

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
Выпуск 4

№ 2(40)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2008



Волгоград
2008

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:

д-р техн. наук проф. <i>В. А. Камаев</i> (научный редактор),
д-р техн. наук проф. <i>В. И. Аверченков</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>О. Н. Андрейчикова</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>А. М. Бершадский</i> ,
д-р хим. наук проф. <i>Л. Н. Бутенко</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>Г. Д. Волкова</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>А. С. Горобцов</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>А. М. Дворянкин</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>А. В. Заболеева-Зотова</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>В. М. Курейчик</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>В. С. Лукьянов</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>Ю. П. Муха</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>Г. Т. Тарабрин</i> ,
д-р техн. наук проф. <i>А. Н. Шилин</i>
д-р техн. наук проф. <i>С. А. Фоменков</i> (ответственный секретарь)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 124 с. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4).

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.

ISSN 1990–5297

Ил. 57. Табл. 3. Библиогр.: 185 назв.

ISSN 1990–5297

© Волгоградский государственный
технический университет, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Андрейчиков А. В., Горобцов А. С., Андрейчикова О. Н., Солоденков С. В., Юшкин И. В.</i>	
Определение законов квазиоптимального управления многомерной системы при случайном возмущении.....	5
<i>Горобцов А. С., Подзоров А. В.</i>	
Представление подвески легкового транспортного средства в системе моделирования "Фрунд".....	8
<i>Джаватов Д. К.</i>	
Математическая модель комбинированной системы геотермального теплоснабжения и задачи ее оптимизации.....	10
<i>Джаватов Д. К.</i>	
Математическое моделирование процесса добычи тепла в геотермальной циркуляционной системе.....	13
<i>Заручевская Г. В.</i>	
Реализация решения разностной схемы расщепления двумерного уравнения теплопроводности в мелкозернистом локально-параллельном стиле программирования.....	16
<i>Крыжановский Д. И.</i>	
Унифицированное представление моделей идентификации на базе XML- и PMML-документов.....	19
<i>Строганов Д. В., Польшин С. О., Снеткова О. Л.</i>	
Модели стохастической аппроксимации в управляемом имитационном эксперименте.....	23
<i>Чигиринская Н. В.</i>	
Использование дифференциально-алгебраических уравнений для описания динамики многомерных систем.....	25
<i>Яновский Т. А., Яновский А. Г.</i>	
Метод стохастической одномерной минимизации высокой точности.....	29

II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Дворянкин А. М., Кривенко Е. В.</i>	
Особенности проектирования порталных систем.....	32
<i>Дворянкин А. М., Кривенко Е. В.</i>	
Особенности технической оценки свободно распространяемых портальных систем с открытым кодом.....	36
<i>Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А.</i>	
Атрибутная грамматика формального документа "Техническое задание"....	39
<i>Кизим А. В., Линева Н. А.</i>	
Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия.....	43
<i>Кубашева Е. С.</i>	
Основные аспекты реализации процессно-ориентированного подхода на предприятиях электронной промышленности при работе с браком.....	45
<i>Кудряшова Н. А., Фоменков С. А.</i>	
Автоматизация оценки риска заболевания людей под воздействием химических веществ в воздухе.....	49
<i>Никифоров С. К., Степченко А. А., Алаев Н. П.</i>	
Кластерный анализ траекторной измерительной информации в режиме реального времени.....	51
<i>Никифоров С. К., Степченко А. А., Алаев Н. П.</i>	
Мультиагентная экспертная система поддержки принятия решений.....	54

<i>Розалиев В. Л.</i>	
Предпосылки, возможности, перспективы создания автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи.....	58
<i>Шеринев В. Н., Кудряшов П. П.</i>	
Игра-аттракцион "Командное сражение моделей танков".....	61
III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Заболотский М. А., Тихонин А. В., Полякова И. А.</i>	
Аналитическая программная система "Стратег" – инструмент целеполагания и анализа сложных систем и ситуаций.....	65
<i>Недзиев С. Н.</i>	
Моделирование управления кадровой политикой предприятия. Использование модели управления кадровой политикой при разработке автоматизированных систем.....	68
<i>Обухов А. С.</i>	
Разработка автоматизированной системы управления уровнем компетентности специалистов на предприятии.....	70
<i>Орлова Ю. А.</i>	
Подготовка менеджеров в вузах физической культуры с использованием современных информационных технологий управления.....	76
<i>Свинцов В. Я., Садчиков П. Н.</i>	
Моделирование структуры инвестиций в воспроизводство жилищного фонда.....	80
<i>Халилова А. А.</i>	
Совокупная стоимость владения в свете тенденций развития информационных технологий.....	83
IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	
<i>Дворянkin А. М., Сенин Е. В., Жукова И. Г., Сипливая М. Б.</i>	
Интеграция технологий рассуждений по прецедентам и рассуждений на основе правил для интеллектуальной поддержки инженерного анализа.....	87
<i>Дворянkin А. М., Сипливая М. Б., Жукова И. Г., Капыш А. С., Кульцов А. Е.</i>	
Интеграция рассуждений по прецедентам и онтологии в интеллектуальной системе поддержки инженерного анализа в области контактной механики.....	90
<i>Дворянkin А. М., Сипливая М. Б., Жукова И. Г., Капыш А. С., Кульцов А. Е.</i>	
Разработка модели представления прецедента на основе онтологии и создание базы знаний для интеллектуальной системы поддержки инженерного анализа в области контактной механики.....	94
<i>Коптелова И. А.</i>	
Оптимизация приоритетности критериев морфологического синтеза оптико-электронных приборов.....	98
<i>Цыканова М. А., Бутенко Л. Н.</i>	
Процедуры получения частных эвристических приемов объектно-ориентированного фонда для проектирования аппаратов химико-технологических систем.....	102
V. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Герейханов Р. Г.</i>	
Средства обеспечения отказоустойчивости уровня доступа компьютерных сетей.....	105
<i>Фролов А. А., Гирич С. В., Заярный В. П.</i>	
Моделирование характеристик антенн СВЧ-диапазона.....	111
<i>Шаринов Р. Р., Заярный В. П.</i>	
О возможности использования речевых сигналов для защиты передаваемой цифровой информации	115
<i>Шилин А. Н., Гонжал М. И.</i>	
Моделирование нелинейных фотоэлектрических цепей.....	117
<i>Шилин А. Н., Крутякова О. А.</i>	
Исследование операторно-дискретного метода анализа электрических цепей	119

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 533.1

А. В. Андрейчиков, А. С. Горобцов, О. Н. Андрейчикова, С. В. Солоденков, И. В. Юшкин ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ВОЗМУЩЕНИИ¹

Волгоградский государственный технический университет (gorobtsov@avtlg.ru)

Рассматривается задача минимизации заданного интегрального критерия качества виброзащиты с помощью ступенчатого управления параметрами демпфирования элементов подвеса. Законы управления находятся с помощью принципа максимума. Рассмотрен пример расчета эффективности управления для двумерного случайного возмущения модели автомобиля.

Ключевые слова: оптимальное управление, активная виброзащита, случайные колебания.

A. V. Andreychikov, A. S. Gorobtsov, O. N. Andreychikova, S. V. Solodenkov, I. V. Yushkin THE QUASIOPTIMAL CONTROL OF ACTIVE SUSPENSION OF A MULTIDIMENSIONAL MECHANICAL SYSTEM UNDER STOCHASTIC EXCITATION

The problem of the minimization of integral criteria of vibroisolation affectivity by discrete controlling of the suspension parameters is investigated. The control laws are defined from minimum principle. The results of the simulation of car stochastic vibrations with active suspension is presented.

Optimal Control, Active Suspension, Vibration, Stochastic Systems.

Введение. Определение оптимальных законов управления многомерными неавтономными динамическими системами является актуальной для виброзащитных устройств, подвесок транспортных средств. Методы оптимального управления лежат в основе создания алгоритмов работы технических устройств, предназначенных для минимизации показателей динамичности объекта. Математическая модель многомерной колебательной системы обладает достаточной общностью для использования ее в качестве модели произвольной динамической системы, например, в качестве модели подвески автомобиля.

В настоящее время известны виброзащитные устройства, системы управления которых работают на основе электронных схем или контроллеров, реализующих управление параметрами устройства по некоторому детерминированному закону. Такие системы требуют оснащения подвеса определенными датчиками и исполнительными устройствами, которые устанавливают фиксированное отображение показаний датчиков в заранее определенные команды исполнительным устройствам, реализующим указанные значения параметров подвеса [1–6].

В данной статье представлена система управления многомерным виброзащитным подвесом

автомобиля на основе принципа максимума Понтрягина. В качестве управляемого параметра использовалась жесткость пневматического элемента виброзащитной подвески. Изменение жесткости регулировалось ступенчатым варьированием рабочего объема пневматической системы. Основное отличительное свойство предложенной системы – простота технической реализации.

Математическая формулировка задачи

Общий вид уравнений движения многомассовой системы в предположении малости перемещений записывается в матричном виде следующим образом:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{D}\mathbf{U}_{\lambda} + \mathbf{C}\mathbf{U}_{\lambda} + \mathbf{f}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t) \quad (1)$$

где $\mathbf{M} = \text{diag}(m_1, m_2, \dots, m_n)$ – матрица масс; $\mathbf{x}^T = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор столбец координат размерностью n ; $\mathbf{U}_{\lambda}$ – функции переключения жесткостей; $\mathbf{U}_{\lambda}$ – функция переключения демпферов; $\mathbf{U}^T_{\lambda} = (u_{c1}\lambda_1, \dots, u_{cn_1}\lambda_{n_1})$, $\mathbf{U}^T_{\lambda} = (u_{d1}\lambda_1, \dots, u_{dn_2}\lambda_{n_2})$,

n_1 – число управляемых жесткостей, n_2 – число управляемых демпферов; $u_{ci} = u_{ci}(t)$ – функция управления i -м упругим элементом подвеса, которая может принимать два постоянных значения; $u_{dj} = u_{dj}(t)$ – функция управления j -м демпфирующим элементом подвеса, которая может принимать два фиксированных значения; $\mathbf{C} = (.)_{n \times m1}$ – матрица, учитывающая жестко-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 07-08-12011-офи

сти элементов подвески и коэффициенты приведения упругих сил к направлениям степеней свободы; $\mathbf{D}=(.)_{n \times n2}$ – матрица, учитывающая демпфирование элементов подвески и коэффициенты приведения демпфирующих сил к направлениям степеней свободы; $\lambda_i = \lambda_i(\mathbf{x})$ – относительное перемещение в i -м упругом элементе подвеса; $\lambda_j = \lambda_j(\dot{\mathbf{x}})$ – относительная скорость в j -м демпфирующем элементе подвеса; $\mathbf{f}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t)$ – вектор функция прочих сил и внешнего возмущения действующих на систему.

Задача оптимального управления формулируется следующим образом: найти закон переключения u_{ci}, u_{dj} , который обеспечивает минимум функционала качества:

$$I = \int_0^t \bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) dt.$$

Решение ищется на основе принципа максимума [7]. Для этого представляем систему уравнений (1) в виде системы первого порядка. Выполняем замену переменных:

$$\mathbf{y}^T = (x_1, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n)$$

Теперь уравнения (1) можно записать в виде:

$$\mathbf{M}^* \dot{\mathbf{y}} + \mathbf{D}^* \mathbf{U}_{\lambda}^* + \mathbf{C}^* \mathbf{U}_{\lambda}^* + \mathbf{f}^*(\mathbf{y}, t) = 0, \quad (2)$$

где

$$\mathbf{M}^* = \begin{pmatrix} \mathbf{E} & 0 \\ 0 & \mathbf{M} \end{pmatrix}, \mathbf{C}^* = \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{C} \end{pmatrix}, \mathbf{D}^* = \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{D} \end{pmatrix}, \mathbf{f}^*(\mathbf{y}, t) = \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{f}(\mathbf{y}, t) \end{pmatrix}.$$

Из уравнений (2) выражаем $\dot{\mathbf{y}}$:

$$\dot{\mathbf{y}} = -\mathbf{M}^{*-1}(\mathbf{D}\mathbf{U}_{\lambda}^* + \mathbf{C}^*\mathbf{U}_{\lambda}^* + \mathbf{f}(\mathbf{y}, t)), \quad (3)$$

Функционал качества принимаем в виде:

$$I = \int_0^t (\mathbf{B}\mathbf{y})^2 dt, \quad (4)$$

где $\mathbf{B}$ – некоторая матрица-строка постоянных коэффициентов.

