. – 2009. – Режим доступа : <http://edu.vstu.ru/course/enrol.php?id=88>.
4. Грей, Д. Управление данными: прошлое, настоящее, будущее. СУБД. / Д. Грей. – М.: Вильямс, 2008. – 302 с.
5. Олейников, С. П. Метод принятия решений в условиях неоднородности информации (РУНИ) / С. П. Олейников, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 6). – С. 63–66.

УДК 303.732.4

*А. В. Исаев, А. Г. Кравец, М. П. Мельников, Р. А. А. Аль-Шаеби***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОЙ ТРЕКТОРИИ:
ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ УЧЕБНОГО КУРСА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: andrei.isaev@gmail.com, agk@gde.ru, m.p.melnikov@gmail.com

В статье представлен пример реализации предложенной авторами концепции декомпозиции материала учебного курса. Показан алгоритм построения учебной траектории. Проиллюстрирована возможность индивидуализации учебной траектории.

Ключевые слова: автоматизированная система сопровождения учебного курса, образование.

*A. V. Isaev, A. G. Kravets, M. P. Melnikov, Shaebi Rashid Ali Ahmed***COMPUTER-AIDED SYSTEM FOR COURSES SUPPORT:
THE EXAMPLE OF CURRICULUM CONSTRUCTING****Volgograd State Technical University**

The article presents an implementation of the authors' concept course decomposition. The algorithm for constructing the educational trajectory is described. The possibility of personal educational trajectory is shown.

Keywords: computer-aided system for courses support, education

Авторами предложена концепция автоматизированной системы поддержки учебных траекторий [1, 2]. В основе концепции лежит принцип компетентностного подхода к построению учебного процесса.

Компетентностный подход определяет некоторую совокупность общих принципов формирования целей образования, отбора содержания образования, организации образовательного процесса и оценки образовательных результатов. С позиции такого подхода выпускник является специалистом, владеющим определенным набором профессиональных, социальных, культурных и иных компетенций. Под *профессиональной компетенцией* будем понимать группу взаимосвязанных и взаимообусловленных знаний, умений и навыков, обеспечивающих выполнение определенной (конкретной) профессиональной задачи. Предполагается, что в ходе освоения учебной программы у студента формируются те или иные профессиональные знания, умения и навыки, то есть набор результирующих профессиональных компетенций. В свою очередь, набор профессиональных компетенций не является строго определенным и может варьироваться по желанию участников учебного процесса: обучаемого, работодателя и обучающего, как на начальном этапе обучения, так и в ходе освоения учебной программы.

Для обеспечения широкой вариативности желаемого набора итоговых профессиональных

компетенций авторами предложен принцип декомпозиции учебного материала: предполагается, что учебный материал может быть представлен некоторым структурированным (по содержанию и очередности изложения) набором учебных тем. Каждая учебная тема характеризуется своими входными и выходными связями – определяется требуемый для ее изучения набор знаний и итоговый набор знаний, умений и навыков, которыми должен владеть прошедший обучение студент.

При этом авторами предлагается отойти от традиционного понимания учебной дисциплины как таковой, а представлять учебные курсы набором взаимосвязанных учебных тем, обозначив ее принадлежность к той или иной дисциплине введением такого параметра, как категория.

Рассмотрим реализацию предложенной авторами концепции на примере учебного курса «Сети ЭВМ и телекоммуникаций», изучаемой в рамках направления 552800 «Информатика и вычислительная техника» (код ОКСО 230100). За основу курса примем рекомендуемые требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы, предъявляемые Государственным образовательным стандартам по направлению 552800 при подготовке бакалавра.

В табл. 1 приведен список учебных тем, которые, согласно данному стандарту, должны быть освоены студентами в процессе обучения.

Таблица 1

Темы курса «Сети ЭВМ и телекоммуникаций»

№ п/п	Наименование темы, вопросов, изучаемых на лекции
1	Уровни открытых вычислительных сетей. Интерфейсы, протоколы, назначение отдельных уровней. Физический уровень. Виды модуляции. Асинхронный, синхронный режимы работы
2	Канальный уровень. Принципы помехоустойчивого кодирования. Код кратности, итеративный код, код Хэмминга. Избыточность, достоверность кода
3	Циклический код. Формирование контрольных разрядов. Проверка правильности приема. Обнаружение и исправление ошибок
4	Протоколы канального уровня с организацией информационной и решающей обратной связи. Протокол с подтверждением каждого кадра. Среднее время передачи кадра. Протокол с повторной выборочной передачей (ПВП). Временные диаграммы
5	Протокол с возвратом к N-кадру. Временные диаграммы. Механизм окна. Действие тайм-аута
6	Сетевой уровень. Принципы адресации в сетях. Маскирование. Адресация в Интернет
7	Сетевой уровень. Принципы маршрутизации. Пример маршрутизации в сети Интернет без масок. Использование в маршрутизации масок постоянной и переменной длины. Протокол IP
8	Маршрутизация в сетях, нахождение кратчайших расстояний между узлами сети. Алгоритмы Рогинского, Фон-Неймана, Дейкстры. Протокол маршрутизации в Интернет RIP, OSPF
9	Аналитические и имитационные модели сетей
10	Организация локальных сетей, шинного, кольцевого типа. Методы доступа
11	Сети с коммутацией каналов. Варианты построения коммутаторов пространственного и временного типа технологии T1, E1, T3, E3
12	Сети с пассивной коммутацией. Коммутация X.25, ISDN
13	Сетевые технологии ATM, B-ISDN, SMDS
14	Технологии квазисинхронного и синхронного цифрового управления
15	Проектирование топологических структур сетей
16	Обеспечение надежности сетей ЭВМ

Курс был разделен на отдельные учебные темы в соответствии с предлагаемым документом планом.

Далее, между учебными темами были установлены связи, то есть определены учебные темы, которые являются предшествующими или исходными, и темы, которые могут изу-

чаться на их основе. Кроме того, были предложены учебные темы из других учебных курсов (или, традиционно, дисциплин), знание материала которых является необходимым при освоении студентом того или иного учебного блока данного учебного курса. Пример установления таких связей представлен в табл. 2.

Таблица 2

Связи между учебными темами курсов

№ блока	№ блоков, необходимых для изучения	Другие курсы, необходимые для изучения
1	—	Теоретическая информатика. Электротехника. Исследование функций
2	1	
3	8	
4	2	
5	4	
6	5	Микропроцессорная техника. Электротехника и электроника
7	6	Операционные системы
8	7	
9	7	Теория вероятности. Моделирование
10	7	
11	7	

Окончание табл. 2

№ блока	№ блоков, необходимых для изучения	Другие курсы, необходимые для изучения
12	11	
13	7	
14	7	Прикладная теория цифровых автоматов
15	8	Дискретная математика (теория графов)
16	7	

Как видно из приведенного примера, уже на данном этапе становится возможным трансформировать очередность освоения учебных блоков в зависимости от уровня подготовки обучаемого, или, иными словами, становится очевидным возможность индивидуализации учебной траектории. Кроме того, становится очевидным, что некоторые из учебных тем не связаны с последующими учебными блоками; такие блоки будем определять как результирующие. Следовательно, если предположить различия в специфике последующей профессиональной деятельности выпускника, то возможно, что в освоении всех выходных учебных блоков тем или иным студентом нет необходимости. А это означает, что ряд учебных вопросов может быть рекомендован для самостоятельного изучения студентом, что дает возможность сократить срок подготовки будущего специалиста.

Так, например, согласно «Федеральному государственному стандарту высшего профессионального образования» по направлению подготовки 010400 «Информационные технологии» (010300 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»), выделены следующие компетенции, необходимые выпускникам данного направления:

- разработка конфигураций компьютерных сетей;
- выбор компонентов сетевой инфраструктуры;
- установка компьютерных сетей;
- управление компьютерными сетями;
- реализация сетевого программного обеспечения;
- управление коммуникационными ресурсами;
- реализация мобильных компьютерных систем.

Если предположить вариативность этого списка компетенций, то возможным является как его сокращение, так и его дополнение иными, востребованными в том или ином конкрет-

ном случае, компетенциями. В качестве примера можно привести находящие все более широкую популярность карты компетенций. Одно из определений карты компетенций (другие названия: профессиональный портрет, портрет идеального сотрудника, модель компетенций, матрица компетенций): «они представляют собой личностные характеристики человека, его способности к выполнению тех или иных функций, типов поведения и социальных ролей».

Итак, на основании табл. 2 были выделены темы, не имеющие выходных связей, то есть темы, формирующие итоговые компетенции – точки курса. Следует, однако, заметить, что компетенция может также формироваться и в ходе освоения обучающимися других тем: тем, имеющих последующие связи.

При расстановке связей было отдано предпочтение иллюстрации различных связей между учебными темами; учебными темами и компетенциями. В результате, курс имеет как параллельные, так и последовательные участки, компетенции, возникающие на различных этапах обучения (табл. 3). Полученная структура курса схематично представлена на рисунке.

Таблица 3

Зависимость компетенций от изученных тем

№ комп.	Компетенция	Точки курса
K1	Разработка конфигураций компьютерных сетей	10, 15, 16
K2	Выбор компонентов сетевой инфраструктуры	9, 12, 13, 16
K3	Установка компьютерных сетей	9, 12, 13, 16
K4	Управление компьютерными сетями	9, 12, 13, 16
K5	Реализация сетевого программного обеспечения	7
K6	Управление коммуникационными ресурсами	14
K7	Реализация мобильных компьютерных систем	–

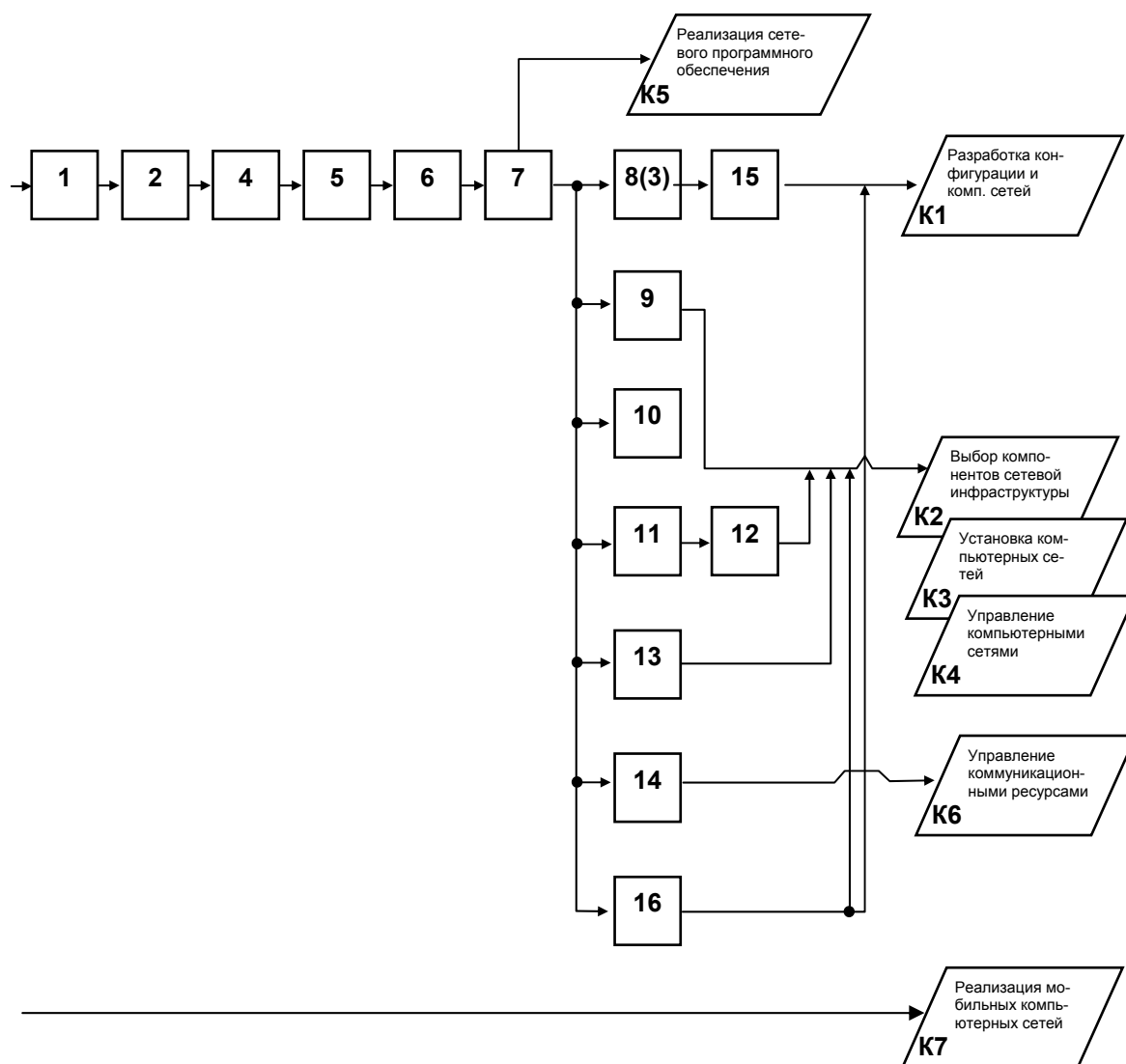


Схема курса «Сетевые технологии»

Учебная тема 3 (табл. 2) представляет собой петлю и требует привлечения эксперта. Поэтому на рисунке данный блок соединен с учебной темой 8. Компетенция К7 (табл. 3) не может быть сформирована в ходе изучения предлагаемых тем, поэтому схематично данная компетенция представлена на рисунке блоком, изучение которого предполагается в предыдущем, либо параллельно изучаемом учебном курсе.