Для системы (3) Гамильтониан можно представить в виде [7]:

$$\mathbf{H} = \psi \dot{\mathbf{y}} + \psi_{2n+1} (\mathbf{B}\mathbf{y})^2 = \psi \dot{\mathbf{y}}^*(\mathbf{y}) + \psi \dot{\mathbf{y}}^{**}(\mathbf{u}, \mathbf{y}) + \psi_{2n+1} (\mathbf{B}\mathbf{y})^2,$$

где $\dot{\mathbf{y}}^*(\mathbf{y})$ – набор функций, которые не содержат управляющую функцию; $\dot{\mathbf{y}}^{**}(\mathbf{u}, \mathbf{y})$ – набор функций, в которые входит управляющая функция (то есть функции вида $c_i u_{ci} \lambda_i + d_i u_{di} \dot{\lambda}_i$); $\psi_{2n+1} = -1$; ψ – вектор-строка сопряженных переменных, которые определяются из дифференциальных уравнений вида:

$$\dot{\psi} = -\mathbf{J}\psi - \psi_{2n+1} \mathbf{K}, \quad (5)$$

где $\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \dot{y}_1}{\partial y_1} & \cdot & \cdot & \frac{\partial \dot{y}_{2n+1}}{\partial y_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial \dot{y}_1}{\partial y_{2n}} & \cdot & \cdot & \frac{\partial \dot{y}_{2n+1}}{\partial y_{2n}} \end{pmatrix}, \mathbf{K} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \bar{f}}{\partial y_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{\partial \bar{f}}{\partial y_{2n}} \end{pmatrix}$

Система дифференциальных уравнений (5) решается при начальных условиях, определяемых условиями трансверсальности [7]:

$$(\psi, \mathbf{y}) = 0.$$

Для произвольных начальных условий y_0 одно из допустимых значений $\psi_0 : \psi_0 = 0$.

Гамильтониан, в который входят управляющие функции, принимает максимум при условии, что слагаемые $\psi \dot{\mathbf{y}}^{**}(\mathbf{u}, \mathbf{y})$, $\psi \dot{\mathbf{y}}^*(\mathbf{y})$ принимают максимальное значение, то есть для отдельных слагаемых этого выражения условия для управляющей функции можно записать следующим образом:

$$u = \begin{cases} u_{\max}, \psi_i \dot{y}_i^{**} > 0 \\ u_{\min}, \psi_i \dot{y}_i^{**} < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Для использования выражения (6) необходимо определять знаки сопряженных функций. Значения сопряженных функций определяются из системы дифференциальных уравнений (5). Точное интегрирование системы (5) в общем случае невозможно. Из качественных характеристик решения (5) следует отметить, что это решение будет неустойчивым, поскольку в матрицу $\mathbf{J}$ будут входить с отрицательными знаками положительно-определенные матрицы $\mathbf{C}$ и $\mathbf{D}$, и, следовательно, корни линеаризованного характеристического уравнения будут иметь положительную действительную часть. Поэтому при нулевых начальных условиях для ψ знаки первых производных $\dot{\psi}$ будут определяться знаками вторых слагаемых правой части (5). Поэтому можно приближенно считать, что при нулевых начальных условиях знак сопряженных функций на бесконечно малом начальном промежутке времени будет совпадать со знаком второго слагаемого в уравнении (5):

$$\text{sign}(\psi_i) = \text{sign}\left(\frac{\partial \bar{f}}{\partial y_i}\right)$$

То есть знак функции ψ_i будет определяться знаком соответствующей производной от критерия.

Тогда условие (6) оптимального управления для малого интервала запишется в виде:

$$u = \begin{cases} u_{\max}, b_i \dot{y}_i \dot{y}_i^{**} > 0 \\ u_{\min}, b_i \dot{y}_i \dot{y}_i^{**} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Если распространить условие (7) на весь временной интервал, то мы получим простой алгоритм управления. Строгое обоснование (7) невозможно, однако это выражение допускает

очевидную физическую интерпретацию, и может быть использовано для последующего анализа. Различные формы условия (7) для систем с одной степенью свободы можно найти в [7].

Критерий (4) и условие переключения (7) позволяют определять условия оптимальности управления для системы произвольной размерности с любым количеством управлений.

Результаты компьютерного моделирования системы управления подвеской автомобиля

Для проверки эффективности законов управления по выражению (7) был проведен вычислительный эксперимент. Расчеты проводилось в системе моделирования динамики систем твердых и упругих тел Фрунд [8]. В качестве расчетной использовалась модель автобуса массой 8 т.

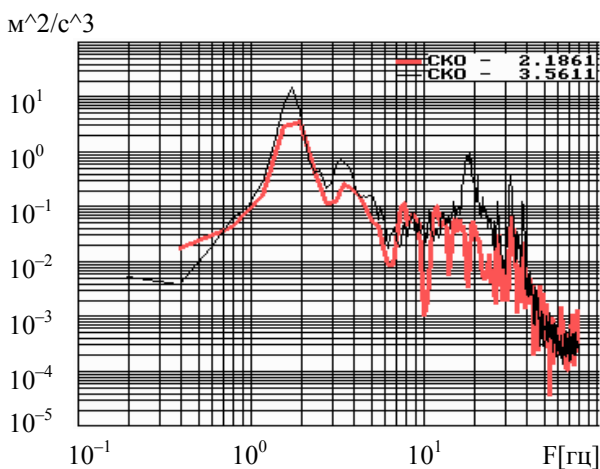
При моделировании был проведен расчетный анализ движения автобуса с управляемой подвеской по случайному микропрофилю с постоянной скоростью. В качестве случайного микропрофиля использовались экспериментальные реализации микропрофилей дорог автополигона НАМИ (научно-исследовательский АвтоМоторный Институт). Рассматривались варианты управляемой и неуправляемой подвесок.

В качестве расчетной системы использовалась двухмассовая система. Критерий оценки был следующего вида:

$$y = \dot{\phi} + \dot{z},$$

где $\dot{\phi}$ – угловая скорость системы; $\dot{z}$ – линейная скорость системы.

В качестве управляемого параметра в данном случае использовалась жесткость пневма-



Расчетные спектры вертикальных ускорений в задней части автобуса:

— управляемая подвеска; — штатная подвеска

тического элемента подвески. Изменение жесткости регулировалось ступенчатым варьированием рабочего объема пневматика.

В результате были получены расчетные значения средних квадратических ускорений (СКО) при движении автобуса по ровному булыжнику, которые приведены на рисунке.

Заключение. Рассмотрен метод получения законов квазиоптимального дискретного управления многомерными колебательными системами при квадратичном критерии оптимизации для произвольного вида возмущения. Эффективность управления проверена с помощью численного эксперимента на математической модели подвески транспортного средства под действием случайного возмущения со стороны дороги и ступенчатым управлением параметрами консервативных сил. Метод может служить основой для создания относительно простых конструкторских решений активных систем виброзащиты [10, 11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов, С. В. Подвеска автомобиля: учеб. пособие / С. В. Борисов, А. И. Архипов, В. И. Осипов. – МАДИ ТУ, Ч. 1. М. 1995.
2. Воронов, А. А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость / А. А. Воронов. – М.: Наука, 1979.
3. Павлюк, А. С. Подвески легковых автомобилей: учеб. пособие / А. С. Павлюк / Алт. гос. тех. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1996.
4. Генкин, М. Д. Методы управляемой виброзащиты машин / М. Д. Генкин, В. Г. Елезов, В. В. Яблонский. – М.: Наука, 1985.
5. Жданов А. А., Липкевич Д. Б. AdCAS - система автономного адаптивного управления активной подвеской автомобиля. Интернет ресурс www.aac-lab.com/rus/publications/2004/podveska.html
6. Рыбак, Л. А. Синтез активных систем виброизоляции на космических объектах / Л. А. Рыбак, А. В. Синев, А. И. Пашков. – М.: Янус-К, 1997.
7. Болтянский, В. Г. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1968.
8. Горобцов, А. С. Алгоритмы численного интегрирования уравнений движения системы тел с множителями Лагранжа / А. С. Горобцов, С. В. Володенков // Машиностроение и инженерное образование. – 2005. – № 3. – С. 20–27.
9. Елисеев, С. В. Динамика механических систем с дополнительными связями / С. В. Елисеев, Л. Н. Волков, В. П. Кухаренко. – Новосибирск: Наука, 1990.
10. Андрейчиков, А. В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998.
11. Андрейчиков, А. В. Разработка и исследование активных пневматических систем виброизоляции человека-оператора / А. В. Андрейчиков // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – № 2. – С. 94–98.

УДК 629.113.012

А. С. Горобцов, А. В. Подзоров
**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
 В СИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ "ФРУНД"**

Волгоградский государственный технический университет (gorobtsov@avtlg.ru, andrew.p2005@gmail.com)

Разработана пространственная математическая модель системы поддрессирования транспортного средства. Представлена подробно кинематика передней и задней стоек. Математическое описание подвески содержит модели упругих и демпфирующих звеньев, сайлент-блоков, модель шины с учетом отрыва колеса. В качестве кинематического возмущения применялись дорожные микропрофили, соответствующие реальным условиям эксплуатации. Уточненная модель гидравлического амортизатора наряду со стандартной характеристикой позволяет учесть и другие эффекты, имеющие в нем место. Проведена идентификация полученной модели подвески, которая показала приемлемое соответствие с экспериментальными данными.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамика транспортного средства, система поддрессирования автомобиля, гидравлический амортизатор

A. S. Gorobtsov, A. V. Podzorov

THE PRESENTATION OF A PASSENGER CAR SUSPENSION SYSTEM IN «FRUND» CAE-SYSTEM

The three-dimensional mathematical model of the automotive suspension system has been worked up. Kinematics front and rear shock struts are presented in details. The suspension system mathematical formulation contains models of springing and damping units, bushings, model of tire taking into consideration a wheel detachment. Road microprofiles closed to real application conditions were used as an illustration kinematic disturbance. Accuracy model of an hydraulic shock absorber along with ordinary characteristic allows to consider other effects occurred in it. The identification of obtained suspension system model has showed proper approach to experimental data.

Computer simulation, vehicle dynamics, automotive suspension system, hydraulic shock absorber.

Любому изделию, выпускаемому на рынок, будь-то совершенно новый экспериментальный образец или доработанный вариант серийной продукции, необходимо придать высокие потребительские свойства. Для этого нужно оценить, как поведет себя будущее изделие в реальных условиях эксплуатации. Проводить испытание на физических моделях и прототипах – трудоемкое, дорогое и порой довольно длительное занятие. CAE системы инженерного анализа предназначены для синтеза, исследования и оптимизации проектных разработок посредством создания компьютерных математических моделей и последующих их решений численными методами. Это должно происходить на самых ранних стадиях разработки изделия, что, в свою очередь, снижает стоимость выпускаемой продукции, сокращает цикл разработки нового изделия и помогает свести к

минимуму количество натурных испытаний. Что касается моделей динамики машин, то для проведения достоверных исследований их расчетные схемы должны учитывать сложный пространственный характер движения, большое количество степеней свободы системы, нелинейности характеристик связей, случайный характер возмущения и т. д. Среди сложных и актуальных задач динамики машин – моделирование подвески транспортного средства в составе упругого элемента (пружины, рессоры, торсиона), демпфирующего элемента (амортизатора), направляющих устройств, сайлентблоков, колес [1, 2].

Для создания и исследования математической модели подвески легкового автомобиля ВАЗ-2110 применялся специализированный комплекс компьютерного моделирования "ФРУНД" [3], разработанный на основе уравнений динамики систем тел и алгоритмов их численного интегрирования. Модель гидравлического двухтрубного амортизатора, входящего в состав подвески автомобиля, представляется довольно сложной, поэтому первоначально проводилось исследование поведения амортизационных стоек на упрощенной модели колебаний при слу-

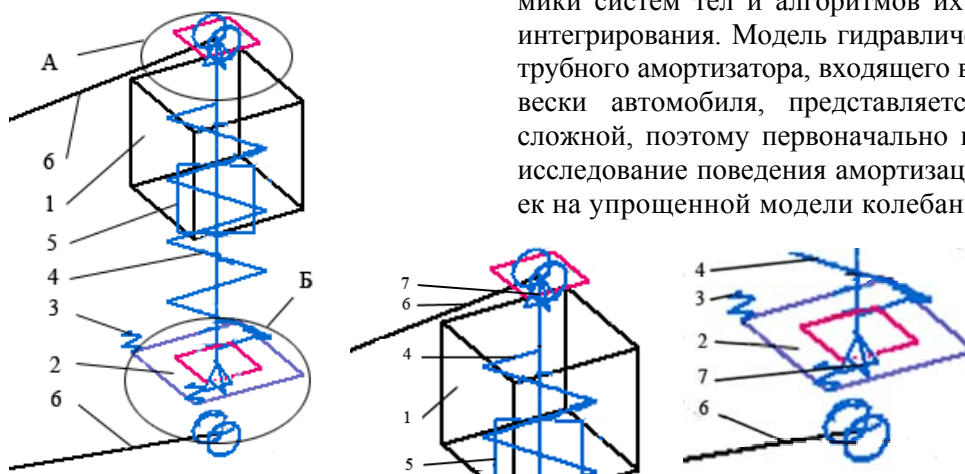


Рис. 1. Расчетная схема модели амортизационной стойки

чайном кинематическом воздействии, соответствующем реальному дорожному покрытию. Расчетная схема амортизационной стойки (рис. 1) включает в себя подрессоренную 1 и неподрессоренную 2 (колесо) массы, соединенные между собой упругодемпфирующими связями 3–7 с соответствующими характеристиками.