Основные выводы по статье:

- обоснована актуальность динамического формирования учебных курсов как возможности обеспечения индивидуализации образовательных траекторий обучаемых в условиях высокой мобильности рынка труда;
- изложены принципы построения учебного процесса с учетом сформированного списка профессиональных компетенций;

- изложены алгоритмы динамического построения учебных курсов;
- приведен пример построения динамического учебного курса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравец, А. Г. Экспертная оболочка системы адаптации образовательного процесса к конъюнктуре рынка труда / А. Г. Кравец // Открытое образование. Приложение «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. IT + S&Ed'06». – 2006.
2. Исаев, А. В. Подходы к построению автоматизированной системы поддержки индивидуализированных учебных курсов / А. В. Исаев, Я. С. Кошечкин, А. Г. Кравец / Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 96–99.

УДК 339.136

*Лу Лу, Л. Н. Бутенко***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
СТРАТЕГИЧЕСКОГО МАРКЕТИНГА НА ОСНОВЕ ЦИКЛА ВЭНЬ ВАНА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: lulujnsd@yandex.ru, butenko@vstu.ru

В статье представлены результаты использования системного подхода для решения задач стратегического маркетинга на основе Книги Перемен. Каждая линия гексаграмм декомпозируется на составляющие и их интерпретация осуществляется с помощью экспертной системы (ЭС) байесовского типа.

Ключевые слова: маркетинг, гексаграмма, экспертная система, экономика, системный анализ.

*Lu Lu, L. N. Butenko***USE OF SYSTEMS APPROACH TO THE PROBLEM OF STRATEGIC MARKETIG ON THE BASIS
CYCLE WEN-WAN****Volgograd State Technical University**

The article presents the results of a systematic approach for solving the problem of strategic marketing based Book of change. Each line is decomposed into hexagrams for their contemplation and interpretation by using ES Bayesian type.

Keywords: marketing, hexagram, expert system, the economy, systems analysis.

На сегодняшний день проблемы определения стратегических направлений имеют высокую научную актуальность, вследствие того, что концептуальные решения, принимаемые на этих стадиях, исключительно сильно влияют на эффективность работы создаваемых объектов. Под *стратегическим маркетингом* понимается часть системы маркетинга, занимающаяся проблемами первой стадии жизненного цикла объекта, включая функцию управления [1]. На этой стадии принимаются многоаспектные решения по обеспечению конкурентоспособности нового товара.

Если рассматривать движение товара по стадиям жизненного цикла, то можно заметить, что каждая стадия этого цикла для поддержания жизни товара требует своего стратегического маркетинга. Анализ способов решения этой задачи приводит к выводу, что на данный момент существует ряд эмпирически сформулированных стратегий поведения для каждой стадии жизненного цикла и предлагается выбрать одну из них и интерпретировать для каждого конкретного товара отдельно с учетом требований окружающей среды [2]. Исходя из результатов анализа, реализация системного подхода к определению глобальной и частных стратегий, по мнению авторов, является актуальной.

С точки зрения системного рассмотрения, формулировка стратегии включает в себя решение следующих задач: диагностика началь-

ного состояния, генерация возможных новых состояний (задача прогнозирования), оценка и выбор конечного состояния (задача принятия решения), генерация частных стратегий на основе глобальной с учетом ресурсных ограничений. Постановка задачи определения стратегии в таком аспекте в литературе авторами не обнаружена.

В настоящее время актуальным для решения задач в сложных по структуре областях является развитие сценарного подхода как самого сложного из известных [3]. В этом плане перспективным, по нашему мнению, является использование «Книги перемен», в частности, цикла Вэнь Вана. «Книга перемен» является инвариантной моделью саморазвития для любых предметных областей [4] и его потенциальные возможности перекрывают аналогичные, связанные с моделью жизненного цикла. Ранее авторами было показано [5], что на основе цикла Вэнь Вана можно решать задачи прогнозирования. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач стратегического маркетинга. Общая схема решения может быть представлена следующим образом: 1) для построения сценария развития выбираются экономические показатели работы предприятия, равные числу черт в гексаграмме, и по этим показателям определяется начальное состояние экономики предприятия; 2) для определения типа каждой черты в гексаграмме, характеризующей начальное состояние (задача

диагностики), задается массив вопросов в экспертной системе. Это позволяет последовательно сформировать всю гексаграмму; 3) затем по циклу Вэнь Вана определяются возможные направления стратегического движения; 4) каждое направление рассматривается с точки зрения интерпретации гексаграммы в «Книге перемен». Это дает описание сценарий движения в каком-либо стратегическом направлении; 5) далее возможен выбор нужной или доступной по ресурсам стратегии, в соответствии с которой можно принимать управляющие решения [6].

Достоинством такого подхода является учет диалектики компонентов, а главное, учет диалектических взаимоотношений между прошлым, настоящим и возникающим будущим. В цикле Вэнь Вана сочетаются предустановленные самой природой закономерности, задающие тотальный детерминизм в развитии любых систем, и отклонение от этих закономерностей под воздействием конкретных условий [4].

В целом, сочетание бинарных выражений активности и пассивности в виде гексаграмм представляет собой форму лингвистической конструкции контекстно-свободного языка для

описания термов инвариантных качественных ситуаций, а циклы Вэнь Вана – синтаксические правила вывода, описывающие процесс перехода одного качественного состояния в другое.

Авторами проводилось решение задач стратегического маркетинга для ООО «Спецдежда». Для диагностики начального состояния фирмы выбирались группы из шести показателей (показаны на рис. 1), соответствующие идеологии построения гексаграмм «Книги перемен» (И Цзин), и по ним задавались вопросы в экспертной системе.



Рис. 1. Показатели работы фирмы на языке И Цзин

Таблица 1

Характер информации, используемой для определения маркетинговых стратегий [2]

Группа показателей работы фирмы	Результирующие показатели	Характер информации
Позиция товара на рынке	Качество. Количество. Спрос. Конкурент. Сбыт	Действия по разработке предложения компании и ее имиджа, направленные на то, чтобы занять обособленное благоприятное положение в сознании целевой группы потребителей. При позиционировании необходимо определить свойства товаров, наиболее интересующие потребителей
Особенности производства и распределения товара	Технология. Канал сбыта. Объемы производства продукции в целом по предприятию и по структурным подразделениям	Экстраполяция объемов производства за предшествующие периоды, норматив потерь при транспортировке продукции до потребителя, расход продукции на собственные нужды
Условия конкуренции	Структура основного капитала. Мощность производства. Уровень производительности труда	Анализ рынка и выбор наиболее конкурентоспособного товара – образца в качестве базы для сравнения и определения уровня конкурентоспособности; определение набора сравниваемых параметров двух товаров; расчета интегрального показателя конкурентоспособности товара
Поведение покупателя	Комплексное покупательское поведение. Потребительское поведение, сглаживающее диссонанс. Привычное покупательское поведение. Покупательское поведение, ориентированное на широкий выбор продукции	Оценка стратегий, разработанных маркетологами, и помогающих потребителям разобраться в относительной важности характеристик товаров и информировать покупателей об отличии одной марки от другой, используя для этого печатные средства массовой информации. Стратегическая маркетинговая политика, направленная на обеспечение потребителя информацией, которая помогла бы ему остаться довольным покупкой

Окончание табл. 1

Группа показателей работы фирмы	Результирующие показатели	Характер информации
Особенности рекламных кампаний	Централизованный. Децентрализованный. Смешанный	Под <i>централизованным</i> понимается управление, при котором стратегические, тактические и творческие решения принимаются в рекламном агентстве, которому утверждающий эти решения рекламодатель отводит роль центра управления рекламной кампанией. При <i>децентрализованном</i> управлении решения принимаются автономно рекламными агентствами, осуществляющими рекламные мероприятия в странах и регионах
Цена товара и прибыль от его реализации	Прибыль от реализации продукции, работ и услуг. Сальдо прочих операционных доходов и расходов. Чрезвычайные доходы и расходы. Доходы от инвестиционной и финансовой деятельности	Остаток средств на начало периода, прогноз поступления и использования денежных средств, возможность использования краткосрочных и долгосрочных заемных средств, ожидаемый остаток средств на конец прогнозного периода

В табл. 2 приведены вопросы, которые были введены в базу знаний. Пользователь должен иметь возможность выбора значения пока-

зателя в полярной шкале, чтобы можно было сформировать черту гексаграммы (сплошную и прерывистую).

Таблица 2

Вопросы для экспертной системы

Группа показателей работы фирмы	Вопросы, задаваемые в экспертной системе
Позиция товара на рынке	Каков объем реализации продукции? Какова выручка от реализации продукции? Каков акциз? Какова цена на продукцию на внутреннем рынке? Какова цена на продукцию на внешнем рынке?
Особенности производства и распределения товара	Каков объем производства продукции в целом по предприятию в следующей шкале (большой – маленький)? Каковы потери при транспортировке продукции до потребителя? Каков объем производства за предшествующие периоды? Каков расход продукции на собственные нужды? Какова техническая оснащенность предприятия?
Условия конкуренции	Каков объем потребности в выпускаемой продукции? Какова мощность производства? Каков уровень качества выпускаемой продукции? Каков уровень производительности труда? Каков срок транспортировки до потребителя? Каков интегральный показатель конкурентоспособности?
Поведение покупателя	Какова удовлетворенность покупателя? Каков спрос?
Особенности рекламных кампаний	Какова сфера распределения рекламных кампаний? Каков расход на рекламу? Какова эффективность рекламных кампаний? Каков период действия рекламы?
Цена товара и прибыль от его реализации	Каков объем затрат в производстве? Какова выручка от реализации продукции? Какова цена на продукцию на внутреннем рынке? Какова цена на продукцию на внешнем рынке?

Полученная таким образом стратегия на языке И-Цзин, состоящая из начальной, проме-

жуточной и конечной гексаграмм для фирмы «Спецодежда», представлена на рис. 2.



Рис. 2. Маркетинговая стратегия для фирмы «Спецодежда»

Формулировки маркетинговых стратегий по каждой группе показателей приведены ниже.

1. Определить разумную цену на товары, чтобы повысить прибыль фирмы.
2. Привлечь как можно большее количество покупателей, предпринять меры для повышения доверия постоянных покупателей к товару.
3. Сделать новую рекламу для товаров.
4. Ликвидировать на фирме перерывы в товарном производстве.
5. Улучшить ритмичность работы транспорта по доставке товара на рынок.
6. Обеспечить большую конкурентоспособность на рынке.

Отметим, что для уточнения пути достижения желаемого конечного состояния, аналогичную работу можно выполнить с промежуточными гексаграммами, проведя их интерпретацию в соответствии с выбранными группами стратегических показателей.

Проведенное исследование показывает, что построение маркетинговых стратегий с использованием цикла Вэнь Вана позволяет более обоснованно принимать решения за счет воз-

можности построения альтернативных желаемых состояний и путей их достижения с учетом ресурсных ограничений; каждая стратегия рассматривается в полярных компонентах, что отсутствует во всех современных методах построения стратегий; использование цикличности для генерации стратегий более «естественно» из-за описания циклом Вэнь Вана процесса развития любых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фатхутдинов, Р. А.* Стратегический маркетинг / Р. А. Фатхутдинов. – М. – СПб.: Питер, 2003.
2. *Никифорова, С. В.* Стратегический маркетинг: теория и практика / С. В. Никифорова. – СПб.: УЭФ, 2003.
3. *Сидельников, Ю. В.* Системный анализ технологии экспертного прогнозирования / Ю. В. Сидельников. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2007. – 348 с.
4. *Степанов, А. М.* И-Цзин – древний канон перемен. Взгляд из третьего тысячелетия новой эры / А. М. Степанов, Б. Е. Агафонов. – М.: Препринт, 2005. – 122 с.
5. *Лу Лу.* Использование системного подхода при прогнозировании развития ситуации на основе цикла Вэнь Вана / Лу Лу, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6 (66) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 8). – С. 64–68.
6. *Кукина, А. Н.* Экономическая теория / А. Н. Кукина. – М., 2003. – 115 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 68.5.01:658.512.2.011.56

Ю. В. Кандырин, Л. Т. Сазонова, Г. Л. Шкурина

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА В САПР

Московский энергетический институт МЭИ (ТУ), г. Москва
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ), г. Волгоград
E-mail: ywk@mail.ru

В работе предложены математические модели для формирования частичных порядков альтернатив на основе их линейных порядков по отдельным показателям качества. Рассмотрены методы, основанные на формировании результирующего частичного порядка с помощью графов Бержа и на преобразованиях окрестностей фактор-множеств. Разработка этих подходов необходима для критериального структурирования вариантов объектов при многокритериальном выборе альтернатив в САПР.

Ключевые слова: многокритериальный выбор, граф Бержа, частичный порядок, линейный порядок, фактор-множество, окрестности альтернатив, критериальное структурирование.

Y. V. Kandyrin, L. T. Sazonova, G. L. Shkurina

MATHEMATICAL MODEL STRUCTURING ALTERNATIVES FOR SOLVING PROBLEMS OF CHOICE IN CAD

Moscow Power Engineering Institute (TU), Moscow
Volgograd State Technical University (VolGTU), Volgograd

This paper describes a mathematical model for the formation of partial orders of alternatives based on their total orders for individual quality indicators. We consider methods based on the formation of NII resulting partial order with the help of Berge graphs and the transformation of neighborhoods factor sets. The development of these approaches is necessary for the structuring of the criteria options for objects with multicriteria selection of alternatives in CAD.

Keywords: multi-criteria selection, graphs Berge, partial ordering, linear ordering, the factor set, neighborhood choices, criterial structure hydrogenation.

Современное инновационное автоматизированное проектирование и надежная эксплуатация радиоэлектронных средств требуют решения целого ряда задач, связанных с многокритериальным выбором и критериальным структурированием альтернатив. К наиболее типичным практическим задачам, о которых идет речь, можно отнести: задачи автоматизированного выбора оптимальных (рациональных) вариантов комплектующих компонентов унифицированных изделий при новых разработках; создание структурированных баз данных для САПР РЭС, настроенных на цели выбора; формирование структур альтернатив, которые указывали бы на альтернативы-заместители; задачи выбора замен прототипа анало-

гами при ремонтах. Все эти проблемы представляют как научный, так и практический интерес – они, безусловно, актуальны и требуют своего решения.

Для эффективного использования памяти она должна быть организована так, чтобы структурирование данных отвечало бы целям, которым служит. Использование рационально организованных структур хранения данных в системах автоматизированного выбора позволяет более эффективно решать задачи многокритериального выбора, значительно экономить машинное время на поиск информации, так как процедура выбора в этом случае будет начинаться с оптимальных вариантов. При этом такая вновь создаваемая структура данных

должна отражать заложенную лицом, принимающим решение (ЛПР), объективную картину предпочтений, задаваемую частичным или линейным порядком альтернатив.

Предлагаемый подход основан на наделении множества возможных вариантов (МВА) $\Omega = \{\omega_i\}$, $i = \{1, N\}$ структурой, отражающей критериальные требования $\{C\}$. В этом случае решением задачи выбора $\langle C, \Omega \rangle$ будут максимальные элементы множества Ω , частично (или линейно) упорядоченного отношением R_K . R_K – отношение, задающее предпочтения среди альтернатив. Если $C_d \neq \emptyset$, то $\Omega_d^0 = \max \Omega / R_K$. Отношение R_K задается тем или иным критерием выбора, назначаемым ЛПР в качестве целеполагания.

Новизна предлагаемого решения, прежде всего, – это новое мировоззренческое качество подхода. Исходное множество альтернатив представляется проектировщику упорядоченным в соответствии с его целевыми устремлениями, которые формально выражены через критериальные постановки. Известно [1], что основные принципы оптимальности подразделяются на два различных класса оптимизационных задач: *неметрические* и *метрические*. Основной недостаток неметрических безусловных критериев оптимальности состоит в том, что они не позволяют корректно и точно разрешить проблему устойчивости решений и обладают меньшей *силой*, по сравнению с условными неметрическими или метрическими постановками. При этом принцип оптимальности R_{K_i} *сильнее* R_{K_j} или $R_{K_i} \triangleright R_{K_j}$, если $\Omega_i^0 \subset \Omega_j^0$, где $\Omega_i^0 = R_{K_i}(\Omega)$ и $\Omega_j^0 = R_{K_j}(\Omega)$.

Вид распределения предпочтительности альтернатив по различным критериальным постановкам дает важнейшую информацию о степени противоречивости целей при выборе из МВА. Результаты выбора становятся обозримыми, и появляется возможность оперативной оценки потерь при отступлении от оптимальных решений. Другое достоинство предлагае-

мого подхода – это высокая эффективность оптимизационных процедур. Последнее связано с тем, что решение задачи выбора фактически сводится к проверке допустимости решений по условиям и ограничениям только для максимальных элементов на соответствующем упорядоченном множестве [2]. Итак, предложенный подход ставит две задачи:

1) если число предъявляемых критериальных требований невелико, то необходимо хранить лишь линейные или частичные (невысокой размерности) порядки и указать несложные процедуры поиска допустимых среди максимальных элементов (т. е. здесь возникают задачи специального кодирования частичных порядков с минимальной емкостью и временной сложностью);

2) если число показателей качества значительно, то эффективность предложенного подхода можно обеспечить, решив задачи получения необходимых частичных порядков на основе преобразований базовых линейных или частичных порядков малой размерности.

Математические модели для такого структурирования альтернатив могут быть различными, но онтологически они отражают целеполагание ЛПР [3], [4]. В работе ставится задача предложить подходы к формированию частичных порядков из линейных порядков альтернатив.

Первый подход основан на представлении частично упорядоченного множества совокупностью линейно упорядоченных множеств, с применением графов Бержа, а второй – на формировании результирующих частично упорядоченных множеств с помощью фактор множеств линейных порядков.

Основной концептуальный смысл и порядок переструктурирования альтернатив на МВА Ω можно графически интерпретировать как настройку БД на конкретную задачу выбора в соответствии с ее пониманием ЛПР (рис. 1).

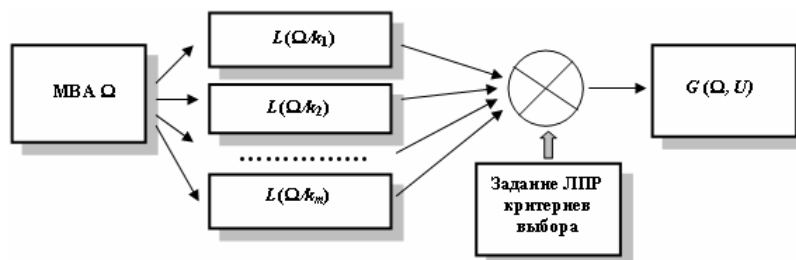


Рис. 1. Формирование адаптивного частичного порядка $G(\Omega, U)$ в соответствии с целевой постановкой задачи выбора из линейных порядков альтернатив

Рассмотрим математическую модель представления частично упорядоченного множества совокупностью линейно упорядоченных множеств, которые описываются графами [5].

Пусть частично упорядоченному множеству Ω/R_k соответствует транзитивный граф Бержа [6] $\vec{G} = \langle \Omega, \vec{U} \rangle$, где $\vec{U} = \{ \langle \omega_i, \omega_j \rangle, \text{ если } \omega_i < \omega_j, i \neq j = \{1, N\} \}$.

Обозначим:

$G = \langle \Omega, U \rangle$ – обыкновенный (неориентированный) граф, полученный из $\vec{G} = \langle \Omega, \vec{U} \rangle$ заменой сигнатуры U на $\vec{U}$ при сохранении носителя Ω ; при этом $U = \{ \{ \omega_i, \omega_j \}, \text{ если } (\omega_i < \omega_j) \vee (\omega_j < \omega_i), i \neq j = \{1, N\} \}$;

$\bar{G} = \langle \Omega, U \rangle$ – обыкновенный граф, «дополнительный» к $G = \langle \Omega, U \rangle$, сигнатура которого U является дополнением сигнатуры U , т. е. $U \cup U = \Omega \times \Omega$, а $U \cap U = \emptyset$;

$\vec{G}_A = \langle \Omega, \vec{U}_A \rangle$, $\vec{G}_B = \langle \Omega, \vec{U}_B \rangle$ – графы Бержа – транзитивные турниры, соответствующие линейно упорядоченным множествам Ω/U_A и Ω/U_B ;

$\vec{G}_T = \langle \Omega, \vec{U}_T \rangle$ – граф Бержа, который является транзитацией (транзитивной ориентацией) обыкновенного графа $\bar{G} = \langle \Omega, U \rangle$, если орграф $\vec{G}_T = \langle \Omega, \vec{U}_T \rangle$, полученный в результате ориентации всех ребер из $\bar{U}$ графа $\bar{G} = \langle \Omega, U \rangle$, является транзитивным;

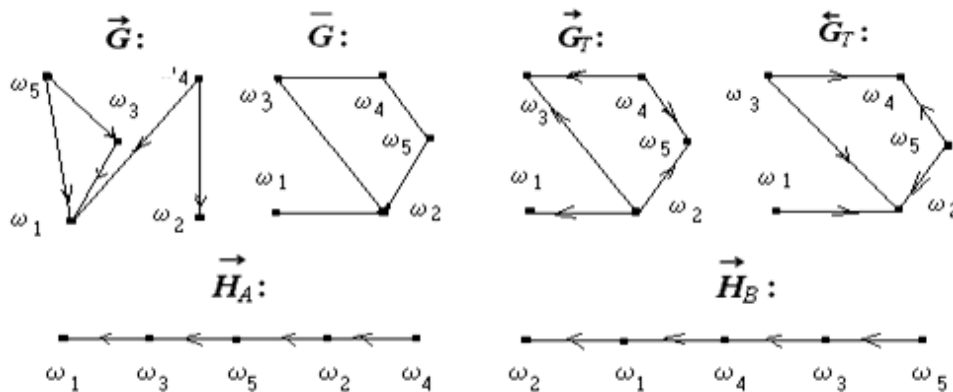


Рис. 2. Графическая иллюстрация графа частичного порядка $\vec{G}$, графов $\bar{G}$, $\vec{G}_A$, $\vec{G}_T$, а также диаграммы Хассе $\vec{H}_A$ и $\vec{H}_B$ турниров $\vec{G}_A$ и $\vec{G}_B$

На рис. 3. графически показано, как из линейных порядков диаграмм Хассе $\vec{H}_A$ и $\vec{H}_B$ может быть восстановлен граф частичного порядка более высокой размерности $\vec{G}$. Очевидно, что в нем концевые, недоминируемые вершины графа $\{ \omega_1, \omega_2 \}$ являются оптимальными по Парето (для минимизации).

$\vec{G}_T = \langle \Omega, \vec{U}_T \rangle$ – противоположная $\vec{G}_T = \langle \Omega, \vec{U}_T \rangle$ транзитация графа $\bar{G}$, т. е. для $i \neq j = \{1, N\}$ из $\langle \omega_i, \omega_j \rangle \in U_T$ следует $\langle \omega_j, \omega_i \rangle \in \vec{U}_T$.

Под объединением $\cup$ и пересечением $\cap$ графов $G_i = \langle \Omega_i, U_i \rangle$ и $G_j = \langle \Omega_j, U_j \rangle$ следует понимать операции объединения и пересечения носителей Ω_i, Ω_j и сигнатур U_i, U_j .

Рассмотрим два утверждения:

Утверждение 1. Граф частичного порядка $\vec{G}$ можно представить в виде пересечения двух графов линейных порядков $\vec{G}_A$ и $\vec{G}_B$ тогда и только тогда, когда существует транзитация $\vec{G}_T$ дополнительного графа $\bar{G}$. Или в формализованном виде:

$$\vec{G} = \vec{G}_A \cap \vec{G}_B, \text{ если } \exists \vec{G}_T \text{ для } \bar{G}. \quad (1)$$

Утверждение 2. Если выполнено условие (1), то орграфы линейных порядков $\vec{G}_A$ и $\vec{G}_B$ определяются как объединения исходного графа частичного порядка $\vec{G}$ и противоположных транзитаций графа $\bar{G}$:

$$\vec{G}_A = \vec{G} \cup \vec{G}_T; \quad \vec{G}_B = \vec{G} \cup \vec{G}_T. \quad (2)$$

Это утверждение иллюстрируется рис. 2 и 3, где для заданного графа частичного порядка $\vec{G}$ представлены графы $\bar{G}$, $\vec{G}_T$ и $\vec{G}_B$, а также диаграммы Хассе $\vec{H}_A$ и $\vec{H}_B$ в виде линейных порядков транзитивных турниров.

Таким образом, показаны не только необходимые и достаточные условия (1) для представления частично упорядоченного множества двумя линейно упорядоченными множествами, но и способ их нахождения (2).

Такое представление используется, в частности, для специального кодирования. Послед-

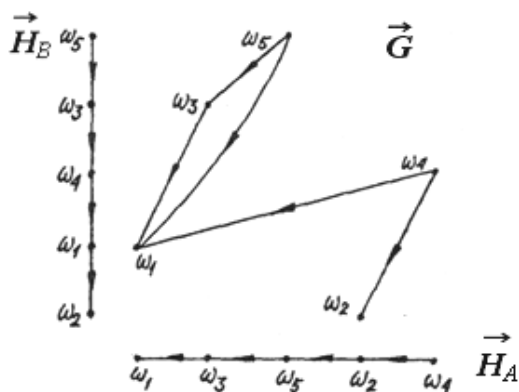


Рис. 3. Графическая интерпретация восстановления частичного порядка $\vec{G}$ из диаграмм Хассе линейных порядков

нее дает возможность получить код, позволяющий эффективно находить решение задачи выбора по конечным вершинам [5].

Второй подход предполагает использование математических моделей основанных на описании множеств возможных вариантов с помощью фактор-множеств $\Phi(\Omega/R)$. По определению, фактор-множеством называется множество окрестностей единичного радиуса,

$$O_i(\Omega/k_1) \cap O_i(\Omega/k_2) = \{\omega_i: k_1(\omega_i) \leq k_{j1}(\omega_j), \omega_i, \omega_j \in \Omega\} \cap \{\omega_i: k_2(\omega_i) \leq k_{j2}(\omega_j), \omega_i, \omega_j \in \Omega\} = \{\omega_i: [k_1(\omega_i) \leq k_{j1}(\omega_j)] \cap [k_2(\omega_i) \leq k_{j2}(\omega_j)], \omega_i, \omega_j \in \Omega\}.$$

Продолжая для $l=\{1, M\}$, получаем:

$$\bigcap O_i(\Omega/k_l) = \bigcap \{\omega_i: k_l(\omega_i) \leq k_{j_l}(\omega_j), \forall l \in \{1, M\}, \omega_j, \omega_i \in \Omega\}. \quad (3)$$

И, если $\bigcap O_i(\Omega/k_l) = \emptyset$, то ω_i – вариант, не доминируемый любым $\omega_j \in \Omega$. При этом ω_i – оптимальный вариант по принятому критерию Парето

$$\Omega_\pi\{k_1, \dots, k_M\} = \{\omega_i: \bigcap O_i(\Omega/k_l), \forall l \in \{1, M\}\} = \emptyset.$$

Таким образом, решение Ω_π для π -постановки вида $\pi(\Omega/\{k_1, \dots, k_M\})$ определяется пересечением окрестностей фактор-множеств для порядков альтернатив по всем показателям качества из выделенной совокупности $\{k_1, \dots, k_M\}$.

Для автоматизации решения задач построения критериально структурированных множеств необходимо, чтобы методы решения задач были тесно увязаны с моделями хранимых данных об альтернативах; важна и компактность

взятых для всех $\omega_i \in \Omega$, $i=\{1, N\}$. Под окрестностью O_i элемента ω_i будем понимать множество элементов $\{\omega_{j*}\}$, доминирующих или эквивалентных ω_i , таких, что они могут быть описаны следующим линейным порядком: $\langle \{\omega_{j*}\}, \omega_i \rangle \in R$ (для min). Очевидно, что окрестностью минимальных элементов является пустое множество. В самом общем виде это отношение R может задаваться критериями Парето, Слейтера и т. д.