Шина 3 описывается нелинейными характеристиками, учитывающими отрыв колеса от дороги. Пружина 4 представлена так же нелинейной зависимостью с учетом ограничителей хода. Демпфирующие элементы 5, 6 позволяют учесть не только классический закон Бернулли истечения жидкости через калибровочные отверстия [4], но и инерционные эффекты, возникающие при этом в гидроцилиндре [5]. Достигается это путем добавления к обычному классическому узлу 5 двух инерционных звеньев 6, которые добавляют усилие, зависящее от относительного ускорения. Сайлентблоки 7 описаны линейными зависимостями.

Далее исследования проводились на пространственной модели, соответствующей легковому автомобилю ВАЗ-2110, массово-геометрические параметры которого, а также характеристики подвески были взяты из официального каталога завода-изготовителя [6]. Расчетная схема (рис. 2) включает в себя кузов, переднюю независимую и заднюю зависимую подвески на основе амортизационных стоек, рулевой механизм, колеса.

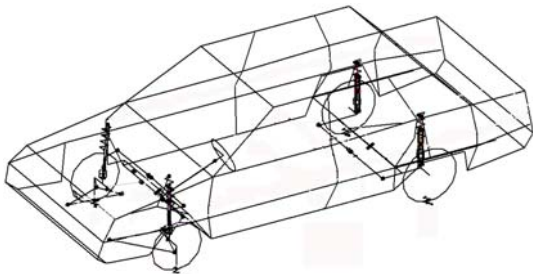


Рис. 2. Расчетная схема модели автомобиля в системе "ФРУНД"

Передняя подвеска (рис. 3) включает в себя нижний рычаг, стабилизатор поперечной устойчивости, амортизационную стойку с поворотными кулаками, сайлентблоки. Задняя подвеска (рис. 4) состоит из балки с продольными рычагами, амортизационных стоек и сайлент-

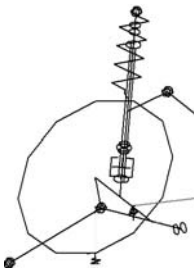


Рис. 3. Передняя подвеска

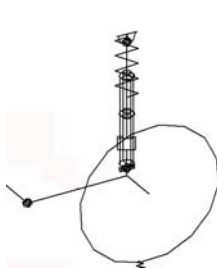


Рис. 4. Задняя подвеска

блоков. Рулевое управление представлено рулевой колодкой, рейкой и тягами, которые крепятся к кулакам передних стоек.

Пространственная модель легкового автомобиля позволяет учесть угловые колебания кузова, взаимные влияния элементов конструкции друг на друга. С помощью модели снимаются различные характеристики плавности хода, определяются силовые воздействия на элементы подвески, действующие в реальных условиях эксплуатации, что дает возможность обрабатывать на модели разнообразные варианты модернизации системы подрессоривания.

Для оценки адекватности модели была проведена сравнительная оценка по 16 выходным параметрам экспериментальных и расчетных результатов: спектры сил на пружинах и штоке измерялись при помощи тензодатчиков, ускорения на ступице колеса и стойке – при помощи датчиков ускорения. Сравнились результаты экспериментальных замеров параметров колебаний при движении автомобиля по легкому булыжнику со скоростью 60 км/ч и на четырехточечном стенде с соответствующими расчетными значениями. Качественный вид полученных спектров для всех рассмотренных случаев одинаковый (рис. 5, 6).

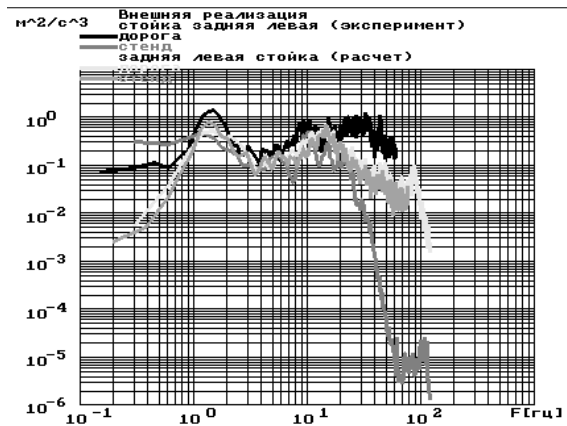


Рис. 5. Спектры сил в пружине

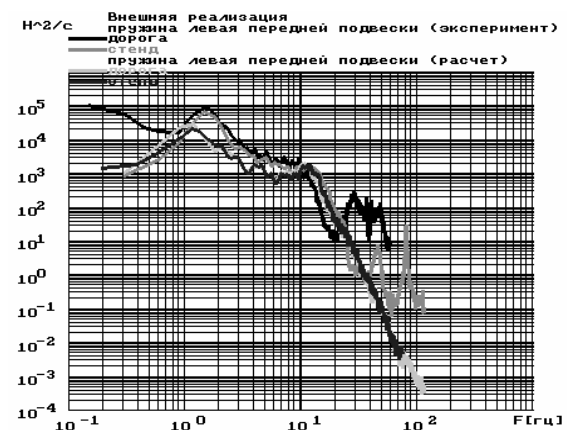


Рис. 6. Спектры сил в амортизаторе

Наибольшие же расхождения сил оказались в амортизаторе (до ~50 %), что говорит о сложности процессов, происходящих в гидроцилиндре, и необходимости дальнейшего уточнения модели демпфирующего узла в амортизационной стойке. В целом математическая модель легкового автомобиля в программном комплексе "ФРУНД" показала хорошую согласованность с экспериментом, что свидетельствует о возможности ее практического применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Thomas E. Renner, Andrew J. Barber. Accurate Tire Models for Vehicle Handling Using the Empirical Dynamics Method, International ADAMS User Conference, 2000.

2. R. Ledesma, Z.-D. Ma, G. Hulbert, A. Wineman. A nonlinear viscoelastic bushing element in multibody dynamics, Computational Mechanics, Vol. 17, pp. 287-296, 1996.

3. Горобцов, А. С. Программный комплекс расчета динамики и кинематики машин как систем твердых и упругих тел / А. С. Горобцов // Справочник. Инженерный журнал. – М: Машиностроение, 2004. – № 9. – С. 40–43.

4. Дербаремдикер, А. Д. Амортизаторы транспортных машин/ А. Д. Дербаремдикер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 200 с.

5. Гордеев, Б. А. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред / Б. А. Гордеев, В. И. Ерофеев, А. В. Синев, О. О. Мугин. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.

6. Косарев, С. Н. ВАЗ-2110, ВАЗ-2111, ВАЗ-2112 и их модификации: руководство по эксплуатации, технологическому обслуживанию и ремонту: каталог деталей и запасных частей/ С. Н. Косарев. – М.: АСТ, 2005. – 415 с.

УДК 517.977.5

Д. К. Джаватов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ЗАДАЧИ ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала (djavatdk@mail.ru)

Разработана математическая модель комбинированной системы геотермального теплоснабжения, для которой решаются задачи оптимизации. Строится функция оптимального управления эксплуатацией данной системы.

Ключевые слова: геотермальная циркуляционная система, термальная вода, пиковый отопитель.

D. Dzavatov

MATHEMATICAL MODEL FOR THE GEOTHERMAL COMBINED HEAT SUPPLYING SYSTEM AND PROBLEMS THAT'S OPTIMIZATION

Geothermal circulating system, thermal water, peak heater.

Разработана математическая модель комбинированной системы геотермального теплоснабжения (КСГТ) с пиковым догревом, построенная на базе геотермальной циркуляционной системы (ГЦС), для которой на основе ме-

тодов теории оптимального управления [2] решен ряд задач оптимизации ее эксплуатации.

В качестве критерия эффективности рассматривается минимум функционала приведенных затрат [1]:

$$I = \int_0^{\tau} \left(p_1 k_1 + (p_2 - p_1) \left[2t_0 k_2 \bar{W} + \frac{(t_* - 2t_0) \bar{W}^2}{V} \right] + \frac{p_3 v}{V} \right) e^{-\delta t} dt,$$

где $p_1(t)$, $p_2(t)$ – стоимостные оценки единиц тепловой энергии термальной воды и отопителя в t -м году; $p_3(t)$ – стоимость наращивания единицы мощности отопителя; δ – коэффициент дисконтирования; t_0 – время конца пиковых нагрузок на комбинированную систему; t_* – время отключения отопительной системы; $\bar{W}(t)$ – максимальная мощность отопителя в t -м году; t – время; $V(t)$ – объем отапливаемого помещения в t -м году; k_1, k_2 – постоянные; v – скорость наращивания мощности пикового отопителя.

В качестве функции управления рассматривается скорость наращивания максимальной мощности пикового отопителя v , которая задается уравнением

$$d\bar{W} / dt = v(t)$$

с естественными ограничениями: $0 \leq v(t) \leq \bar{v}$,

где $\bar{v}$ – максимальные возможности по наращиванию мощности пикового отопителя.

Уравнение изменения теплового потенциала термальной воды имеет вид [1]:

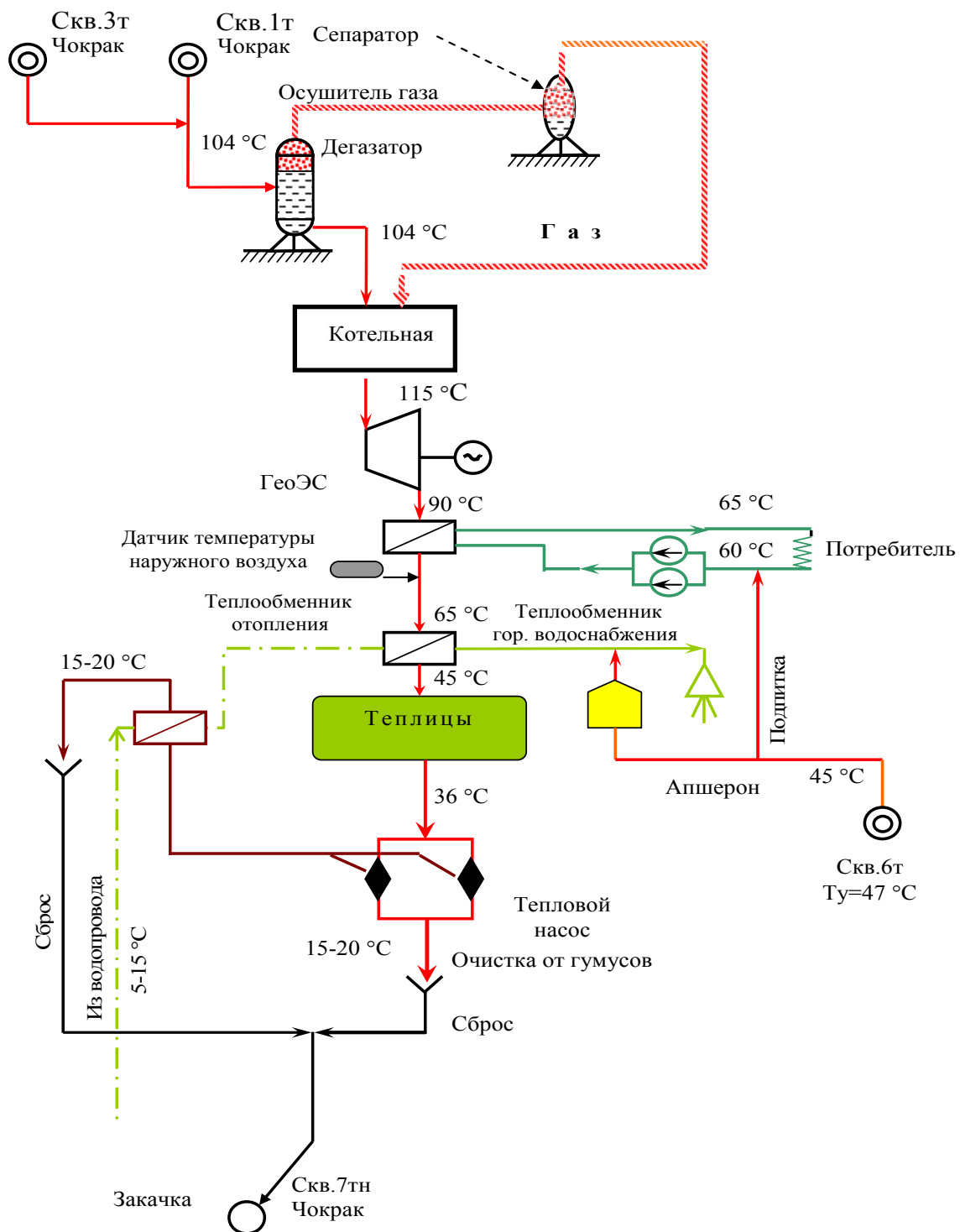
$$\frac{dT}{dt} = \frac{(\bar{W}^2(t)(t_* - 2t_0) + 2t_0 k_2 V \cdot \bar{W}(t) - k_1 \cdot V}{V_k C \rho},$$

где V_k – объем подземного котла; $T(t)$ – температура добываемой термальной воды в t -м году.

Задаются начальные условия: $T_0 = T(0) > 0$,

$W_0 = \bar{W}(0) = \bar{W}_0 > 0$ и условие на правый конец: $T(\tau) = T_k$, где $T_k > T_3$, T_3 – температура закачиваемой обратно в пласт воды.

Последнее условие означает, что ГЦС работает до полного истощения теплового потенциала термальной воды. Время эксплуатации КСГТ – τ считаем заданным.