Пусть в качестве правила сравнения вариантов принимается критерий Парето, позволяющий устанавливать частичные порядки с минимумом требуемой начальной информации. Определим окрестность O_i в фактор-множестве по показателю качества k_l как $O_i(\Omega/k_l) = \{\omega_j: k_l(\omega_j) \leq k_l(\omega_i), \omega_j, \omega_i \in \Omega\}$. Тогда фактор-множество Ω/k_l можно представить как совокупность окрестностей $\Phi(\Omega/k_j) = \{O_i(\Omega/k_l)\}$, $i = \{1, |\Omega|\}$, $l=\{1, M\}$.

Рассмотрим пересечение окрестностей $O_i(\Omega/k_1)$ и $O_i(\Omega/k_2)$ для альтернативы ω_i по показателям качества k_1 и k_2 :

хранения информации, и оптимальные пути доступа к ней. Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют ассоциативные матрицы (АМ).

Таблица 1

Ассоциативная матрица A_l фактор-множества $\Phi(\Omega/k_l)$ линейного порядка $L(\Omega/k_l)$

Альтернативы ω_i	Окрестности $O_l(\omega_i)$			
	$O_1(\omega_i)$	$O_2(\omega_i)$	...	$O_N(\omega_i)$
ω_1	0	B_{12}	...	B_{1N}
ω_2	B_{21}	0	...	B_{2N}
...	...	...	...	...
ω_N	B_{N1}	B_{N2}	...	0

В строках АМ располагаются альтернативы, а в столбцах – окрестности. Если альтернатива ω_i доминирует альтернативу ω_k , то элемент ассоциативной матрицы B_{ij} принимает значение «1», т. е.

$$B_{ij} = \begin{cases} 0, & \omega_j \succ \omega_i, \omega_{j,i} \in L(\Omega|k_i), \omega_j \neq \omega_i \in \Omega, l = \{1, M\}; \\ 0, & i = j; \\ 1, & \omega_j \prec \omega_i, \omega_{j,i} \in L(\Omega|k_j), \omega_j \neq \omega_i \in \Omega, l = \{1, M\}. \end{cases} \quad (4)$$

Естественно, что элементы, стоящие на главной диагонали, всегда принимают значение «0», так как альтернатива не может войти в окрестность самой себе. Если альтернативы ω_i, ω_j несравнимы по данному показателю качества, то элементы B_{ij}, B_{ji} принимают значение «1». В остальных случаях элементы, расположенные симметрично относительно главной диагонали, связаны отношением отрицания $B_{ij} = \overline{B_{ji}}$. Рассмотрим далее основные свойства фактор множеств, которые представляются совокупностью АМ:

- АМ всегда имеют размер $N \times N$, т. е. являются квадратными. Так как в строках матрицы отложены альтернативы, а в столбцах – их окрестности и количество окрестностей всегда совпадает с количеством альтернатив, то, число строк равно числу столбцов.

- Элементы ассоциативной матрицы $A_{l, \min} B_{ij}, B_{ji}$ равны тогда и только тогда, когда альтернативы ω_i, ω_j несравнимы по k_l .

Перейдем к получению решения задачи выбора оптимальных АМ по π -критерию. Для этого, как следует из выражения (3), необходимо реализовать пересечение фактор-множеств всех, назначенных ЛПР, показателей качества. Рассмотрим пересечение столбцов C_{l1} и C_{l2} произвольных ассоциативных матриц $A_{l1, \max}, A_{l2, \max}$ фактор-множеств:

$$C_{l1} \cap C_{l2} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_N \end{pmatrix}_{l1} \cap \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_N \end{pmatrix}_{l2} = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_N \end{pmatrix},$$

где $G_i = (B_i)_{l1} \cap (B_i)_{l2}; i = \{1, N\}$.

Очевидно, что результат будет аналогичным для всех столбцов ассоциативных матриц.

Окончательно, обобщая, для всех АМ $\forall l \in \{1, M\}$ фактор-множеств показателей качества $\Phi(\Omega/k_l)$, получаем выражение, определяющее результирующую ассоциативную матрицу (РАМ): $A_{\text{рез}, 1, 2, \dots, m}$:

$$G_{ij} = B^1_{ij} \cap B^2_{ij} \cap \dots \cap B^M_{ij}, \quad i, j = \{1, N\}, \quad (5)$$

Формализованное выражение (5) назовем π -правилом пересечения ассоциативных матриц фактор множеств. Основная особенность пересечения по π -правилу – обладание свойством свободной перестановки пересекаемых элементов. Альтернатива ω_i включается во множество

нехудших решений, если для столбца, т. е. для окрестности $O_i(\omega_i/\{k_1, \dots, k_M\})$ альтернативы ω_i выполняется условие $\bigcup_{j=1}^N G_{i,j} = 0$.

Подведем итог. Решение задачи выбора математической модели для критериального априорного структурирования альтернатив дает возможность адаптировать структуры данных к их целевому использованию при решении задач многокритериального выбора [7, 8]. Структурирование вариантов основано на композиции порядков более низкого уровня в частичные порядки более высокого уровня. Само преобразование структур осуществляется в соответствии с рассмотренными выше правилами. Предложенная методика реализована на практике в программных комплексах: «Выбор 12М», «Choose» и «Ряд», разработанных в МЭИ (ТУ) и внедренных на ряде предприятий и в вузах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кандырин, Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Кандырин. – М.: МЭИ, 2004. – 172 с.: ил.
2. Кандырин, Ю. В. Принципы построения информационных систем для автоматизированного многокритериального выбора / Ю. В. Кандырин // Радиотехника. – М., 1999. – № 5. – С. 32–36.
3. Камаев, В. А. Автоматизированное поисковое проектирование / В. А. Камаев // Наука – производству. – 2000. – № 1. – С. 3–4.
4. Камаев, В. А. Применение структурирования функции качества для изменения технических характеристик продукции на основе требований потребителей / В. А. Камаев, Ю. Ю. Андрейчиков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (27) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 1). – С. 59–64.
5. Гусев, В. М. Принципы построения проектно ориентированных информационных систем. В кн. Процедуры и методы инженерного проектирования / В. М. Гусев, Ю. В. Кандырин. – М.: Представительство «Астерра» и ЦИП МЭИ(ТУ), 1992. – С. 81–87.
6. Зыков, А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. – М.: Наука, 1987. – 382 с.
7. Кандырин, Ю. В. Модели системы процедур инженерного проектирования. В кн. Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии / Ю. В. Кандырин, Г. Л. Шкурина. – Волгоград, 2001. – С. 43–49.
8. Шкурина, Г. Л. Методика построения очередей ремонта оборудования с использованием процедур выбора / Г. Л. Шкурина // Вестник Астраханского государственного технического университета. – (Сер. Управление, вычислительная техника и информатика). – 2011. – № 1. – С. 124–127.

УДК 681.2.002

*Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ВИДЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИЗ ТЕКСТОВ
НА ЕСТЕСТВЕННОМ АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: dkorobkin80@mail.ru

Данная работа посвящена извлечению фактов (структурированных физических знаний в виде физических эффектов) из естественно-языковых текстов определенной предметной области. В связи с ростом количества электронных источников все более увеличивается потребность в автоматизированном поиске и извлечении интересующей пользователя информации.

Ключевые слова: физический эффект, извлечение фактов, информационный поиск

*D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov***AUTOMATED METHOD OF EXTRACTING STRUCTURED PHYSICAL KNOWLEDGE
IN THE FORM OF PHYSICAL EFFECTS FROM ENGLISH TEXTS****Volgograd State Technical University**

This work is dedicated to the extraction of facts (structured physical knowledge in the form of physical effects) of natural-language text of a certain subject area. Due to the increasing number of electronic sources of the increasing need for an automated search and retrieval of information the user is interested.

Keywords: physical effect, fact extraction, information retrieval

Как известно, физические эффекты (ФЭ) полезны при конструировании принципиально новых высокоэффективных технических систем, разработке новых технологий, научно-техническом прогнозировании, обучении методам технического творчества. На кафедре САПР и ПК ВолгГТУ разработаны модели входной и выходной информации физического эффекта (так называемые входные и выходные карты ФЭ), а также фонд физических эффектов [1, 2].

В настоящее время фонд (а это около 1300 описаний физических эффектов) содержит знания из разных областей физики, в том числе на основе новых открытий и изобретений. Однако до настоящего момента пополнение фонда ФЭ шло только на основе советской (теперь российской) периодической литературы физического профиля, такой как, например, журнал «Успехи физических наук» [3]. Исследования и открытия зарубежных физиков отслеживались исключительно в виде переводной литературы. Тем самым не охватывался пласт физических изобретений и открытий иностранных ученых, не переведенных на русский язык. Поскольку, как правило, иностранные публикации идут на международном (английском) языке, то актуальной является задача автоматизации процедуры поиска и выделения описания ФЭ в англоязычных текстах.

Анализ существующих систем извлечения информации из неструктурированных текстовых массивов (text mining), систем информационного поиска (information retrieval), семантического анализа текста, таких как TextAnalyst, BusinessObjects Text Analysis, AeroText, Attensity Text Analytics Suite, Statistica Text Miner, RCO Fact Extractor (и др.), позволил сделать следующий вывод. Несмотря на то, что большинство упомянутых систем обеспечивает возможности построения семантических сетей; извлечение фактов, понятий; поиск по ключевым словам; создание таксономий и тезаурусов, ни одна из них не позволяет автоматизировать процесс извлечения описаний физических эффектов из текста.

В качестве реализации поставленной задачи были выбраны методы, основанные на фразовых образцах (phrase-based), базовой процедурой которых является сопоставление с синтаксическим шаблоном [4]. Текстовые сегменты в этом подходе представляются деревьями синтаксического разбора с указанием семантических ролей термов. Было проведено сравнение систем, построенных на базе онтологий FrameNet, VerbNet, PropBank, NomBank и обеспечивающих разметку семантических ролей: Ergo Linguistic Technologies Parser, Functional Dependency Grammar, Link Parser, The EP4IR parser of English. В качестве базовой была выбрана система Semantic Role Labeler от Cognitive Computation Group (Университет Иллинойса в Урбана-Шампейне).

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-01-00135-а.

Для того чтобы выделять описания ФЭ из текста первичных источников, была разработана онтология предметной области (ПО) «Physical Effect» и модель представления в тексте структурированной предметной информации в виде физических эффектов.

Онтология ПО «Physical Effect» включает в себя концепты (понятия) (рис. 1), связанные набором дифференцированных семантических отношений: классификации «IS-A» и меронимии «HAS-PART» [5].

Модель представления в тексте структурированной предметной информации в виде ФЭ имеет вид [6]:

$$M_{FE} = \langle C, D, B, R_C, R_B \rangle,$$

где C – множество фразовых образцов, опреде-

ленных в ПО, $c_i \in C$; D – множество семантических ролей, характерных для фразовых образцов ПО; $D = \{\text{Subject, Object, Location, Direction}\}$, $D_i \subset D$ – значимые семантические роли для c_i , $d_j \in D_i$; B – множество элементов описания ФЭ; $B = \{\text{Вход (A), Выход (B), Объект (C)}\}$, $B_k \subset B$; R_C – отношение на $C \times D$, пара $(c_i, d_j) \in R_C$ определяет элемент описания ФЭ, выполняющего роль d_j в фразовом образце c_i ; R_B – отношение на $R_C \times B$, пара $((c_i, d_j), B_k) \in R_B$ определяет набор концептов ПО «Physical Effect», соответствующих элементу описания ФЭ B_k ;

$$\forall c_i \in C \exists d_j \in D_i [d_j \xrightarrow{\text{def}} B_k],$$

где def – оператор, ставящий в соответствие роли d_j фразового образца c_i элемент описания ФЭ B_k .

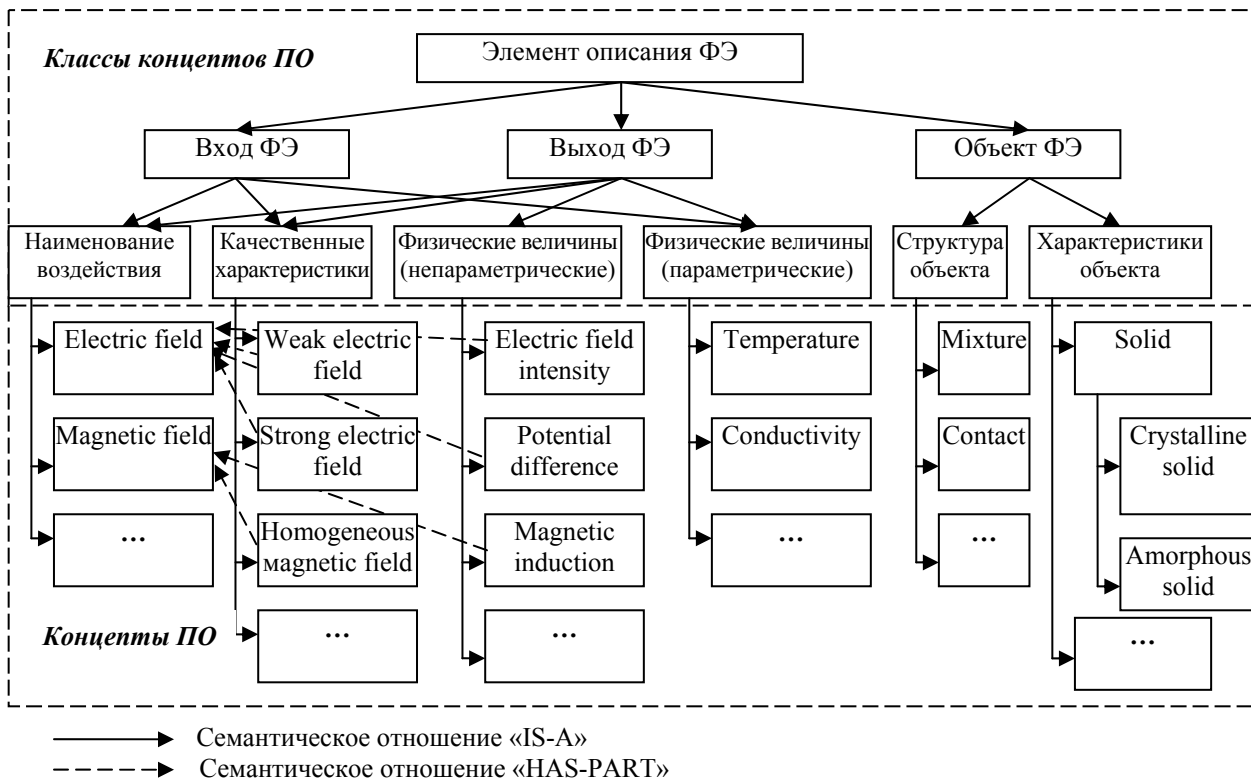


Рис. 1. Таксономия концептов ПО «Physical Effect»

Согласно модели ФЭ, разработанной на кафедре САПР и ПК ВолгГТУ [1], входные воздействия на объект ФЭ вызывают выходное воздействие на окружающую среду или на объект ФЭ. Поэтому в тексте, содержащем описание ФЭ, необходимо выделить фразовые образцы, описывающие некоторое «воздействие» над «объектами», выполняющими определенные роли внутри данного «воздействия» [5].

Были выделены в единый класс все фразовые образцы ПО «Physical Effect», характерные

для описания ФЭ в тексте физической тематики, такие как изменение (change, increase, decrease), зависимость (depend, directly proportional, inversely proportional), влияние (relate, cause) и др.

Для каждого фразового образца определены следующие роли: «A0(Subject)» (то, что воздействует); «A1(Object)» (то, что подвергается воздействию); «AM-LOC(Location)», «AM-DIR(Direction)» (где осуществляется воздействие), которые сопоставлены с элементами описания ФЭ: входом (A), выходом (C) и объектом (B).



Рис. 2. Алгоритм методики извлечения структурированной физической информации в виде ФЭ из текста

На основании предложенной модели разработана методика выделения предварительных входной и выходной карт ФЭ из англоязычного текста (рис. 2), состоящая из следующих последовательных процедур:

1) семантический разбор с помощью системы Semantic Role Labeler, который представляет собой предложения текста в виде деревьев грамматического разбора Чарняка и осуществляет классификацию аргументов (в качестве предикатов берутся глаголы; для каждого предиката определяются его аргументы – фрагменты предложения, и выясняется, какую семантическую роль выполняет каждый аргумент);

2) семантический анализ, результатом которого являются сформированные семантические сети описаний ФЭ в предложениях текста (рис. 3).

Вершина семантической сети: $O_i = (T_i, B_i)$ [6],

где T_i – терм, с помощью которого в тексте представлен концепт ПО, выполняющий определенную роль; $T_i \in R_B$; B_i – элемент описания ФЭ.

Терм является лингвистической составляющей концепта ПО – словом или устойчивым словосочетанием, принятым для выражения данного концепта средствами английского языка. Между выделенными концептами устанавливаются связи – фразовые образцы из модели M_{FE} , на основе которых и было выполнено извлечение концептов из текста;

3) следующая процедура методики – составление предварительной входной карты ФЭ с помощью свертки концептов. На рис. 4 приведен пример составления описания ФЭ на основе предложения «*In electrical circuits, any electric current produces a magnetic field and hence generates a total magnetic flux acting on the circuit*».

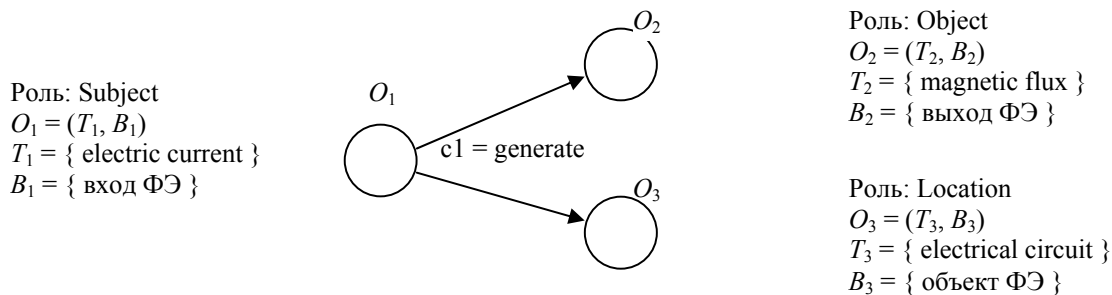


Рис. 3. Семантическая сеть описания $\Phi \text{Э}$ в предложении

«In electrical circuits, any electric current produces a magnetic field and hence generates a total magnetic flux acting on the circuit»

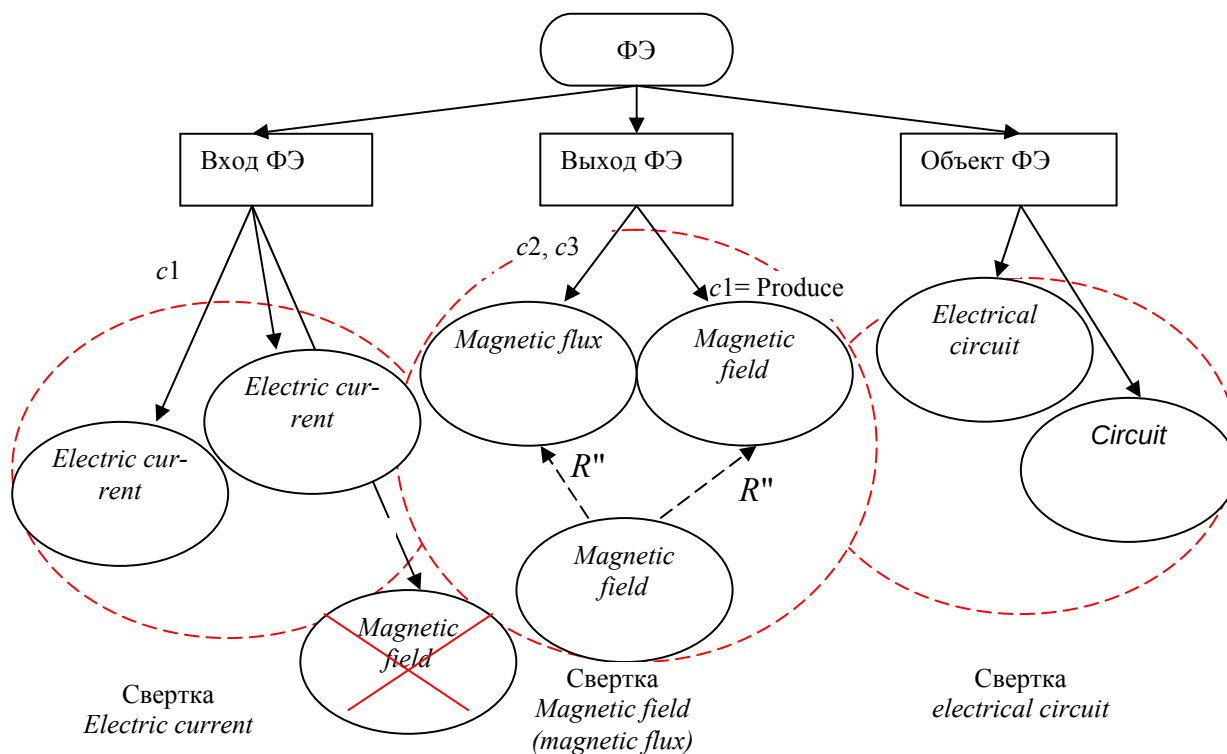


Рис. 4. Преобразованная семантическая сеть описания $\Phi \text{Э}$ в тексте

Синонимичные концепты «electric current» и «electrical circuit» свернуты. Концепты «magnetic field» и «magnetic flux» в выходе свернуты, поскольку находятся в отношении меронимии «HAS-PART» (согласно разработанной онтологии). Концепт «Magnetic field» во входе устранен согласно отношению семантической однозначности [7]. Таким образом, получаем предварительное описание $\Phi \text{Э}$: входное воздействие – *electric current*; объект – *electrical circuit*; выходное воздействие – *magnetic field*.

Выходная карта формируется автоматически из предложений текста, послуживших основой для составления входной карты $\Phi \text{Э}$.

В работе предложена методика извлечения фактов (структурированных конструкций определенной тематики) из естественно-языковых

текстов предметной области. Разработанный метод может быть использован в различных задачах, связанных с обработкой слабоструктурированных текстов (например, может применяться для извлечения химических знаний в виде химических эффектов из текстов на естественном английском языке).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков, С. А. Моделирование и использование структурированных физических знаний : монография / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев. – М.: Машиностроение-1, 2004.
2. Яровенко, В. А. Формирование интегрированной системы обработки структурированных физических знаний с применением мультиагентного подхода / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. на-

уч. ст. № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 126–128.

3. Коробкин, Д. М. Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб.: СПбГПУ, 2009. – № 6.

4. Wenlei Mao, Wesley W. Chu: The phrase-based vector space model for automatic retrieval of free-text medical documents. Data & Knowledge Engineering, 2007.

5. Коробкин, Д. М. Методика выделения структурирован-

ной физической информации в виде физических эффектов из текста / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10.

6. Коробкин, Д. М. Модель представления структурированной предметной информации в виде физических эффектов в тексте на естественном русском языке / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 7.

7. Коробкин, Д. М. Поиск и выделение структурированной физической информации в виде физических эффектов из текстов первичных источников / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – Сб.: СПбГПУ, 2009. – № 6.

УДК 004.67

А. И. Половинкин, Е. А. Овчинникова, А. В. Петрухин

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ktndr@yandex.ru

Прогнозирующая система должна включать в себя информацию об объекте прогнозирования, раскрывающую его поведение в прошлом и настоящем, а также закономерности и влияние данного поведения на окружающую среду. Зная это, можно построить модель поведения объекта и определять угрозу негативных природных реакций в автоматическом режиме.

Ключевые слова: геодезия, анализ данных, прогнозирование, техногенные катастрофы, компьютерное моделирование.

A. I. Polovinkin, E. A. Ovchinnikova, A. V. Petrukhin

MONITORING OF THE CONSTRUCTIONS STATES WITH COMPUTER SIMULATION TECHNOLOGIES

Volgograd State Technical University

Predictive system must include information about the object of prediction which describes its behavior in till present time. System also must include patterns of behavior and caused environment effects. Using this information it is possible to construct a model of object behavior to determine the risk of natural negative reactions in automatic mode.

Keywords: geodesy, data analysis, prediction, industrial disaster, computer simulation.

При современном подходе к работе с промышленными объектами (в частности, архитектурно-строительными) и оперативному представлению проектных данных предъявляется ряд дополнительных требований; одной из причин жестких условий и требований является то, что в современном мире человек все больше вмешивается в природную среду, в результате чего появляется угроза возникновения техногенных катастроф. Одним из требований является преемственность данных при переходе от изысканий к проектированию. Нередко, при обмене информацией, теряется значительная часть самого понятия «объект», поскольку передаются только отдельные составляющие информации об объекте. Все это требует перехода от традиционных способов проектирования к компьютерным решениям.

Мониторинг состояния инженерных сооружений – важная задача, и по своей структуре значения деформаций играют ключевую роль при строительстве и эксплуатации любых сооружений. Этой задачей занимаются постоянно, и методы определения величин деформаций постоянно совершенствуются [1].

Назовем *мониторингом* зданий постоянный контроль изменений технических характеристик объекта.

Основными причинами негативных природных реакций (в частности, техногенных катастроф), являются:

- просчеты при проектировании и недостаточный уровень безопасности современных зданий;
- некачественное строительство или отступление от проекта;

- непродуманное размещение производства;
- нарушение требований технологического процесса из-за недостаточной подготовки или недисциплинированности и халатности персонала [1].

Конечно же, важной задачей является улучшение качества прогнозирования и мониторинга за счет сокращения временных ресурсов и преобразования этого процесса в автоматический или автоматизированный. Один из ключевых моментов в прогнозировании и анализе данной области – сложность представления объекта и его поведения в будущем в «ручном» или «бумажном» режиме. Однако, используя технологии компьютерного моделирования и прогнозирования состояния сооружений, можно говорить о более качественной, быстрой, а главное – своевременной реакции специалистов для предотвращения риска техногенных катастроф или прочих негативных природных реакций или уменьшения их последствий.

Каждое построенное инженерное сооружение постепенно изменяет свое положение в пространстве. Давление сооружения сжимает грунты в основании фундамента, что вызывает его осадку.

Сильное развитие деформаций сооружения может привести к нарушениям в его эксплуатации (или даже разрушениям). Именно поэтому наблюдения за деформациями сооружений представляют собой важный комплекс работ, которые могут быть организованы в рамках создания системы мониторинга и анализа данных для своевременного решения вопроса о необходимости принятия профилактических мер [2]. Для разработки системы мониторинга сооружений получения списка контролируемых параметров недостаточно. Необходимо иметь реальную информацию о технических возможностях, которые существуют у данного объекта.

Прогнозирующая система, как правило, включает в себя информацию об объекте прогнозирования, раскрывающую его поведение в прошлом и настоящем, а также закономерности этого поведения. Зная их, можно построить модель поведения объекта. Эта модель, в свою очередь, позволяет, с использованием того или иного математического аппарата, определить ранее неизвестные параметры модели и спрогнозировать состояние интересующего объекта в некоторый будущий момент времени [3].

Наиболее распространенный метод определения осадки – это периодическое, достаточно точное геометрическое нивелирование. В этом

случае осадку выявляют сравнением высот осадочных марок, закрепленных на сооружениях. Для наглядности представления о ходе осадки составляют совмещенные графики осадки марки, профили осадки по продольным и поперечным осям зданий, план кривых, равных суммарной осадке [4].

На первый взгляд, при создании системы для наблюдения за осадкой необязательно иметь полноценную электронную модель объекта, а достаточно схемы расположения марок основных реперов.

Для выполнения данной задачи может быть использован эффективный алгоритм для анализа деформаций методом последовательного объединения циклов. Идея этого метода заключается в том, что на основании имеющихся данных по анализу деформаций добавляют новые данные и после обработки и последовательного объединения циклов получают новую информацию о деформации инженерного сооружения [3].