Геотермальная ТПС с использованием тепловых насосов, ГеоЭС, котельной, дегазацией, осушкой газа, очисткой воды от гумусовых веществ

В результате исследования модели построена следующая функция оптимального управления:

$$v_{\text{опт}}(t) = \begin{cases} 0 \text{ или } \bar{v}, & t \in [0, t_1], \\ v^*(t), & t \in [t_1, t_2] \\ 0, & t \in [t_2, \tau] \end{cases}$$

$$\text{где } v_{\text{опт}}^*(t) = \frac{1}{(t_* - 2t_0)} \left\{ \frac{p_3}{\left(p_0 V - \frac{\lambda}{V_k C \rho} V^2\right)} \left\{ 0,5 \frac{d^2 V}{dt^2} - \frac{\left(\frac{dV}{dt}\right)^2 \left(p_0 - \frac{2\lambda}{V_k C \rho} V\right)}{2 \cdot V \left(p_0 - \frac{\lambda}{V_k C \rho} V\right)} \right\} - t_0 k_2 \frac{dV}{dt} \right\}, \quad \lambda = \text{const},$$

а точки t_1 и t_2 определяются из уравнений:

$$T_k - T_0 = \frac{\bar{W}_0^2 (t_* - 2t_0)}{V_k C \rho} t_1 + \frac{(2t_0 k_2 \bar{W}_0 - k_1)}{V_k C \rho} \int_0^{t_1} S d\theta + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\bar{W}^{*2} [t_* - 2t_0] + 2t_0 k_2 S \cdot \bar{W}^* - k_1 S}{V_k C \rho} d\theta + \\ + \frac{\bar{W}^{*2} (t_2) (t_* - 2t_0) (\tau - t_2)}{V_k C \rho} + \frac{(2t_0 k_2 \bar{W}^*(t_2) - k_1)}{V_k C \rho} \int_{t_2}^{\tau} S d\theta$$

и

$$\bar{W}_0 = \frac{1}{(t_* - 2t_0)} \left\{ \frac{p_3 \frac{dS}{dt} \Big|_{t=t_1}}{2 \left(p_0 \cdot S(t_1) - \frac{\lambda}{V_k C \rho} S^2(t_1) \right)} - t_0 k_2 S(t_1) \right\}.$$

Конкретный вид оптимального управления зависит от начального значения $\bar{W}_0$, и в зависимости от соотношений между значениями $\bar{W}_0$ и $\bar{W}_0^*$ будет иметь различные виды. Для этого вычисляем $\bar{W}^*(0)$ по следующей формуле:

$$\bar{W}^*(t) = \frac{1}{(t_* - 2t_0)} \left\{ \frac{p_3 \frac{dV}{dt}}{2 \left(p_0 V - \frac{\lambda}{V_k C \rho} V^2 \right)} - t_0 k_2 V \right\},$$

и тогда обязательно будет иметь место один из следующих случаев:

1) $\bar{W}_0^* < \bar{W}_0$. Это значит, что существует момент времени $t_1 \in]0, t_2[$, который определяется уравнением:

$$\bar{W}^*(t_1) = \bar{W}_0.$$

Оптимальное уравнение в этом случае имеет вид

$$v_{\text{опт}}(t) = \begin{cases} 0, & t \in [0, t_1], \\ v^*(t), & t \in [t_1, t_2] \\ 0, & t \in [t_2, \tau] \end{cases}$$

2) $\bar{W}_0^* = \bar{W}_0$. Тогда имеем $t_1 = 0$,

$$v_{\text{опт}}(t) = \begin{cases} v^*(t), & t \in [0, t_2] \\ 0, & t \in [t_2, \tau] \end{cases}$$

3) $\bar{W}_0^* > \bar{W}_0$. Тогда существует точка $t_1 \in]0, t_2[$, такая, что на $[0, t_1]$ оптимальное управление $v_{\text{опт}}(t) = \bar{v}$, а функция $\bar{W}$ имеет вид:

$$\bar{W}(t) = \bar{W}_0 + \bar{v} \cdot t,$$

а t_1 — является решением уравнения

$$\bar{W}_0 + \bar{v} \cdot t = \bar{W}^*(t).$$

Оптимальное уравнение в этом случае имеет вид:

$$v_{\text{опт}}(t) = \begin{cases} \bar{v}, & t \in [0, t_1], \\ v^*(t), & t \in [t_1, t_2] \\ 0, & t \in [t_2, \tau] \end{cases}$$

В таблице приведены результаты расчетов, проведенных по разработанному алгоритму для условий г. Кизляра при различных значениях параметра $\bar{W}_0$ и следующих стоимостных показателей тепловой энергии:

геотермальной — 142,3 руб./Гкал;
пикового отопителя — 270 руб./Гкал.

Расчет, проведенный по модели, показывает, что для случая $\bar{W}^*(0) > \bar{W}_0$ с увеличением значения $\bar{W}_0$ время t_1 уменьшается также, как и время t_2 , а эффективность системы увеличивается. Повышение эффективности системы с увеличением значения $\bar{W}_0$ объясняется тем, что для покрытия пиковых нагрузок в меньшей степени используется более дорогая наращи-

ваемая мощность отопителя. Чем ближе значение $\bar{W}_0$ к $\bar{W}^*(0)$, тем выше эффективность системы.

Проведенные расчеты убедительно показывают, что оптимизация СГТ позволяет существенно повысить эффективность системы, обеспечивая при этом насущные потребности в тепловой энергии.

Результаты расчета характеристик СГТ с пиковым отопителем

$\bar{W}_0$, тыс. Гкал/год	t_1 , лет	t_2 , лет	ΔI^* , руб/м ² /год	I (в пост. реж.), руб/м ² /год	$\Delta I / I$, %
$\bar{W}^*(0) > \bar{W}_0$, $t_0 = 50$ сут, $\bar{W}^*(0) = 21188$ Гкал/год, $\nu_{\text{опт}}(t) = 106$ Гкал/год					
20	1,2	15,6	18,2	32,86	55
16	5,1	17,5	16	32,86	48
10	11,2	20,8	12,6	32,86	38
8	13,2	21,9	11,5	32,86	35
5	16,2	23,8	9,8	32,86	29
$\bar{W}^*(0) > \bar{W}_0$, $t_0 = 55$ сут, $\bar{W}^*(0) = 16648$ Гкал/год, $\nu_{\text{опт}}(t) = 83,2$ Гкал/год					
15	1,6	15,6	15,5	28,4	54
10	6,7	18,3	13,1	28,4	46
8	8,8	19,5	12,1	28,4	43
5	11,7	20,8	10,7	28,4	37,5
$\bar{W}^*(0) < \bar{W}_0$, $t_0 = 50$ сут, $\bar{W}^*(0) = 21188$ Гкал/год, $\nu_{\text{опт}}(t) = 106$ Гкал/год					
21,3	0,1	15,6	19,3	32,8	59
22,5	1,3	17,7	17,1	32,8	52
23	1,8	18,5	16,7	32,8	51

* Через ΔI обозначена разность функционалов приведенных затрат, соответствующих оптимальному и постоянному режимам эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джаватов, Д. К. Имитационная модель и задачи оптимизации разработки геотермального месторождения / Д. К. Джаватов, В. А. Сокол, А. В. Федосеев. Препринт. – М.: ВЦ РАН, 1994. – 38 с.
2. Болтянский, В. Г. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1969. – 408 с.
3. Гаджиев, А. Г. Геотермальное теплоснабжение / А. Г. Гаджиев, Ю. И. Султанов, П. Н. Ригер и др. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 117 с.

УДК 517.977.5

Д. К. Джаватов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ ТЕПЛА В ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала (djavatdk@mail.ru)

Сроится математическая модель геотермальной циркуляционной системы, для которой решается задача оптимального управления. Приводится алгоритм построения функции оптимального управления.

Ключевые слова: геотермальная циркуляционная система, теплоноситель, тепловая энергия, оптимальное решение.

D. Dzavatov

MATHEMATICAL MODELING FOR THE PROCESS OF USING ENERGY IN THE GEOTHERMAL CIRCULATING SYSTEM.

Geothermal circulating system, thermal water, heat energy, optimal solution.

В технологии извлечения геотермальной энергии наиболее эффективным методом, позволяющим решать одновременно вопросы охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов термальных вод, является создание геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) (см. рис.). Общая схема ГЦС содержит: нагнетательную (4→1) и добычную (2→3) скважины, наземный комплекс технологического оборудования для отбора тепла, сеть трубопроводов для транспортировки теплоносителя от добычной скважины до потребителя, и от потребителя до нагнетательной скважины, подземный коллектор.

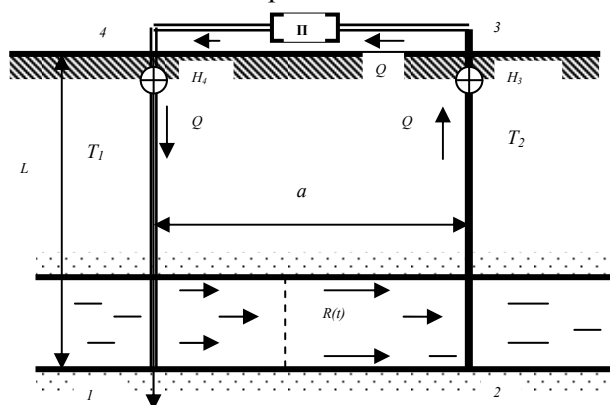


Схема геотермальной циркуляционной системы

Отработанный теплоноситель с дебитом Q и температурой T_1 поступает по нагнетательной скважине в подземный коллектор (1→2), где он нагревается и, двигаясь под действием сил конвекции и давления нагнетания попадает в добычную скважину с температурой T_2 , по которой с дебитом Q выводится на поверхность. При недостаточном давлении на устье добычных скважин дополнительная депрессия может создаваться погруженными насосами (H_3 , H_4). Добытый теплоноситель направляется в теплообменник (П), а из него через устройство водочистки и водоподготовки с помощью насосных установок – в нагнетательную скважину.

Такой метод извлечения геотермальной энергии из пласта резко повышает роль ресурсов глубинного тепла Земли в топливно-энергетическом балансе, так как извлекается практически все тепло, аккумулированное подземными водами, а также часть тепла, аккумулированного скелетом водовмещающих пород.

Основным недостатком ГЦС является принудительный характер закачки. Это связано с большими капитальными вложениями и эксплуатационными затратами.

Если первоначально не оценивались масштабы и высокая стоимость обратной закачки при использовании ГЦС, то с активным использованием термальных вод эти вопросы стали особо актуальными.

Эксплуатация ГЦС сопряжена с разного рода энергетическими затратами. В первую очередь они связаны с затратами на обратную закачку в пласт отработанной термальной воды. Эти затраты зависят от темпов эксплуатации ГЦС, то есть дебита. Поэтому в процессе эксплуатации ГЦС важное значение имеет правильный выбор основных технологических показателей, важнейшими из которых являются дебит Q и давление нагнетания насосов ΔP_H , которые связаны между собой уравнением [1]:

$$Q(t) = \frac{\Delta P_H + gL(\rho_1 - \rho_2)}{\varphi(t) + \xi}, \quad (1)$$

$$\text{где } \xi = \sum \xi_i = \lambda \rho \frac{2L + a}{4\pi^2 r_0^5},$$

$$\varphi(t) = 2\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}\right) \left\{ E_i\left(-\frac{r_0^2}{4\chi t}\right) - E_i\left(-\frac{a^2}{4\chi t}\right) \right\},$$

$$L - \text{длина скважины}; K_i = \frac{4\pi b k_i}{\mu_i}, \quad i = 1, 2,$$

λ – объемный гидравлический коэффициент; b – мощность пласта; r_0 – радиус скважины, a – расстояние между нагнетательной и добычной скважинами; ρ_i, k_i, μ_i – плотность, коэффициенты проницаемости у нагнетательной и добычной скважин, соответственно; χ – коэффициент пьезопроводности; $E_i(x)$ – интегральная экспоненциальная функция.

Срок эксплуатации ГЦС ограничен временем, в течение которого "температурный фронт" $R(t)$ от нагнетательной скважины достигает добычной скважины. Таким образом, τ – срок эксплуатации ГЦС, является функцией расстояния между нагнетательной и добычной скважинами, то есть $\tau = \tau(a)$.

В качестве переменной управления можно рассматривать ΔP_H , как показатель, которым легко управлять на практике. Но если в качестве управления рассматривать непосредственно ΔP_H , то получится, что эта переменная изменится скачкообразно, а это на практике не совсем приемлемо.

Поэтому будем считать, что ΔP_H уже не является "безынерционным" управлением. В частности, будем полагать, что ΔP_H может нарастать с максимальной скоростью w_2 и уменьшаться с максимальной скоростью w_1 .

Таким образом, интенсивность работы ГЦС определяется уравнением:

$$\frac{d\Delta P_H(t)}{dt} = w, \quad (2)$$

где $w_1 \leq w \leq w_2$, причем $w_1 < 0$, $w_2 > 0$.

Задается также и начальное условие

$$\Delta P_H(0) = \Delta P_{HO}. \quad (3)$$

На переменную ΔP_H накладывается естественное ограничение

$$\Delta P_H(t) \geq 0, \quad (0 \leq t \leq \tau). \quad (4)$$

Скорость движения "температурного фронта" задается уравнением [1]:

$$E_n = \int_0^\tau \phi(\Delta P_H + m_0) \left\{ \rho C_p \Delta T - (1 - \alpha T)(\Delta P_H + m_0) \phi \left(K_0 + K_3 \left(\ln \left(\frac{R^2}{a^2} \right) + \frac{2R^2}{a^2} \right) \right) - \Delta P_H \right\} dt, \quad (7)$$

где $K_0 = \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right) \ln \left(\frac{a^2}{r_0^2} \right)$, $K_3 = \left(\frac{1}{K_1} - \frac{1}{K_2} \right)$, $K_3 > 0$.

Таким образом, полученная оптимизационная задача с целевой функцией (7), дифференциальными уравнениями (2) и (5), с условиями (3), (4) и (6) – представляет собой задачу оптимального управления с нефиксированным временем и подвижным правым концом [2].

На основе решения поставленной задачи разработан следующий алгоритм построения оптимального решения.

1. Определение параметра β .

По заданным для конкретного месторождения параметрам на основе следующего уравнения определяем параметр β :

$$(X_2 - \frac{\beta \phi_0}{a})^2 = -4X_1(\frac{\beta \phi_0}{a} m_0 - X_3),$$

где $X_1(R) = \phi[X_0(R) - 1]$,

$$X_2(R) = \phi[z_0 - 2m_0 X_0(R) - m_0],$$

$$X_3(R) = \phi m_0 [z_0 + m_0 X_0(R)],$$

$$X_0(R) = \phi(\alpha T - 1) \left[K_0 + K_3 \left(\ln \frac{R^2}{a^2} + \frac{2R^2}{a^2} \right) \right],$$

$$z_0 = \rho C_p \Delta T$$

2. Определение ΔP_H^0 .

Определяем значение ΔP_H^0 по уравнению:

$$\Delta P_H^0 = \frac{\phi_0 \frac{\beta}{a} - X_2}{2X_1}.$$

$$\frac{dR}{dt} = s_0 \phi \frac{\Delta P_H + m_0}{R}, \quad (5)$$

где $R(t)$ – положение "температурного фронта" в момент времени t ; $s_0 = \gamma / 16\pi b$, $m_0 = gL(\rho_1 - \rho_2)$, $\phi(t) = 1/\phi(t) + \xi$, γ – коэффициент, зависящий от параметров термальной воды и пласта.

Начальное и конечное условия имеют вид:

$$R(0) = r_0, \quad R(\tau) \leq a. \quad (6)$$

Из последнего неравенства следует ограниченность срока эксплуатации ГЦС.

Эффективность работы ГЦС оценивается следующим энергетическим функционалом, который необходимо максимизировать:

3. Определение точки переключения оптимального управления t_0 .

В зависимости от знака выражения $(\Delta P_{HO} - \Delta P_H^0)$ определяем t_0 :

а) $\Delta P_H^0 > \Delta P_{HO}$, тогда существует точка переключения управления t_0 такая, что на промежутке $[0, t_0[$ будем иметь управление $w_{opt} = w_2$, а точка t_0 является решением уравнения: $\Delta P_H^0 = w_2 t + \Delta P_{HO}$.

Функция оптимального управления в этом случае имеет вид:

$$w_{opt}(t) = \begin{cases} w_2, t \in [0, t_0] \\ 0, t \in [t_0, \tau] \end{cases},$$

б) $\Delta P_H^0 = \Delta P_{HO}$, тогда функция оптимального управления имеет вид:

$$w_{opt}(t) = 0;$$

в) $\Delta P_H^0 = \Delta P_{HO}$, тогда точка переключения управления t_0 такая, что на промежутке $[0, t_0[$ управление равно $w_{opt} = w_1$, а сама точка t_0 определяется из уравнения:

$$\Delta P_H^0 = w_1 t + \Delta P_{HO}.$$

Функция оптимального управления в этом случае имеет вид:

$$w_{opt}(t) = \begin{cases} w_1, t \in [0, t_0] \\ 0, t \in [t_0, \tau] \end{cases}$$

4. Определение параметра τ .

Для определения параметра τ получено уравнение:

$$\tau = t_0 + \frac{a^2 - r_0^2 - \phi_0(2t_0(\Delta P_{H0} + m_0) + w_2 t_0^2)}{2(\Delta P_H^0 + m_0)\phi_0}.$$

Расчеты, проведенные для некоторых месторождений термальных вод Дагестана, показали, что оптимизация эксплуатации ГЦС позволяет получить более 15 % тепловой энергии, чем при постоянном режиме эксплуатации.

Главный вывод, который можно сделать на основе проведенного выше исследования, состоит в том, что оптимизация эксплуатации ГЦС на основе полученных зависимостей позволяет существенно повысить показатели ее эффективности, что, несомненно, скажется на привлекательности геотермальных ресурсов как источников тепловой энергии.

Полученные результаты могут быть использованы:

- при проектировании ГЦС с целью получения максимума тепловой энергии, и ее оптимизации;
- при оценке эффективности эксплуатации ГЦС;
- для прогнозирования динамических параметров эксплуатации ГЦС (давления закачки насосов – ΔP_H , дебита скважины – $Q(t)$, полезной энергии функционирования ГЦС – $E_n(t)$, энергии на обратную закачку в пласт теплоносителя – $E_{зак}$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джаватов, Д. К. Задача оптимального управления для термодинамической модели ГЦС // Д. К. Джаватов / Вестник ДНЦ РАН, 1998. – № 2. – С. 42–47.
2. Болтянский, В. Г. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1969. – 408 с.

УДК 681.3.06+519.68

Г. В. Заручевская

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ
ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ
ЛОКАЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СТИЛЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Поморский государственный университет, г. Архангельск (gala@math.pomorsu.ru)

Показано вложение данных в тороидальную структуру МЛП – алгоритма решения сеточной задачи для разностной схемы расщепления трехмерного уравнения теплопроводности для массово-параллельных процессоров с иллюстрацией межпроцессорных обменов. Рассмотрено поэтапное выполнение алгоритма.

Ключевые слова: мелкозернистый локально-параллельный алгоритм, массово-параллельные системы, однородные вычислительные системы.

G. V. Zaruchevskaya

**IMPLEMENTATION OF THE SOLUTION OF DIFFERENCE SCHEME OF A TWO -DIMENSIONAL HEAT
CONDUCTION EQUATION SPLITTING WITH FINE-GRAINED LOCAL PARALLEL PROGRAMMING STYLE**

Embedding data of the fine-grained local parallel algorithm for the solution of difference scheme of the splitting a two - dimensional heat conduction equation in toroidal lattice for mass-parallel processors was shown. Description of interprocessor exchanges has been done. Stages of the algorithm execution have been considered.

Fine-grained local parallel algorithm, mass -parallel processors, homogeneous computer system.

Параллелизм супер-ЭВМ – магистральный путь развития вычислительной техники. Господствующим способом распараллеливания задач до сих пор является крупноблочное. При этом задача разбивается на большие подзадачи (блоки), предназначенные для параллельного решения на небольшом числе процессоров. Соответственно ориентированы и параллельные алгоритмы численного решения задач [1].

Очевидно, что с ростом числа процессоров блоки измельчаются, и вычисления в подавляющем большинстве случаев будут идти медленнее: параллелизм вырождается. Избежать вырождения можно только при условии, что обмены происходят и одновременно, и локально, то есть физическое расстояние между взаимодействующими процессорами мало и не зависит от размера задачи.

При этом задача должна быть разбита на множество небольших однотипных подзадач, которые будут исполняться параллельно на отдельных вычислительных машинах (ВМ). Данные максимально распределены по системе, а программы в каждой ВМ используют минимально возможные наборы данных. При мелкозернистом программировании решающее значение имеет организация обменов данными между ВМ. В общем случае число обменов имеет тот же порядок, что и число вычислительных операций. Таким образом, мелкозернистость, или массовое распараллеливание означает, что в каждом вычислительном процессе в каждый момент времени содержится минимальное число команд (тело внутреннего цикла) и данных (элементы массивов, необходимые для вычисления одного витка цикла). Та-

кой подход к распараллеливанию алгоритмов носит название мелкозернистого локально-параллельного программирования (МЛПП).

В работах профессора В. А. Воробьева рассмотрены три обязательных условия, при которых не происходит снижения производительности МЛПП [2]:

1. Локальность взаимодействий – когда обмен данными происходит только в пределах ограниченного физического и структурного радиуса, независимо от размеров задачи и системы.

2. Параллелизм взаимодействий – когда все возможные в данный момент обмены совершаются параллельно и одновременно с процессом счета.

3. Количество глобальных операций не должно влиять на оценку временной сложности задачи.

При описании алгоритма параллельных вычислений на ЭВМ класса MIMD предполагается, что MIMD-машина состоит из p одинаковых процессоров, каждый из которых обладает определенным объемом своей локальной памяти (одинаковым для всех параллельных процессоров) и способен осуществлять численную обработку информации в автономном и управляемом режимах.

Отметим существенные особенности архитектуры MIMD-машины, при которых стиль МЛПП-программирования наиболее эффективен.

1. Парное соединение процессоров осуществляется за очень короткий промежуток времени и поэтому оно не учитывается.

2. Все, возможные в данный момент обмены машинными словами, совершаются параллельно и одновременно с процессом счета за время, сравнимое со временем выполнения одной арифметической операции (из-за близости связанных процессоров в физическом пространстве).

3. Имеется возможность программировать структуру межпроцессорных связей.

Обычно MIMD-машины имеют следующие структуры межпроцессорных связей: линейка, кольцо, кольцо с хордами, сетка (решетка), гиперкуб, дерево. Тем не менее, в теории однородных вычислительных структур [3], помимо вышеперечисленных типов структур межпроцессорных связей, рассматривается тор. Заметим, что эта евклидова структура изоморфна сетке (решетке) процессоров, в которой ВМ на противоположных сторонах решетки связаны регулярным каналом. При этом тор позволяет легко масштабировать сетку другой, отличающейся от него

размерности. Действительно, пусть сетка $a \times b$ вкладывается в тор $C \times D$, $a < C$, $b < D$. Согласно [3], такую тороидальную евклидову структуру будем обозначать $E_2\{C, D\}$. Каждому процессору тора (x, y) поставим в соответствие ячейку сетки $(x + Ck, y + Dn)$, $k, n \in N$. При таком распределении сеточных узлов в тороидальной структуре параллельный алгоритм соответствует МЛПП-стилю. Тороидальная конструкция вложима в физическое пространство, и, кроме того, обеспечивает теплоотвод: внутренняя поверхность тора может быть использована как расширитель для испарения хладагента.

Разработка и исследование МЛПП для задач математической физики – одно из актуальных направлений современного параллельного программирования. В [4] для этих целей применяются модели клеточных автоматов.

Целью настоящей работы является вложение данных МЛПП-алгоритма решения сеточной задачи для разностной схемы расщепления уравнения теплопроводности для массиво-параллельных процессоров в тороидальную структуру с иллюстрацией межпроцессорных обменов.

Кратко изложим физическую интерпретацию задачи.

Постановка задачи. В случае задачи Коши для двумерного уравнения теплопроводности

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + f(x, y, t), \quad 0 < t < T, \quad -\infty < x, y < \infty, \\ u(x, y, 0) &= \psi(x, y) \end{aligned} \right\}$$

разностную схему выберем так:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\tilde{u}_{mn} - u_{mn}^p}{\tau} &= \frac{1}{2} (\Lambda_{xx} u_{mn}^p + \Lambda_{yy} \tilde{u}_{mn}), \\ \frac{u_{mn}^{p+1} - \tilde{u}_{mn}}{\tau} &= \frac{1}{2} (\Lambda_{xx} u_{mn}^{p+1} + \Lambda_{yy} \tilde{u}_{mn}), \\ u_{mn}^0 &= \psi(x_m, y_n). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для вычисления u^{p+1} по схеме (1) переменных направлений надо сначала при каждом фиксированном m решить неявное уравнение для $\tilde{u}_{mn}$, в которое m входит как параметр. Потом для вычисления u_{mn}^{p+1} надо решить второе уравнение (1), неявное относительно u_{mn}^{p+1} , в которое n входит как параметр. Преобразуем схему (1):

$$\left. \begin{aligned} \tilde{u}_{m,n+1} - 2\left(1 + \frac{h^2}{\tau}\right)\tilde{u}_{m,n} + \tilde{u}_{m,n-1} &= -u_{m+1,n}^p + 2\left(1 - \frac{h^2}{\tau}\right)u_{m,n}^p - u_{m-1,n}^p \\ u_{m+1,n}^{p+1} - 2\left(1 + \frac{h^2}{\tau}\right)u_{m,n}^{p+1} + u_{m-1,n}^{p+1} &= -\tilde{u}_{m,n+1} + 2\left(1 - \frac{h^2}{\tau}\right)\tilde{u}_{m,n} - \tilde{u}_{m,n-1} - h^2 f_{mn}^{p+1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим параллельный алгоритм решения сеточной задачи для уравнения теплопроводности по схеме переменных направлений.