Само по себе построение модели объекта осуществляется с помощью триангуляции, одного из методов создания сети опорных геодезических пунктов (геодезический пункт – точка на местности или объекте, положение которой определено в системе координат; в нашем случае – получаемые геоданные). Смысл метода состоит в построении рядов или сетей примыкающих друг к другу треугольников и в определении положения их вершин в избранной системе координат. В каждом треугольнике измеряют все три угла, а одну из его сторон определяют из вычислений путем последовательного решения предыдущих треугольников, начиная от того из них, в котором одна из его сторон получена из измерений. Если сторона треугольника получена из непосредственных измерений, то она называется *базисной стороной*.

В свою очередь, важной задачей является автоматизирование процесса самого построения модели объекта.

Существует множество алгоритмов триангуляции, с помощью которых и будет осуществляться построение качественной модели объекта; самыми распространенными из них являются триангуляция Делоне, диаграмма Вороного, алгоритм прямого перебора. Для поставленной задачи наиболее удобным и адаптированным является алгоритм Делоне.

Допустим, задано множество точек на плоскости (данные, полученные практическим путем). Для каждой точки определена высота.

Возникает вопрос: как наиболее естественно аппроксимировать высоты точек? Если не уделять этому вопросу должного внимания, а положиться на базовые алгоритмы построения поверхностей по точкам, то мы получим модель, абсолютно не отражающую геометрических особенностей объекта. Такая реализация ненаглядна и не решает задачу построения качественной модели. Гораздо лучше воспользоваться триангуляцией данного набора точек, а потом поднять каждую точку на высоту, соответствующую ее положению в треугольнике [12].

Изучение деформационных процессов было и остается одной из важнейших задач геодезии и включает наблюдение за деформациями физической поверхности земли и инженерных сооружений. Данные разнородных рядов наблюдений позволяют сделать вывод о скоростях и величинах деформаций земной поверхности, техническом состоянии инженерных объектов, степени их надежности и безопасности эксплуатации. Особую актуальность информация о качественных характеристиках приобретает при получении данных для своевременного принятия мер по устранению или предупреждению критических деформаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Маюков, Л. А.* Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой : учеб. / Л. А. Маюков. – М. : Недра, 1988.
2. *Козлитин, А. М.* Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы : учеб. / А. М. Козлитин, А. И. Попов. – Саратов : СГТУ, 2000.
3. *Алымов, В. Т.* Анализ техногенного риска : учеб. пособие / В. Т. Алымов. – М. : Круглый год, 2000.
4. *Петрухин, А. В.* Принципы использования закона симметрии при проектировании сложных технических систем. В кн. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов / А. В. Петрухин // Коллективная монография под редакцией д-ра техн. наук профессора В. А. Камаева. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 345 с. : ил.
5. *Петрухин, А. В.* Автоматизация концептуального проектирования технических объектов на основе комплексного использования формальных и неформальных проектных процедур. В кн. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов / А. В. Петрухин // Коллективная монография под редакцией д-ра техн. наук профессора В. А. Камаева. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 345 с. : ил.
6. *Половинкин, А. И.* Обзор работ по эволюции техники, выполненных в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA) / А. И. Половинкин, А. В. Петрухин // Закономерности техники : тезисы доклада на 2-м Болгаро-советском семинаре. – Созопол, НРБ. – 1989. – С. 9.
7. *Петрухин, А. В.* Целенаправленное формирование топологии артефактов на основе процедур автоматически-ситуационного синтеза / А. В. Петрухин // Приложение к журналу «Открытое образование». Информационные технологии в социологии, экономике, образовании и бизнесе. IT + SE'05 : материалы XXXII юбилейн. Междунар. конф. / Ин-т проблем управления РАН [и др.]. – Запорожье, Изд-во Запорожского государственного университета. – 2005.
8. *Фоменков, С. А.* Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов / С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, С. Г. Колесников // Качество и CALS-технологии : науч. журнал. – Разд. № 8. – январь 2005.
9. *Фоменков, С. А.* Информационный поиск в области физических знаний с применением электронного справочника по физическим эффектам / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, А. В. Петрухин // Качество и CALS-технологии : науч. журнал. – Разд. № 8. – январь 2005.
10. *Шевчук, В. П.* Проектные процедуры моделирования и оптимизации (на примере разработки корпуса шестеренчатого насоса) / В. П. Шевчук, А. В. Петрухин, А. В. Березин, Ю. В. Тенетко // Тракторы и сельскохозяйственные машины : науч. журнал. – Москва. – 2006. – № 1.
11. *Петрухин, А. В.* Построение и использование специализированных тезаурусов при концептуальном проектировании технических систем / А. В. Петрухин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. научн. ст. № 2 (17) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Сер. Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологиях).
12. *Жук, С. В.* Обзор методов подавления шумов на растровых изображениях / С. В. Жук // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. научн. ст. № 6 (54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 6). – С. 112–114.

УДК 531.66

*Е. Н. Смирнова, Д. В. Бутенко***АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: Lenaru08-89@mail.ru, lplena@yandex.ru

Рассматривается программное обеспечение, позволяющее подбирать электроды, сварочные проволоки и флюсы в соответствии с выбранной сталью. Информационная поисковая система содержит наиболее полные сведения по сталям, электродам, сварочным проволокам и сварочным флюсам. Также программное обеспечение имеет расчет параметров сварки.

Ключевые слова: сварка, сварочные материалы, система поисковая, ручная дуговая сварка, программное обеспечение, информационная система, сварочные электроды, сварочные проволоки, сварочные флюсы, стали.

*E. N. Smirnova, D. V. Butenko***AUTOMATION OF INFORMATION RETRIEVAL FOR WELDING STEEL****Volgograd State Technical University**

The software is considered, allowing to select electrodes, welding a wire and gumboils according to the chosen steel. The information search engine contains the fullest data on steels, electrodes, welding wires and to welding gumboils. As the software has calculation of parameters of welding.

Keywords: welding, welding materials, system search, manual arc welding, the software, information system, welding electrodes, welding wires, welding gumboils, steels.

Согласно статистике, примерно 70–80 % разрушений сварных конструкций связано с отказом сварных соединений, основной причиной которых являются дефектность (т. е. наличие несплошностей). Прогнозирование сварочных дефектов очень важно для зданий, мостов и других сварных конструкций. Практика показывает, что без специального расчета основных параметров сварки невозможно предотвратить образование сварочных дефектов и свариваемость сталей некоторыми электродами. Для расчета параметров сварки есть множество программ (SysWeld и т. д.), а для подбора сварочных материалов и базы данных с ними – очень мало, и многие не удовлетворяют поискам нужной информации.

Правильный подбор свариваемых материалов и расчет параметров сварки очень важен и поэтому авторами была поставлена цель работы: повышение эффективности поисковой деятельности и подбор сварочных материалов для сварки сталей и других материалов.

Практическая значимость данной работы заключается в ее целенаправленности на прогнозирование сварочных дефектов сварных соединений и расчет параметров сварки, что само по себе практически значимо. Также эта программа направлена на то, чтобы помочь инженерам-сварщикам в поиске информации о сталях и сварочных материалах, что значительно упростит их работу.

Процесс проектирования технологий изготовления сварных конструкций связан с необходимостью поиска информации, содержащейся в многочисленных нормативах, справочниках, стандартах и другой специальной литературе [1]. Одной из задач, возникающих в процессе проектирования технологии, является подбор сварочных материалов. От принятого решения зависит качество сварного соединения – это ответственная задача, требующая высокой квалификации технолога-проектировщика, анализа и сопоставления множества вариантов по механическим свойствам металла шва, химическому составу наплавленного металла, технологическим особенностям процесса сварки и другим характеристикам. Методические материалы и рекомендации по данным вопросам разрозненны, находятся в различных источниках, и иногда содержат противоречивую информацию. Сокращение времени получения достоверной информации по вопросам назначения сварочных материалов с помощью специальных методов и средств является актуальной проблемой [1–4].

Был проведен анализ существующих аналогов и прототипов, затрагивающих поиск сварочных материалов и расчет режимов сварки. Также были рассмотрены алгоритмы оптимизирования обмена информацией между элементами автоматизированной системы управления [5, 6] и выявлены недостатки рассматриваемых

систем, наряду с их достоинствами. После проведенного авторами анализа была поставлена задача на проектирование.

Информационная система содержит информацию о сталях и ее сплавах, электродах, сварочных проволоках и флюсах, выпускаемых как странами СНГ, так и некоторыми зарубежными.

Функциональная программа спроектирована, так что является электронным справочником, который предоставляет полные сведения о выбранном электроде, стали, сварочной проволоке или флюсе; кроме того, в нем реализованы широкие возможности поиска информации по заданным критериям.

Справочные сведения о сталях включают данные о марке, типах сталей; химическом составе (углерод, кремний, марганец и другие примеси); механических (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, плотность, модуль упругости, ударная вязкость, твердость по Бринеллю, твердость по Виккерсу) и технологических (жидкотекучесть, ковкость, штампуемость, свариваемость) свойствах.

Справочные сведения об электродах содержат данные об основном назначении, области, технологических особенностях и дополнительные сведения о применении, виде электродного покрытия, роде тока, полярности, допустимых пространственных положениях, рекомендуемых режимах и производительности сварки, коэффициентах расхода и выхода, механических свойствах и химическом составе наплавленного металла шва, а также сведения о поставщиках данного электрода, условные обозначения, маркировку электродов в соответствии с американским, международным, немецким стандартами и ГОСТом.

Справочные сведения о сварочных проволоках включают в себя марку проволоки, химический состав (кремний, углерод, марганец и другие элементы), механические свойства наплавленного металла.

Справочные сведения о сварочных флюсах содержат информацию: о марке флюса; технологических (устойчивость дуги, разрывная длина дуги, склонность к образованию трещин, размер зерен), механических (предел прочности,

предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость) свойствах наплавленного материала; химическом составе (оксид кремния, оксид марганца, оксид кальция, фторид кальция, оксид магния, оксид алюминия, оксид железа) проволоки, для которых применяются флюсы.

Для поисковой цели в программе реализован многопараметрический инкрементный отбор.

Также программа осуществляет расчет режимов сварки по выбранным материалам. Расчет ведется как для ручной, так и для механической сварки.

Данное программное обеспечение предназначено для инженерно-технических работников промышленных и строительных предприятий, проектных, конструкторских и научно-исследовательских организаций, производителей, поставщиков и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демьянович. – М.: Машиностроение, 1977. – 32 с.
2. Иванов, Г. А. Информационно-справочная система выбора электродов для дуговой сварки, наплавки и резки / Г. А. Иванов, В. Н. Провычева // Сварочное производство. – 2004. – № 8. – С. 38–39.
3. Куркин, А. С. Программный комплекс «Сварка» – инструмент для решения практических задач сварочного производства / А. С. Куркин, Э. Л. Макаров // Сварка и диагностика. – 2010. – № 1. – С. 16–24.
4. Логвинов, Р. В. Компьютерная модель дуги при сварке вольфрамовым электродом / Р. В. Логвинов, В. А. Ерофеев // Сварочное производство. – 2005. – № 5. – С. 7–15.
5. Баштанник, Н. А. Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ методом линейного программирования / Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 11–14.
6. Баштанник, Н. А. Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ методом динамического программирования / Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 8–11.

УДК 658.512.2: 66.02

*М. А. Цыканова, Л. Н. Бутенко, О. А. Базрова***СИНТЕЗ ЧАСТНЫХ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: tsykanova-marina@yandex.ru, butenko@vstu.ru, bazrova-olga@mail.ru

Данная работа посвящена методу синтеза частных эвристических приемов для проектирования объектов различных предметных областей. В качестве информационной базы процесса синтеза использован межотраслевой фонд. В работе рассмотрен синтез частных эвристических приемов для проектирования химических процессов.

Ключевые слова: эвристический прием, межотраслевой фонд, интерпретация, инверсия.

*M. A. Tsykanova, L. N. Butenko, O. A. Bazrova***SYNTHESIS OF PRIVATE HEURISTIC RECEPTIONS FOR DESIGNING
OF CHEMICAL PROCESSES****Volgograd State Technical University**

This article is devoted to the method of synthesis of private heuristic receptions for designing of different subject domains. As an informative base of process of synthesis was applied interbranch fund. In article the synthesis of private heuristic receptions for designing of chemical processes is considered.

Keywords: heuristic reception, interbranch fund, interpretation, inversion.

Решение задач по проектированию систем любого вида, особенно на начальных стадиях, основывается на применении инструментария когнитивных технологий. В настоящее время большое внимание уделяется эвристическому подходу. Существует несколько фондов эвристических приемов (ЭП), которые представлены в работах Альтшуллера Г.С. [1], А. И. Половинкина [2], И. Н. Дорохова [3]. Эвристические приемы Г. С. Альтшуллером были выделены в результате анализа патентного фонда. В итоге ретроспективных изучений и анализа конструктивной эволюции различных классов технических объектов были сформулированы многие из эвристических приемов А. И. Половинкина. Фонд эвристических правил И. Н. Дорохова формировался на основе использования теоретических основ химической технологии, экспериментальных данных, обобщения опыта проектирования и эксплуатации действующих производств. Несмотря на большое количество эвристических приемов, в литературе не был описан процесс их синтеза. В настоящее время наблюдается увеличение числа и сложности решаемых задач проектирования химических процессов, для решения которых существующих эвристических приемов недостаточно. Поэтому особую актуальность приобретает разработка процесса синтеза эвристических приемов.

В результате исследования понятия «эвристический прием» с помощью интеллектуальной технологии концептуального анализа и

синтеза [4], а также системного подхода было получено следующее обобщенное определение: *эвристический прием* – это текст, описывающий систему целенаправленных интеллектуальных действий субъекта и предназначенный для генерирования новых идей, используемых для удовлетворения общественных потребностей [5]. Следовательно, главной задачей при разработке метода синтеза эвристических приемов является описание системы интеллектуальных действий. Использование системного подхода при изучении метода синтеза эвристических приемов позволило установить, что компонентами метода являются сложные интеллектуальные процедуры выбора и интерпретации.