Этап 1. Хост-машина рассчитывает τ/h^2 , $2(1+\tau/h^2)$ и $2(1-\tau/h^2)$, рассылает эти значения в каждый процессор тороидальной структуры; исходные данные u_{mn}^0 и $h^2 \cdot f_{mn}^p$ рассылаются в процессоры $(\text{mod}(m,C), \text{mod}(n,D))$. Так же машина вычисляет $\aleph_k$ и рассылает в процессоры $(\text{mod}(k,C), \text{mod}(n,D))$ и $(\text{mod}(m,C), \text{mod}(k,D))$; $m, n, k=1..(N-1)$.

Этап 2. Вычислим правую часть первого уравнения (2) в подобласти $\omega^{1,1}$. В каждом горизонтальном кольце системы сдвигом вправо передаются значения $u_{m,n}$ соседним процессорам, затем аналогичным сдвигом осуществляется передача этих данных влево. Далее каждый процессор с номером m рассчитывает $-u_{m+1,n}^p + 2(1 - \frac{h^2}{\tau})u_{m,n}^p - u_{m-1,n}^p = F_{m,n}^p$. Расчет производится за 3 такта параллельно. Дополнительно затрачивается время на 2 сдвига.

Подобным образом вычисляются значения $F_{m,n}^p$ в остальных площадках $\omega^{k,n}$. На весь этап затрачивается время

$$(3t_{\text{оп}} + 2t_{\text{сдв}}) \cdot \left(\left\lceil \frac{M-1}{C} \right\rceil + 1 \right) \cdot \left(\left\lceil \frac{N-1}{D} \right\rceil + 1 \right).$$

Заметим, что если рассчитываются значения в приграничных площадках $\omega^{1,s}$ или $\omega^{[(M-1)/C]+1,s}$, то процессоры кольцевой структуры с номерами 1 и C друг с другом данными не обмениваются.

Этап 3. В каждом вертикальном кольце процессоров, составляющем тор, рассчитываются $\tilde{u}_{mn}$, $m=1..C$. Согласно методу прогонки в процессорах рассчитываются: $\wp_1$ в процессорах $(\text{mod}(m,C), 1)$; $\wp_{N-1}$ в процессорах $(\text{mod}(m,C), \text{mod}(N-1,D))$. Значение $\wp_1$ передается параллельным сдвигом вверх в каждой кольцевой структуре для расчета $\wp_2$ по формуле $\wp_k = (\wp_{k-1} - F_{m,k}) \aleph_k$, $k=2..N-2$ в процессорах $(\text{mod}(k,C), \text{mod}(m,D))$. Подобно расчету $\wp_{N-2}$, находятся остальные $\wp_k$, $k=2..N-2$. Затем вычисляется $\tilde{u}_{mN-1} = (\wp_{N-1} + \aleph_{N-1} \cdot \wp_{N-2}) / (1 - \aleph_{N-1} \cdot \aleph_{N-2})$ в процессорах $(\text{mod}(m,C), \text{mod}(N-1,D))$ и сдвигом вниз пересылаются соседним процессорам для расчета $\tilde{u}_{mN-2}$ по формуле $\tilde{u}_{mn} = \aleph_n \cdot \tilde{u}_{mN-1} + \wp_n$). Аналогично расчету $\tilde{u}_{mN-2}$ находятся остальные $\tilde{u}_{mn}$, $n=(N-2)..2$.

Подобным образом находится следующая партия $\tilde{u}_{mn}$, $m=(C+1)..(2C)$; затем при $m=(2C+1)..(3C)$ и т. д., пока не будет обчислена

$$\text{последняя партия при } m = \left\lceil \frac{M-1}{C} \right\rceil \cdot (M-1)$$

Этап 4. Рассчитаем правую часть второго уравнения (2) в подобласти $\omega^{1,1}$. В каждом кольце, образованном процессорами P_{mn} с одинаковыми номерами m сдвигом вверх передаются значения $u_{m,n}$ соседним процессорам, затем аналогичным сдвигом осуществляется передача этих данных в противоположном направлении. Далее каждый процессор P_{mn} выполняет арифметические операции по формуле $-\tilde{u}_{m,n+1} + 2(1 - \frac{h^2}{\tau})\tilde{u}_{m,n} - \tilde{u}_{m,n-1} - h^2 f_{mn}^{p+1} = \tilde{F}_n^{p+1}$. Затрачено время на выполнение шести арифметических операций и двух сдвигов.

Подобным образом вычисляются значения $Y_{m,n}^p$ в остальных площадках $\omega^{k,n}$. На весь этап затрачивается время

$$(6t_{\text{оп}} + 2t_{\text{сдв}}) \cdot \left(\left\lceil \frac{M-1}{C} \right\rceil + 1 \right) \cdot \left(\left\lceil \frac{N-1}{D} \right\rceil + 1 \right).$$

При расчете значений на приграничных площадках $\omega^{k,1}$ или $\omega^{k,[(N-1)/D]+1}$ процессоры на кольцевых структурах со вторыми номерами 1, D друг с другом данными не обмениваются.

Этап 5. В каждом горизонтальном кольце процессоров, составляющих процессорную матрицу, согласно методу прогонки, рассчитываются u_{mn} . Сначала в процессорах $(1, \text{mod}(n,C))$ вычисляются $\wp_1 = (u_{0,n} - F_{1,n}) \aleph_1$, а в процессорах $(\text{mod}((M-1),C), \text{mod}(n,C))$ — $\wp_{M-1} = (u_{N,n} - F_{M-1,n}) \aleph_{M-1}$. Значение $\wp_1$ передается параллельным сдвигом вправо в каждой кольцевой структуре для расчета $\wp_2$ по формуле $\wp_k = (\wp_{k-1} - F_{k,n}) \aleph_k$, $k=2..M-2$ в процессорах $(\text{mod}(k,C), \text{mod}(n,D))$, аналогично рассчитываются остальные $\wp_k$. Затем вычисляются $u_{M-1,n} = (\wp_{M-1} + \aleph_{M-1} \cdot \wp_{M-2}) / (1 - \aleph_{M-1} \cdot \aleph_{M-2})$ в процессорах $(\text{mod}(M-1,C), \text{mod}(n,D))$, значение сохраняется и передается параллельным сдвигом влево для определения $u_{M-2,n}$ по формуле $u_{k,n} = \aleph_k u_{k+1,n} + \wp_k$. Аналогично, используя ту же формулу, находятся остальные u_{mn} .

Вычислительный процесс заканчивается, когда выполнен расчет последнего слоя u^T . Цикл повторяется T раз.

В рассмотренном алгоритме только второй и четвертый этапы выполняются в мелкозернистом локально-параллельном стиле. Третий и пятый этапы не являются мелкозернистыми. Легко видеть, что при такой организации параллельных вычислений большинство процессоров на этапах 3 и 5 простаивают. Этот недостаток можно исправить, вычисляя прогоночные коэффициенты ϕ_k , а затем и значения $\tilde{u}_{mn}$ (u_{mn}) "волной", то есть каждая i -я вертикальная кольцевая структура на третьем этапе одновременно вычисляет значения $\tilde{u}_{i,n}$, $\tilde{u}_{i+C,n}$, $\tilde{u}_{i+2C,n}$, ..., $\tilde{u}_{i+C(D-1),n}$, затем $\tilde{u}_{i+CD,n}$, $\tilde{u}_{i+C(D+1),n}$, $\tilde{u}_{i+C(D+2),n}$, ..., $\tilde{u}_{i+C(2D-1),n}$ и т. д. Аналогично каждая j -я горизонтальная кольцевая структура на пятом этапе параллельно вычисляет значения $u_{m,j}$, $u_{m,j+D}$, $u_{m,j+2D}$, ..., $u_{m,j+D(C-1)}$, затем $u_{m,j+DC}$, $u_{m,j+D(C+1)}$, $u_{m,j+D(C+2)}$, ..., $u_{m,j+D(2C-1)}$ и т. д. Такой "модернизированный" алгоритм на всех этапах (не связанных с глобальными операциями) отвечает требованиям локальности и мелкозернистости.

Для "модернизированного" варианта затрачивается время на организацию параллельных вычислений в размере

$$O\left\{29 \cdot \frac{(N-1)(M-1)}{CD} + (N+D+M+C-2)\right\} T_{\text{такт}},$$

его ускорение по сравнению с наилучшим последовательным алгоритмом равно

$$S'_{CD} \gg \frac{25(N-1)(M-1)T}{29 \frac{M-1}{C} \frac{N-1}{D} T} = \frac{25}{29} CD,$$

а эффективность по отношению к наилучшему последовательному алгоритму составит

$$E'_{CD} = \frac{S'_{CD}}{CD} \approx \frac{25}{29} > 0,8$$

(здесь $t_{\text{ар.операции}} \approx t_{\text{сдвиг}} \approx t_{\text{такт}}$). При $t_{\text{сдвиг}} \approx 0$ "модернизированный" вариант достигает максимального параллелизма, то есть $E'_{CD} \approx 1$.

Очевидно, что лучшими характеристиками обладает модернизированный алгоритм.

В заключение отметим, что существуют другие алгоритмы распараллеливания методов решения разностных схем гиперболических уравнений, решаемых с помощью метода прогонки [5]. Однако эти алгоритмы крупноблочные и к ним трудно применима технология мелкозернистого локально-параллельного программирования, и, как правило, реализуются либо на кластерах, либо на планарных неразрезных процессорных матрицах. Предложенную идею можно использовать для распараллеливания других методов решения разностных схем гиперболических уравнений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воеводин, В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.: ил.
2. Воробьев, В. А. Об эффективности параллельных вычислений / В. А. Воробьев // Автометрия. – 2000. – № 1. – С. 50–58.
3. Воробьев, В. А. Теория однородных вычислительных систем: однородные структуры / В. А. Воробьев. – Архангельск: Изд-во ПГУ им. М. В. Ломоносова, 2001. – 95 с.
4. Бандман, О. Л. Мелкозернистый параллелизм в математической физике / О. Л. Бандман // Программирование. – 2001. – № 4. – С. 12–25.
5. Молчанов, И. Н. Параллельные вычисления в методах сеток решения задач математической физики на MIMD-машинах / И. Н. Молчанов, Е. Ф. Галба. – Киев, 1990. – 41 с.

УДК 681.5.015

Д. И. Крыжановский УНИФИЦИРОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА БАЗЕ XML- И PMML-ДОКУМЕНТОВ

Волгоградский государственный технический университет (dikryzhanovsky@yandex.ru)

В настоящей статье рассматривается вопрос расширения формата PMML, разработанного для представления результатов построения математических моделей идентификации для предоставления возможности обмена ими между системами анализа данных. Предлагаемое расширение формата ориентированно на широкий класс моделей идентификации.

Ключевые слова: модель идентификации, PMML, системы анализа данных

D. I. Kryzhanovsky A UNIFIED REPRESENTATION OF MATHEMATICAL FORMULA MODEL BASED ON XML AND PMML DOCUMENTS

The present paper is devoted to the extension of PMML format that was developed for representing the results of building mathematical formula models in order to data analysis software systems be able to exchange the data between themselves. The presented format extension is designed for a wide range of the models.

Mathematical formula model, PMML, data analysis software and systems

В настоящее время существует большое число программных средств, выполняющих построение моделей идентификации по экспериментальным данным. Многие из них сохраняют результаты моделирования в свои собственные форматы документов, что делает обмен моделями, построенными разными системами, достаточно затруднительным. Очевидно, что в такой ситуации необходима разработка унифицированного представления информации о моделях, которые могли бы использоваться разными приложениями.

Относительно недавно компании, входящие в Data Mining Group, разработали и опубликовали стандарт PMML (Predicted Model Markup Language), предназначенный для унифицированного представления моделей, построенных средствами Data Mining [1, 5]. Этот стандарт, основанный на использовании языка разметки XML, задает общие правила описания не только моделей идентификации, но и широкого класса моделей вообще. Однако этот стандарт в его современном виде (в 2007 г. была опубликована версия 3.2) предоставляет весьма ограниченные возможности описания моделей идентификации, пригодные только для линейных и полиномиальных функций, а также сжа-

того протоколирования предварительного анализа данных.

Так как этих средств явно недостаточно для описания большого числа строящихся на практике различных моделей идентификации, предлагается (на базе PMML) расширенный вариант унифицированного описания моделей. Использование PMML позволяет, с одной стороны, оставаться в рамках подхода, который получает все большее признание среди производителей программного обеспечения, а с другой – сосредоточиться только на моделях идентификации, воспользовавшись для совместимости с другими видами предсказательных моделей средствами самого стандарта.

Описание спецификации стандарта PMML представлено в виде XSD-схемы, из-за чего его восприятие оказывается затруднительным для неспециалистов в этой области. Поэтому кратко опишем стандарт (с точки зрения представления моделей идентификации) на примере (XML-представление данных достаточно наглядное и не требует большого количества пояснений), а также проанализируем достоинства и недостатки этого стандарта.

Общая структура PMML-документа имеет следующий вид:

```
<?xml version="1.0"?>
<PMML version="3.2"
  xmlns="http://www.dmg.org/PMML-3_2"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" >
  <Header copyright="Example.com"/>
  <DataDictionary> ... </DataDictionary>
  ... a model ...
</PMML>
```

Элемент Header содержит общую описательную информацию, не отражающую сам процесс моделирования и его результаты. Элемент DataDictionary описывает общую структуру исходных данных, для категориаль-

ных переменных перечисляются их возможные значения. Так как в случае построения моделей идентификации работа ведется большей частью с непрерывными величинами, в общем виде DataDictionary для них представляется так:

```
<DataDictionary numberOfFields="4">
  <DataField name="age" optype="continuous" dataType="double"/>
  <DataField name="salary" optype="continuous" dataType="double"/>
  <DataField name="claims" optype="continuous" dataType="integer"/>
</DataDictionary>
```

Здесь numberOfFields задает общее число анализируемых переменных, элемент DataField описывает каждую из них в отдельности, задавая имя (name), тип (optype, всегда должен быть continuous, то есть непрерывный) и тип значения (dataType, либо вещественный double, либо целый integer).

Один и тот же PMML-документ может содержать несколько моделей (которые должны различаться по уникальным именам). Поэтому после блока DataDictionary идет последовательность из одного или нескольких блоков RegressionModel:

```
<RegressionModel
  modelName="Sample for linear regression"
  functionName="regression"
  algorithmName="linearRegression"
  targetFieldName="number_of_claims">
  ...
</RegressionModel>
```

* Используемые здесь примеры взяты с сайта www.dmg.org.

modelName определяет имя модели, functionName для регрессионных моделей должно быть regression, algorithmName в стандарте PMML может в этом случае принимать одно из двух значений: stepwisePolynomialRegression для полиномиальных моделей и linearRegression для линейных. Нако-

нец, targetFieldName – это имя выходной переменной, взятой из словаря данных DataDictionary. Вслед за общими полями блока RegressionModel идет блок MiningSchema, который показывает, какие именно переменные из словаря данных будут использоваться в дальнейшем при построении модели:

```
<MiningSchema>
  <MiningField name="age" optype="continuous" />
  <MiningField name="work" optype="continuous" />
  <MiningField name="y" optype="continuous" usageType="predicted" />
</MiningSchema>
```

Здесь также атрибуты name и optype определяют имя и тип переменной, для выходной переменной устанавливается usageType="predicted". Стандарт PMML определяет блок Transformations, где описываются процедуры предварительной подготовки данных. Однако в нем отсутствуют полностью преобразования, применяемые в случае моделей идентификации, а именно: приведение данных

к распределению нормального вида, стандартизация данных (масштабирование и центрирование относительно нуля), линеаризация для псевдолинейных моделей и т. д. Блок Statistics описывает выборочные характеристики (статистики) исходных данных. Наконец, собственно построенная модель (ее коэффициенты) представляются следующим образом:

```
<RegressionTable intercept="132.37">
  <NumericPredictor name="age"
    exponent="1" coefficient="7.1"/>
  <NumericPredictor name="salary"
    exponent="1" coefficient="0.01"/>
</RegressionTable>
```

Здесь атрибут intercept задает значение свободного члена уравнения регрессии, атрибут exponent определяет степень переменной в уравнении, атрибут coefficient – коэффициент при соответствующем слагаемом.

Как видно, PMML позволяет описывать в стандартизованном виде модели самых разных форм, определяя общую методологию и последовательность моделирования. Но в то же время в стандарте уделено недостаточное внимание моделям идентификации, его средств явно недостаточно для их описания. Связано это во многом с тем, что производители программного обеспечения Data Mining уделяют недостаточно внимания этому классу моделей. Их продукты ориентированны, как правило, на анализ данных в экономической и социальной сферах, где модели идентификации применяются редко (а если и применяются, то простой формы). Таким образом, в PMML отсутствуют многие важные элементы, необходимые для описания моделей идентификации:

- протоколирование этапа предварительной обработки данных;
- представление моделей, отличных от линейных и полиномиальных (различных псевдо-

линейных и сугубо нелинейных, которые на практике встречаются чаще, чем линейные);

- протоколирование этапа оценивания моделей со всеми необходимыми показателями.

В рамках работы над автоматизированной системой MinerDelve нами была сформулирована общая формализованная схема построения моделей идентификации, включающая в себя все необходимые процедуры. С одной стороны, эта схема соответствует стандарту построения моделей CRISP-DM (фазы 3, 4 и 5), а с другой, она развернуто представляет всю последовательность моделирования (см. рис.) [1, 2, 3]. Исходными данными для моделирования будем считать корректно заполненную матрицу наблюдений, то есть такую матрицу, в которой во всех столбцах содержится одинаковое количество строк, нет пропущенных или недопустимых (нечисловых) значений.

Важным аспектом является вопрос представления моделей произвольной структуры. Необходимо такое представление, которое бы позволяло, выйдя за рамки жестко заданных типов моделей (линейных и полиномиальных), описывать модели идентификации как можно более широкого класса.



Общая схема процесса построения моделей идентификации*

Поскольку большинство моделей представляют собой элементарные функции (с точки зрения математики [4]), предлагается представлять их в виде деревьев, узлами которых могут быть основные элементарные функции или операции, а листьями – переменные функции, ее константы и параметры. Например, функция $y = 2\sin(\pi x + z)$ может быть представлена следующим деревом:

* Стандартизация величины X подразумевает две операции: приведение значений величины в некоторый заданный диапазон (например, (0;1)) или преобразование $X^* = (X - m) / Dx$, где m – среднее выборочное значение величины X , Dx – среднеквадратическое отклонение.

операция «умножение»

- параметр $a = 2$
- функция «синус» $\sin$
 - операция «сложение»
 - операция «умножение»
 - параметр $a = \pi$
 - переменная x
- переменная z

Так как структура любого XML-документа (в том числе и PMML) представляет собой дерево, древовидное представление функций легко может быть транслировано в XML-блок. Однако, несмотря на универсальность такого подхода, нужно помнить, что его использование сопряжено с замедлением вычислений по сравнению с жестко заданными функциями. Поэтому в тех случаях, когда у исследователя имеются предварительные соображения о структуре модели, целесообразнее воспользоваться библиотекой стандартных функций, если она поддерживает необходимые пользователю уравнения.

Исходя из вышесказанного, предлагаются следующие расширения XML-описания моделей идентификации.

1. Поддержка представления моделей произвольного вида в формате:

```

<RegressionTree>
  <Node type="<node_type>"
    value="<node_value>">
  </RegressionTree>
  
```

Элемент Node соответствует узлу древовидного представления функции, type – это тип узла, function – основная элементарная функция (value принимает значения на множестве {pow *, exp, ln, sin, tg, arcsin, arctg}), operator – оператор (value ∈ {+, -, ×, композиция функций}), variable – переменная (значение здесь – индекс переменной), parameters – параметр, подлежащий определению (значение здесь – индекс параметра), constant – уже известная константа функции (значение – значение константы). Если элемент Node описывает узел, а не лист, он может содержать в себе другие элементы Node.

2. Поддержка протоколирования предварительной обработки данных в виде {процедура – параметры}:

```

<DataPreprocessingProcedure>
  <Name><Имя процедуры></Name>
  ... список параметров ...
  <Parameter name = "<имя>" value =
    "<значение>">
</ DataPreprocessingProcedure >
  
```

* Степенная функция

3. Поддержка протоколирования этапа оценки построенных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барсегян, А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 284 с.: ил.
2. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие для вузов. –

- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.: ил.
3. Петрович, М. Л. Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ: Практическое руководство. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 199 с.
4. Шипачёв, В. С. Высшая математика: учеб. для вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. школа, 1996. – 479 с.: ил.
5. PMML 3.2 – General Structure of a PMML Document [Электронный ресурс]. – [2007]. – Режим доступа: <http://www.dmg.org/v3-2/GeneralStructure.html>
6. PMML 3.2 – Regression [Электронный ресурс]. – [2007]. – Режим доступа: <http://www.dmg.org/v3-2/Regression.html>

УДК 658.332

Д. В. Строганов*, С. О. Польшин, О. Л. Снеткова**** **МОДЕЛИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ** **В УПРАВЛЯЕМОМ ИМИТАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, (cad@vstu.ru)

**МАДИ (ГТУ), г. Москва

Рассматривается возможность совместного использования процессов поисковой оптимизации и имитации для решения задачи параметрического синтеза. Доказывается возможность применения получаемой таким образом управляемой имитационной модели, использующей алгоритмы стохастической аппроксимации в качестве алгоритмов управления. Приведен формализованный алгоритм функционирования управляемой имитационной модели.

Ключевые слова: параметрический синтез, имитационная модель, процесс управления, стохастическая аппроксимация, оптимизация.

D. V. Stroganov, S. O. Polshin, O. L. Snetkova **STOCHASTIC APPROXIMATION MODELS IN THE CONTROLLED SIMULATION EXPERIMENT**

Possibility of the combined use of search optimization and simulation processes for the decision of parametric synthesis problem is considered. Possibility of application obtained in that way controlled simulation model, using stochastic approximation algorithms as the algorithms of control, is argued. Abstracted algorithm of the functioning of the controlled simulation model is described.

Parametric synthesis, simulation model, control process, stochastic approximation, optimization.

Задача параметрического синтеза заключается в выборе значений варьируемых параметров, доставляющих экстремум целевой функции. Область значений варьируемых параметров определяется в соответствии с возможностями изменения исследуемой системы. Для вычисления значений целевой функции используется имитационная модель системы. Предполагается, что имитационная модель позволяет вычислять целевую функцию для всех значений варьируемых параметров в заданной параметрической области. Для каждого значения параметра модель однозначно определяет значение целевой функции:

$$Y=Y(X) \quad (1)$$

$X \in XX$ – область значений варьируемых параметров; $Y \in YY$ – область значений целевой функции.

В задачах максимизации целью эксперимента с моделью является поиск оптимальных значений параметров [35, 66]:

$$X^* = \arg \max_{X \in XX} Y(X). \quad (2)$$

При каждом фиксированном значении X модель позволяет вычислять оценку целевой функции с любой наперед заданной степенью точности.

Однако в задачах параметрического синтеза требуется количество оценок, как правило, ве-

лико. С учетом больших затрат времени на получение каждой оценки в имитационной модели, решение задачи синтеза может оказаться невозможным. Поэтому необходимо получать оценки целевой функции на основе анализа коротких интервалов выходных имитационных процессов, которые в этом случае оказываются нестационарными.

Поскольку процедура поиска экстремума существенно усложняется, предлагается совместить процессы поисковой оптимизации и имитации в единой модели, которую будем называть управляемой имитационной моделью, а процесс, порожденный ею, назовем управляемым имитационным процессом.

В ходе функционирования управляемой имитационной модели значения варьируемых параметров целенаправленно изменяются в сторону увеличения целевой функции на основании грубых оценок, полученных в локальной окрестности исследуемой точки. Однако при этом достаточно велика вероятность выбора ошибочного направления. Таким образом, управляемая имитационная модель помимо случайного процесса поведения исследуемой характеристики определяет и процесс случайного блуждания в пространстве управляемых параметров.

В дальнейшем будем предполагать, что:

а) процессы $\xi_X(t)$ стационарны. Нестационарность возникает лишь за счет фиксированного начального состояния процесса;

б) независимо от начального состояния существует единственное предельное распределение процесса $\forall s_j \lim_{t \rightarrow \infty} \xi_X(t/s_j) = \xi_X$. Значение предела зависит лишь от значения управляемого параметра X ;

с) целевая функция управляемой модели является математическим ожиданием предельного случайного процесса ξ_X

$$Y(X) = M\xi_X \quad (3)$$

д) процессы $\xi_X(t)$ эргодичны и $\forall X \in S_U \quad M_{\xi_X} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \xi_X(t) dt$, где $\hat{\xi}_X(t)$ – выборочная траектория случайного процесса $\xi_X(t)$;

е) для оценки целевой функции используется среднеинтегральная характеристика процесса:

$$\hat{Y}(X) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi_X(t|s) dt. \quad (4)$$

Из вышеуказанных предположений следует:

$$\forall s \in S \quad Y(X) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \xi_X(t|s) dt. \quad (5)$$

Однако, поскольку значения T ограничены, то оценки $\hat{Y}(X)$ являются смещенными. Назовем T – *интервалом управления*. Будем полагать, что в ходе моделирования значение X остается неизменным в течение интервала управления и изменяется в моменты окончания интервала управления в соответствии с полученными интегральными оценками $\hat{Y}(X)$ на интервале управления T .

Будем называть процесс $\xi_X(t)$, определенный на пространстве S , *основным процессом*. Введем понятие *процесса управления* $\eta(t)$. Процесс $\eta(t)$ задан на пространстве S_U и определяет значения X , изменяемые в моменты времени t_i , соответствующие моментам окончания интервалов управления. В предположении, что на интервале управления значение X остается неизменным, возможно получение характеристик процесса управления. Будем предполагать, что значение T – постоянно на всем интервале исследования.

В качестве алгоритмов управления выбраны алгоритмы стохастической аппроксимации.

Пусть X векторная переменная в R^N , для которой выполняются следующие условия.

1. Каждому значению X соответствует случайная величина Y с математическим ожиданием $MY(X)$.