В качестве информационной базы процесса синтеза эвристических приемов был выбран межотраслевой фонд [2]. Выбор данного фонда основывается на его универсальности и системном, всестороннем охвате проблемы, задачи. Обобщенные эвристические приемы межотраслевого фонда обладают большими эвристическими возможностями. Первым этапом проектирования является определение порождающей системы, представляющей задание, которое должна выполнить данная система. В общем случае это задание представляет собой преобразование обобщенных эвристических приемов в частные. Следующим этапом проектирования является определение структурированной системы, удовлетворяющей таким

требованиям, как целевые ограничения, специфика описания предметной области, иерархическое описание объекта, обеспечение целостности приемов. Целями синтеза частных эвристических приемов для задач исследования и проектирования являются, соответственно, получение множества эффективных гипотез и множества проектных решений.

Решение задачи выбора обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда начинается с формирования критериев. В качестве критериев предлагается использовать известную классификацию параметров объекта предметной области. Смыслы понятий, выраженных наименованиями классов параметров объекта, раскрываются через родовидовые определения. В результате получается семантическое описание объекта проектирования. В соответствии с этим, субъект выбирает вначале наименование группы межотраслевого фонда, а затем – обобщенный эвристический прием. Задача анализа семантического описания обобщенного эвристического приема носит междисциплинарный характер и в настоящее время не решена.

Эвристический прием представляет собой текст, поэтому при решении задачи интерпретации обобщенного эвристического приема необходимо обратиться к другим областям знаний, изучающим текст. Использование инструментария психолингвистики [6] позволило установить, что процесс восприятия и понимания текста обобщенного эвристического приема – это иерархическая система, где в тесной взаимосвязи выступают низший (сенсорный), и высший (смысловой), уровни. На смысловом уровне используются когнитивные операции: поиск общего смысла текста и вероятностное прогнозирование. На сенсорном уровне происходит понимание отдельных слов и фраз за счет когнитивных операций: распознавание звуков, восприятие отдельных слов и смысла отдельных предложений. При порождении частного эвристического приема задействуются следующие мыслительно-физиологические процессы: программирование передаваемого смысла, построение грамматической структуры, поиск слов по семантическим признакам, выбор графической системы, физический процесс «письма».

Использование инструментария герменевтики [7] позволило установить, что интерпретация обобщенного эвристического приема

обеспечивает «перевод» текста на язык конкретной предметной области. При этом интерпретация сопровождается синтезом нового смысла, нового текста. Синтез проводится с учетом контекста (целевые установки, психологические особенности личности субъекта), и в результате получается новый инструмент, в котором сохраняется целевая функция обобщенного эвристического приема.

Компонентами сложной процедуры интерпретации являются рационально-логическая и семантическая конкретизации. Применение рационально-логической конкретизации приводит к расширению интенционала и сужению экстенционала понятия. Применение семантической конкретизации позволяет получать новые понятия.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что интерпретация обобщенного эвристического приема относится к сложным когнитивным процессам, компонентами которого являются восприятие и понимание, интерпретация, конкретизация, порождение. Когнитивные процедуры восприятия, понимания, интерпретации, семантической конкретизации и порождения не формализованы.

Для обеспечения целостности частного эвристического приема необходимо использование когнитивной процедуры инверсии [8]. Одним из требований целостности является наличие противоположной процедуры. Применение инверсии позволяет получать целостные системы «прием – антиприем», которые могут быть использованы для выполнения противоположных функций. Когнитивная процедура инверсии не формализована.

Применение инструментария системного подхода, психолингвистики, герменевтики позволило разработать метод синтеза частных эвристических приемов для проектирования объектов различных предметных областей. Разработанный метод включает семь стадий: 1) выбор объекта предметной области; 2) генерация цели синтеза частных эвристических приемов; 3) построение иерархической структуры объекта; 4) классификация параметров объекта; 5) выбор обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда; 6) интерпретация эвристических приемов с учетом специфики уровня иерархии n описания объекта, где $n = 0, 1, \dots, m$; 7) инвертирование частных эвристических приемов для уровня иерархии n описания объекта, где $n = 0, 1, \dots, m$.

Процесс синтеза частных эвристических приемов формально можно представить так:

$$Gn(HR) = \langle Ch_{ob}(Ob, Kr, Rs), Gl(Ob^*, Cg), St(Ps_{HR}, Ob^*, Kd, Rd), Cl(Sh, Kc, Rc), Ch_{wh}(Inf, Sk, Rw), In(Kn(W_{HR}, S_{HR}^n, Sh, Sp)), Inv(S_{HR}^{*n}, Tm) \rangle,$$

где Ch_{ob} – выбор объекта предметной области; Ob – описания отдельных объектов предметной области; Kr – критерии выбора объекта; Rs – правила выбора объекта; Gl – генерация цели синтеза частных эвристических приемов; Ob^* – описание объекта предметной области; Cg – условия генерации цели синтеза частных эвристических приемов; St – построение иерархической структуры объекта; Ps_{HR} – цель синтеза частных эвристических приемов; Kd – критерии декомпозиции объекта; Rd – правила декомпозиции объекта; Cl – классификация параметров объекта; Sh – иерархическая структура объекта; Kc – критерии классифика-

ции параметров объекта; Rc – правила классификации параметров объекта; Ch_{wh} – выбор обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда; Inf – межотраслевой фонд эвристических приемов; Sk – система классов параметров объекта; Rw – правила выбора обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда; In – интерпретация эвристических приемов; Kn – конкретизация эвристических приемов; W_{HR} – обобщенный эвристический прием; $S_{HR}^n, n = 0, \dots, m-1$ – система частных эвристических приемов после стадии инвертирования; Sp – условия конкретизации эвристических приемов; Inv – инвертирование частных эвристических приемов; $S_{HR}^{*n}, n = 0, \dots, m$ – система частных эвристических приемов после стадии интерпретации; Tm – условия инвертирования частных эвристических приемов.

Схема синтеза частных эвристических приемов представлена на рисунке.

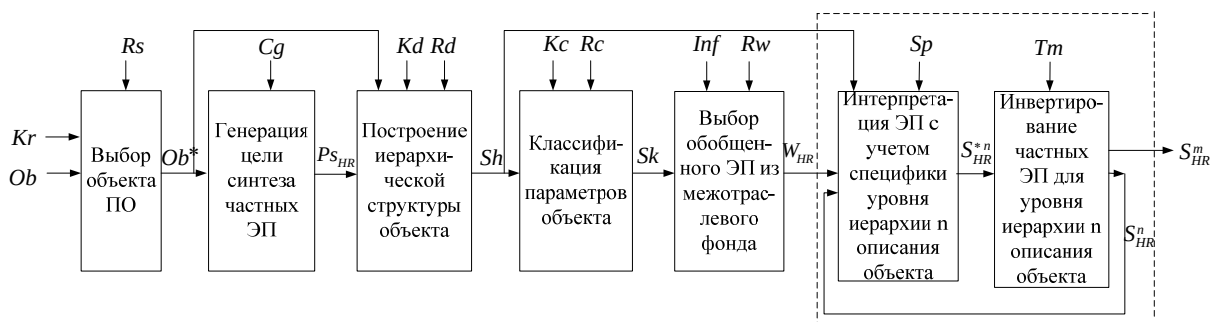


Схема синтеза частных эвристических приемов

Рассмотрим синтез частных эвристических приемов для проектирования химических процессов. Целью синтеза является получение множества проектных решений. При синтезе использовалась иерархическая структура химического процесса по работе [3]: 0 уровень – химический процесс; 1 уровень – химическая реакция; 2 уровень – механизм химической реакции.

1. Выбор обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда проводится на основании известной классификации параметров химического процесса, в которой выделены следующие группы: кинетические, термодинамические, физические, химические [9]. Правила выбора строятся на основании целей и системы предпочтений субъекта. Из межотрас-

левого фонда был выбран следующий прием [2]: «уменьшить число функций объекта и сделать его более специализированным, соответствующим только оставшимся функциям и требованиям».

2. В результате применения процедур интерпретации и инверсии была получена следующая система частных эвристических приемов.

2.1. Использовать компонент химического процесса, выполняющий одну функцию. Использовать компонент химического процесса, выполняющий несколько функций (например, реагента, катализатора, растворителя).

2.1.1. Использовать в качестве компонента химической реакции монофункциональное соединение. Использовать в качестве компонента

химической реакции многофункциональное соединение.

2.1.1.1. Перейти к монофункциональным молекулам. Перейти к полифункциональным молекулам.

2.1.1.2. Изменить свойства молекулы введением функциональных групп с тем или иным мезомерным, индуктивным или стерическим эффектом. Изменить свойства молекулы удалением функциональных групп с тем или иным мезомерным, индуктивным или стерическим эффектом.

2.1.2. Использовать в качестве компонента химической реакции полифункциональное соединение. Использовать в качестве компонента химической реакции гетерофункциональное соединение.

2.1.2.1. Перейти к полифункциональным молекулам. Перейти к гетерофункциональным молекулам.

2.1.2.2. Перейти к гетерофункциональным молекулам в процессе химического взаимодействия (скрытая функциональность молекул). Перейти к полифункциональным молекулам в процессе химического взаимодействия (скрытая функциональность молекул).

Таким образом, на основе использования инструментария системного подхода, психолингвистики, герменевтики разработан метод синтеза частных эвристических приемов для проектирования объектов различных предметных областей. Разработанный метод синтеза использован при формировании объектно-ориентированного фонда эвристических приемов для проектирования химических процессов.

Метод синтеза частных эвристических приемов может быть распространен и на другие области техносферы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Альтиуллер, Г. С.* Алгоритм изобретения / Г. С. Альтиуллер. – М.: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
2. *Половинкин, А. И.* Основы инженерного творчества : учеб. пособие / А. И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. *Дорохов, И. Н.* Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств / И. Н. Дорохов, В. В. Меньшиков. – М.: Наука, 2005. – 584 с.
4. *Теслинов, А. Г.* Концептуальное проектирование сложных решений / А. Г. Теслинов. – СПб.: Питер, 2009. – 288 с.
5. *Цыканова, М. А.* Концептуальный анализ понятия «эвристический прием» / М. А. Цыканова, Л. Н. Бутенко // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 5. – С. 69–74.
6. *Белянин, В. П.* Психолингвистика : учеб. / В. П. Белянин // 2-е изд. – М.: Флинта : Московский психологосоциальный институт, 2004. – 232 с.
7. Основные концепции философской герменевтики Х.-Г. Гадамера и лингвистика [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://www.ruthenia.ru/>.
8. *Цыканова, М. А.* Процедуры получения частных эвристических приемов объектно-ориентированного фонда для проектирования аппаратов химико-технологических систем / М. А. Цыканова, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2 (40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 102–104.
9. Скорость химической реакции и ее зависимость от различных факторов [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://him.1september.ru/>.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 656.256.3.05

И. Д. Долгий, С. А. Кулькин

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ДЦ-ЮГ С РКП

Ростовский государственный университет путей сообщения

E-mail: dcmdon@rgups.ru

Рассматривается модель, построенная на основе растущих пирамидальных сетей, позволяющая в реальном масштабе времени анализировать сетевой трафик системы диспетчерской централизации ДЦ-Юг с РКП и идентифицировать в нем аномальные сообщения. Описанная модель позволяет выполнять анализ контента сообщений в явном виде.

Ключевые слова: диспетчерская централизация, сетевая атака, растущая пирамидальная сеть, аномальные сообщения.

I. D. Dolgiy, S. A. Kulkin

METHODS OF INCREASE OF PROTECTION INFORMATION AND THE SOFTWARE OF SYSTEM THE «ДЦ-Юг с РКП»

Rostov State Transport University

The model constructed on the basis of growing pyramidal networks is considered, allowing in real time to analyze the network traffic of system of centralised traffic control the «ДЦ-Юг с РКП» and to identify in it abnormal messages. The described model allows to make the analysis of a content of messages in an explicit form.

Keywords: centralised traffic control, the network attack, a growing pyramidal network, abnormal messages.

Системы диспетчерского контроля и управления [1, 2] являются важным звеном процесса управления движением поездов. Необходимость широкого информационного взаимодействия со смежными АСУ регионального и дорожного уровней через корпоративную сеть увеличивает вероятность несанкционированного вмешательства в работу таких систем. Это может привести к нежелательным последствиям, таким как снижение быстродействия или блокировки систем. Следовательно, наряду с традиционными мероприятиями по обеспечению безопасности движения, становится актуальным обеспечение достоверности и защиты информации.

На протяжении последних лет наиболее распространенной и легко реализуемой для злоумышленников атакой, является *dos*- или *ddos*-атака [3, 4], суть которой заключается в отправке большого количества пакетов на заданный узел сети (цель атаки), что может привести к выведению этого узла из строя, поскольку он

«захлебнется» в лавине посылаемых пакетов и не сможет обрабатывать запросы авторизованных пользователей. Отличие *ddos*- от *dos*-атаки только в том, что *ddos*-атака является распределенной; в ней принимают участие большое количество (может измеряться тысячами) атакующих компьютеров. Атаки *ddos* очень сложно предотвратить, поскольку злоумышленные пакеты неотличимы от легитимных, и выявить угрозу непросто. Для того чтобы еще больше затруднить выявление такой атаки, можно подделать исходный IP-адрес, с которого, предположительно, поступил запрос, чтобы сделать идентификацию невозможной.

В работе [5] рассматривается атака, названная специальной лавинной атакой (СЛА). Ее суть – исчерпать пропускную способность канала и ресурсы сетевых узлов путем массовой отправки пакетов запроса.

На рис. 1 представлена структура СЛА, которая проводится через узел «Н»; рабочий трафик показан черными линиями связи, трафик

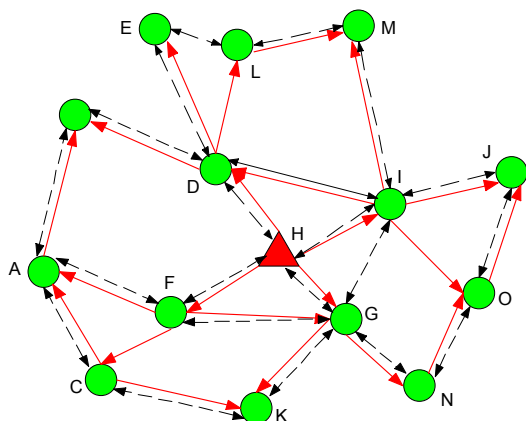


Рис. 1. Специальная лавинная атака

атаки – красными. Авторами предложен эффективный способ борьбы с таким типом атаки, с помощью контроля рабочего трафика между узлами. Суть этого способа следующая: каждый узел адаптируется к рабочему режиму обмена сообщениями со своими соседями. Таким образом, строится диаграмма нормального режима работы сети. Как только СЛА будет иметь место, изменится характер работы сети. На рис. 4 представлена работа сети в режимах нормальной работы, 10-, 20-, 30-, 40-пакетной атаки. Как видно из диаграммы, с увеличением

паразитного трафика, эффективность нормальной работы сети существенно падает, что влечет за собой изменение топологии поведения сетевого трафика и, как следствие, – мгновенное обнаружение атаки.

Замедление или блокировка работы систем ДЦ, связанные с атакой на сервер в реальном масштабе времени требует быстрого принятия решения. Задача осложняется тем, что для таких систем отсутствует адекватная аналитическая модель поведения в случае атаки, позволяющая быстро устранить угрозу. Структура информационного взаимодействия разработанной в РГУПС системы диспетчерской централизации «ДЦ-ЮГ с РКП» [6] через сервер удаленного доступа с внешними системами, такими как автоматизированная система оперативного управления перевозками (АСОУП), базой данных «ОСКАР» (БД), системой «ГИД УРАЛ» (и др.) представлена на рис. 2. Взаимодействие с внешними системами требует обеспечения необходимого уровня защиты [3].

Для того чтобы замедлить или заблокировать работу системы ДЦ, злоумышленник должен захватить имеющиеся ресурсы. Задача – добиться отказа в доступе всех запросов, как рабочих (положительных), так и аномальных (вредоносных).

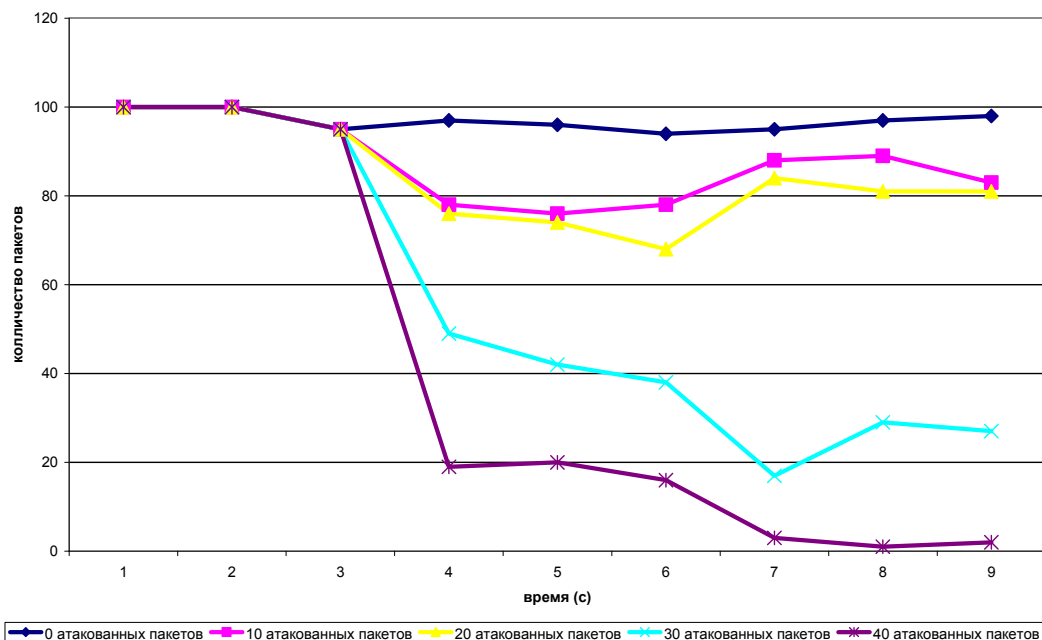


Рис. 2. Изменение топологии поведения сетевого трафика согласно пяти сценариям

Ниже представлены реальные примеры рабочих и атакующих запросов из протоколов системы ДЦ-Юг с РКП.

Рабочие запросы:
192.168.123.15 -- [30/Jul/2002:17:00:53 +0300] "GET

/106/ASOUP/FileQuestion.php3?file=1027941354ans.a
soup&CodeKrg=106 HTTP/1.0" 200 4276
192.168.123.15 -- [30/Jul/2002:17:03:22 +0300] "GET
/106/ASOUP/FileQuestion.php3?file=1027941354ans.a
soup&CodeKrg=106 HTTP/1.0" 200 2256

Аномальные запросы:

10.51.39.40 - - [30/Jul/2002:21:27:37 +0300] "GET /scripts/root.exe?/c+dir HTTP/1.0" 404 273

10.51.39.40 - - [30/Jul/2002:21:27:38 +0300] "GET /MSADC/root.exe?/c+dir HTTP/1.0" 404 271

Анализ протоколов показывает, что вредоносные запросы, представленные выше, по своей интенсивности не превышают трафик системы, а в большинстве случаев даже существенно уступают рабочим. На диаграмме (рис. 4) представлен фрагмент сетевого трафика системы ДЦ-Юг с РКП.

Ряд 2 представляет собой трафик во время нормальной работы сети; ряд 3 – во время сете-

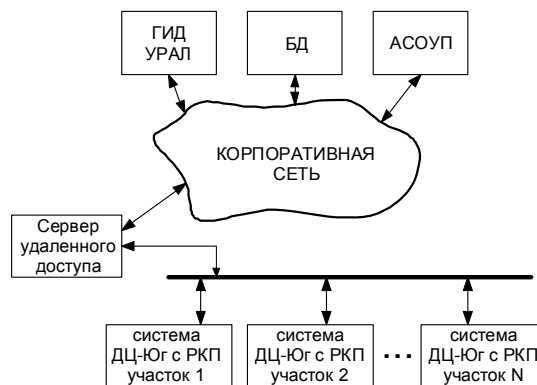


Рис. 3. Структура информационного взаимодействия системы ДЦ с внешними системами

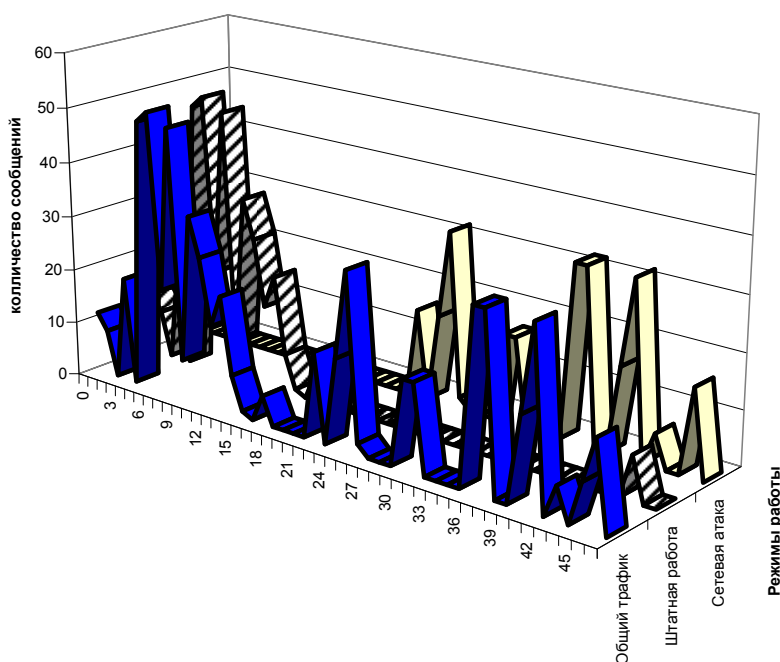


Рис. 4. Фрагмент сетевого трафика системы ДЦ-Юг с РКП

вой атаки; ряд 1 – общий сетевой трафик. Как видно из диаграммы, в отличие от широко распространенной dos-атаки, во время которой поведение трафика резко меняется, явно выявить аномалию в работе сети практически невозможно. И здесь возникает необходимость применения другого метода, задачей которого будет являться идентификация атаки и ее дальнейшее пресечение в кратчайшие сроки.

Существуют два не исключающих друг друга подхода к выявлению сетевых атак [4]: анализ сетевого трафика и анализ контента. В первом случае анализируются только заголовки сетевых пакетов, во втором – их содержимое.

Для обнаружения атаки на систему ДЦ-Юг с РКП предлагается использовать модель, реализованную с помощью аппарата растущих пирамидальных сетей (РПС) [7]. Система обучается на положительных и отрицательных при-

мерах работы сети (таким образом, формируются понятия нормальной работы сети и процесса атаки). Фрагмент сформированной сети представлен на рис. 5.

Следующим этапом производится поиск всех контрольных вершин. Класс «х» – для положительных примеров, а класс «у» – для отрицательных:

Таким образом, как уже отмечалось [8] (одним из отличительных достоинств РПС является представление результата работы сети в виде формул булевой алгебры), были сформированы формулы представления классов понятий:

КЛАСС-> «х»

$$php3 \wedge 1 \wedge \sim\{\langle GET \& HTTP \& 0 \rangle \& exe \& c+dir\} \quad (1)$$

КЛАСС-> «у»

$$\langle GET \& HTTP \& 1 \& 0 \rangle \& exe \& c+dir \quad (2)$$

Сообщения	Классы (понятия)		
	X	Y	По всем классам
Всего	5739	520	6259
Рабочие	5739 (100 %)	445 (85,58 %)	6184 (98,80 %)
Аномальные	0 (0 %)	72 (13,85 %)	72 (1,15 %)
Неопределенные	0 (0 %)	3 (0,58 %)	3 (0,05 %)

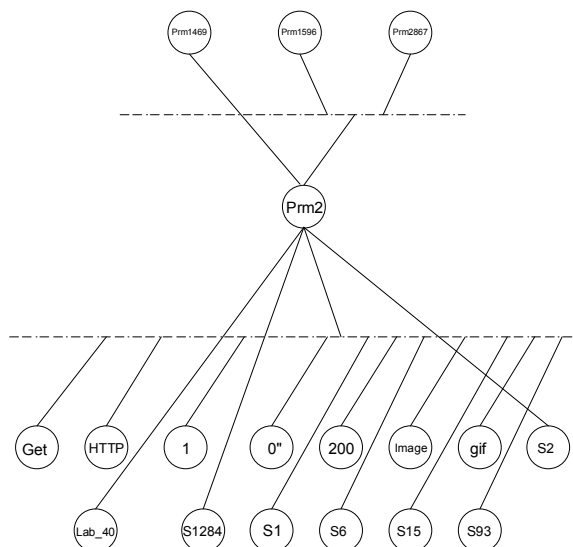


Рис. 5. Фрагмент структуры сформированной РПС

В заключение, была выполнена проверка работы сети на тестовом примере, состоящем из 6259 сообщений. Результаты работы представлены в приведенной таблице.

Как видно по результатам, предложенная модель работает достаточно эффективно. Из сетевого трафика было идентифицировано 98,8 % сообщений. Для улучшения показателей работы модели, нераспознанные и неопределенные сообщения должны быть проанализированы экспертом и добавлены в обучающую выборку, что позволит свести показатели нераспознанных ситуаций к минимуму.

Вывод. Принимая во внимание специфику работы системы ДЦ-Юг с РКП, следует применять новую модель выявления аномальных

сообщений. Связано это с тем, что большинство существующих методов ориентированы на выявления аномалий, связанных с существенным повышением сетевого трафика. Одной из моделей, наиболее удовлетворяющих поставленным требованиям, является модель, построенная на базе РПС и позволяющая решать поставленные задачи в реальном масштабе времени, поскольку результатом работы РПС является представление анализа контента в явном виде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьева, Л. А. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте : Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / Л. А. Кондратьева, О. Н. Ромашкова. – М.: Маршрут, 2003. – 432 с.
2. Тега, Г. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира : [пер. с англ.] : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Г. Тега, С. Власенко. – М.: Интекст, 2010. – 496 с.
3. Кулькин, С. А. Информационная безопасность в системах диспетчерского контроля и управления : Международный сборник научных трудов «Актуальные проблемы развития технических средств и технологий железнодорожной автоматики и телемеханики». – РГУПС, 2003. – С. 17–21.
4. Астахов, А. Актуальные вопросы выявления сетевых атак: Jet Info № 3 (106) 2002. – 28 с.
5. Ping Yi. A new routing attack in mobile ad hoc networks: international journal of information technology Vol. 11 No.2 / Ping Yi, Zhoulin Dai, Shiyong Zhang, Yiping Zhong. – Department of computing and information technology, Fudan university, Shanghai, 200433, China. – P. 83–94.
6. Долгий, И. Д. Система диспетчерского контроля и управления движением поездов «ДЦ-Юг с РКП»: монография / под общей ред. И. Д. Долгого и А. Г. Кулькина. – 2010. – 486 с.
7. Гладун, В. П. Партнерство с компьютером / В. П. Гладун. – Киев : Port-Royal, 2000. – 128 с.
8. Гладун, В. П. Планирование решений / В. П. Гладун. – Киев : Наук. думка, 1987. – 168 с.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского государственного технического университета № 3 (76), 2011 г.

Серия «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (Выпуск 10)

Межвузовский сборник научных статей

Редактор Л. Н. Рыжих Компьютерная верстка Е. В. Макаровой

Темплан 2011 г. (научные издания). Поз. № 3н. Подписано в печать 16.05.2011. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,35. Уч.-изд. л. 15,39. Тираж 150 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет. 400131, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 1. Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ. 40013, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 7.