2. Будем полагать, что $MY(X)$ имеет единственный максимум в точке X^* (в основном, без ограничения общности будем полагать $X^* = 0$).

3. $MY(X)$ является непрерывной функцией с непрерывными первыми и вторыми производными. Обозначим их $B(X)$ и $A(X)$ соответственно.

4. Вторые частные производные $\partial^2 MY / \partial x_i \partial x_j$ ограничены на всей области.

5. Пусть $\{a_k\}$ и $\{c_k\}$ – две последовательности положительных чисел, удовлетворяющие условиям:

$$\begin{aligned} \text{а) } \lim_{k \rightarrow \infty} c_k = 0, \text{ б) } \sum_1^\infty a_k = \infty, \text{ в) } \sum_1^\infty a_k \cdot c_k < \infty, \\ \text{г) } \sum_1^\infty \left(\frac{a_k}{c_k} \right)^2 < \infty \end{aligned} \quad (6)$$

6. Строится рекуррентная последовательность случайных векторов X :

Переход по градиенту:

$$X_{k+1} = X_k + a_k \frac{\Delta Y_k(c_k)}{c_k}.$$

Переход по знаку приращения:

$$X_{k+1} = X_k + a_k \cdot \text{sign}(\Delta Y_k). \quad (7)$$

7. Вектор ΔY_k определяется на основании реализации случайных величин в локальной окрестности точки X_k в соответствии с одним из планов Π_1 , Π_2 или Π_3 :

Π_1 – центральный план:

$$\Pi_1 = [X_k, X_k + c_k E_1, \dots, X_k + c_k E_i, \dots, X_k + c_k E_N]^T; \quad (8)$$

Π_2 – симметричный план:

$$\Pi_2 = [X_k + c_k E_1, X_k - c_k E_1, \dots, X_k + c_k E_N, X_k - c_k E_N]^T. \quad (9)$$

Π_3 – план с центральной точкой:

$$\Pi_3 = [X_k, X_k + c_k E_1, X_k - c_k E_1, \dots, X_k + c_k E_N, X_k - c_k E_N]^T. \quad (10)$$

где $E_i = \begin{bmatrix} 0, & 0, & \dots & 1, & \dots & 0 \end{bmatrix}^T$.

Как следует из (10), для определения координат вектора ΔY_k необходимо произвести L замеров значения Y . Величина L равна: $N+1$ – для плана Π_1 , $2N$ – для плана Π_2 , $2N+1$ – для плана Π_3 .

$\hat{\xi}_{X_k}(t)$ – значение параметра в окрестности точки X_k , соответствующее l -му замеру, будем обозначать как $X_{k,l}$. Таким образом, для определения координат вектора ΔY_k необходимо построить семейство процессов $\left(\xi_{X_{k,l}}(t|s_k) \right)_{l=1}^L$.

В результате проведенной выше формализации алгоритм функционирования управляемой имитационной модели представляет собой следующую последовательность действий:

1. Начальная настройка модели и выбор начального значения управляемого параметра X_0 , $k=0$.

2. При заданном значении параметра X_k в его локальной окрестности в соответствии с одним из планов Π_i ($i=1,2,3$) генерируются выборочные траектории $(\xi_{X_k,l}(t|s_k))_{l=1}^L$ длительностью T каждая из общего начального состояния s_k .

3. Вычисляются среднеинтегральные оценки основного процесса для всех $l=1 \dots L$ при общем начальном состоянии s_k :

$$\zeta_{X_k,l}(T) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi_{X_k,l}(t|s_k) dt \quad (11)$$

4. Вычисляются оценки координат вектора $\hat{\beta}_k$ – градиента функции $Y(X_k)$.

5. Выбирается очередное значение управляемого параметра:

$$X_{k+1} = X_k + a_k \hat{\beta}_k \quad (12)$$

6. Задается начальное состояние s_{k+1} следующего интервала управления, равное конечному состоянию одного из процессов предыдущего шага.

7. В соответствии с выбранным критерием останова выполняется переход к пункту 2, либо к окончанию моделирования.

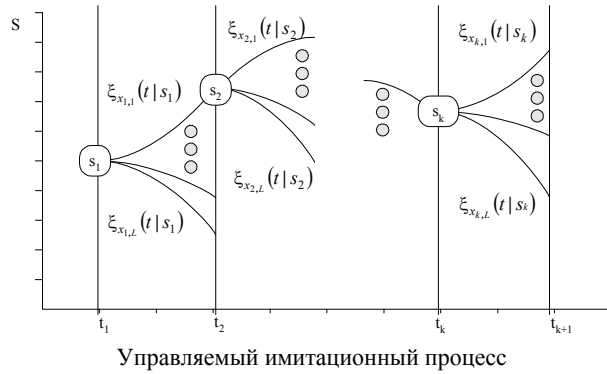


Иллюстрация описанного выше алгоритма приведена на рисунке.

Таким образом, для решения поставленной задачи оптимизации необходимо знать поведение основных процессов $\xi(t|s_j)$, характеристик $\zeta(T|s_j)$ основного процесса, процесса $\eta(t)$ управляемого имитационного процесса.

В результате проведенных исследований было установлено, что такие алгоритмы обеспечивают достаточно быструю сходимость процесса управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов, В. Г. Алгоритмы оптимального распределения дискретных неоднородных ресурсов на сети / В. Г. Анисимов, Б. Г. Анисимов // Вычислительная математика и управление. – 1997. – 37, № 1. – С. 54–60.
2. Критенко, М. И. Оценка значимости факторов при их комплексном воздействии на систему / М. И. Критенко, А. Л. Таранцев, Ю. Г. Щепарев // Автоматика и телемеханика. – 1995. – № 6. – С. 165–171.

УДК 681.332

Н. В. Чигиринская ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (nvtchi@yandex.ru)

Рассматривается постановка задачи описания многомерных динамических систем посредством системы дифференциально-алгебраических уравнений. Обосновывается возможность подобного подхода к решению задачи и приводятся границы условий применимости предлагаемого метода.

Ключевые слова: система, многомерная, динамика, состояние, уравнение, дифференциально-алгебраическое, граничные условия, численное решение, обобщенные координаты, разреженная матрица.

Nataly V. Tchigirinsky USE OF THE DIFFERENTIAL-ALGEBRAIC EQUATIONS FOR THE DESCRIPTION OF DYNAMICS OF MULTIVARIATE SYSTEMS

Statement of a problem of the description of multidimensional dynamic systems by means of system of the differential-algebraic equations is considered. Possibility of the similar approach to the decision of a problem is proved and borders of conditions of applicability of an offered method are resulted.

System, multidimensional, dynamics, condition, equation, differential-algebraic, boundary conditions, numerical decision, generalised coordinates, rarefied matrix.

В настоящее время получили широкое распространение методы представления уравнений динамики связанных систем тел, предназначенные для численного решения. Для того, чтобы выразить положение механической системы со связями через обобщенные координаты, обычно прибегают к итерационному методу Ньютона, который может быть представлен в виде

$$(\partial f_c / \partial q) \Delta q = f_c \quad (1)$$

где $\Delta q = [\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_k]$ – ньютоновы разности и f_c – вектор ошибок.

Скорости системы выражаются уравнением

$$(\partial f / \partial q) q' = f' \quad (2)$$

где q' и f' – производные обобщенных координат и обобщенных функций по времени.

Вектор обобщенных функций удовлетворяет условиям

$$f_c \equiv 0; \quad (\partial f_c / \partial q) q' \equiv 0 \quad (3)$$

где f_c – нелинейная функция q .

Из сравнения соотношений (1) и (3) следует, что в оба уравнения входит матрица $\partial f_c / \partial q$, представляющая собой якобиан преобразования координат. Этот факт будет использован при разработке постановки задачи с использованием разреженных матриц.

В указанную постановку задачи входят геометрические связи, силы реакций, приложенные внешние силы и силы инерции. Введем для тела, принадлежащего механической системе со связями и рассматриваемого как свободное, векторы сил реакций $R = [R_1, \dots, R_n]^T$, приложенных сил $F = [F_1, \dots, F_m]^T$ и сил инерции $P = [P_1, \dots, P_i]^T$. Введем также векторы $l_r = f_r(q)$, $l_a = f_a(q)$ и $l_i = f_i(q)$, определяющие произвольные точки на линиях действия R , F и P . Исходя из уравнения (2), можно записать

$$\left(\frac{\partial f_r}{\partial q} \right) \dot{q} = v_r, \quad \left(\frac{\partial f_a}{\partial q} \right) \dot{q} = v_a, \quad \left(\frac{\partial f_i}{\partial q} \right) \dot{q} = v_i$$

или $\alpha_r \dot{q} = v_r$, $\alpha_a \dot{q} = v_a$, $\alpha_i \dot{q} = v_i$. (4)

Вектора R , F и P преобразовываем к вектору обобщенных сил $A = [A_1, A_2, \dots, A_k]^T$, соответствующих обобщенным координатам q .

Это преобразование дается равенством механических мощностей, соответствующих перемещениям под действием векторов сил R , F и P , с одной стороны, и вектора A – с другой.

$$\begin{bmatrix} R^T & F^T & P^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_r \\ \alpha_a \\ \alpha_i \end{bmatrix} \cdot \dot{q} = A^T \dot{q} \quad (5)$$

Транспонировав уравнение (5), получим:

$$\begin{bmatrix} \alpha_r^T & \alpha_a^T & \alpha_i^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ F \\ P \end{bmatrix} = A \quad (6)$$

Из принципа Даламбера для свободного тела следует $A=0$. Предыдущие соотношения можно применить к каждому телу механической системы, если учесть что для любых двух соседних тел (S и $S+1$):

$$R_S = -R_{S+1} \quad (7)$$

$$f_{C_{S,S+1}} = \alpha_{rS} \dot{q}_S + \alpha_{rS+1} \dot{q}_{S+1} \quad (8)$$

где $f_{C_{S,S+1}} = 0$

Применяя уравнения (1), (3) и (8) к двум взаимосвязанным телам, можем записать:

$$|\alpha_{rS} - \alpha_{rS+1}| \cdot |\Delta q| = -f_{C_{S,S+1}} \quad (9)$$

где $\Delta q = |\Delta q_S^T \Delta q_{S+1}^T|$

Полагая, что силы инерции для тел S и $S+1$ могут быть отнесены к произвольным точкам, не совпадающим с центрами масс, можно записать:

$$f_{a_p} - l_{a_p} = 0, \quad f_{i_p} - l_{i_p} = 0, \quad p = S, S+1 \quad (10)$$

где $f_{a_p} = l_p + r_{a_p}$, $f_{i_p} = l_p + r_{i_p}$

Присоединив к уравнению (9) линеаризованную форму соотношений (10) с якобианами α_{ap} и α_{ip} , содержащимися в формулах (4), запишем:

$$\begin{bmatrix} \beta_r & -1 & 0 & 0 \\ \beta_a & 0 & -1 & 0 \\ \beta_i & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta q \\ \Delta l_r \\ \Delta l_a \\ \Delta l_i \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_c \\ f_a - l_a \\ f_i - l_i \end{bmatrix} \quad (11)$$

где из условия связи следует, что $\Delta l_i = 0$ и

$$\begin{aligned} \beta_r &= |\alpha_{is} - \alpha_{is+1}|, \quad f_c = f_{C_{S,S+1}}, \\ \beta_a &= \begin{vmatrix} \alpha_{as} & 0 \\ 0 & \alpha_{as+1} \end{vmatrix}, \quad f_a = |f_{as}^T f_{as+1}^T|, \quad l_a = |l_{as}^T l_{as+1}^T|, \\ \beta_i &= \begin{vmatrix} \alpha_{is} & 0 \\ 0 & \alpha_{is+1} \end{vmatrix}, \quad f_i = |f_{is}^T f_{is+1}^T|, \quad l_i = |l_{is}^T l_{is+1}^T|. \end{aligned}$$

Используя равенство (6), можем записать для сил

$$\begin{bmatrix} \alpha_{rs}^T & \alpha_{as}^T & 0 & \alpha_{is}^T & 0 \\ -\alpha_{rs+1}^T & 0 & \alpha_{as+1}^T & 0 & \alpha_{is+1}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_S \\ F_S \\ F_{S+1} P_{S+1} \\ P_{S+1} \end{bmatrix} = 0$$

$$\text{или} \quad \begin{bmatrix} \beta_r^T & \beta_a^T & \beta_i^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_S \\ F \\ P \end{bmatrix} = 0 \quad (12)$$

где $F = [F_S^T \quad F_{S+1}^T]^T$ и $P = [P_S^T \quad P_{S+1}^T]^T$.

Или

$$\beta^T I \begin{bmatrix} \Delta q \\ \Delta l_r \\ \Delta l_a \\ \Delta l_i \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_c \\ f - C \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{и} \quad \beta \begin{bmatrix} R_S \\ F \\ P \end{bmatrix} = 0 \quad (14)$$

где $C = [l_a^T \quad l_i^T]^T$, $f = [f_a^T \quad f_i^T]^T$,

$$|\beta_r^T \quad \beta_a^T \quad \beta_i^T| = \beta$$

При рассмотрении системы связанных твердых тел в общем случае вводят вращатель-

ные обобщенные координаты, в качестве которых используют моменты и условия связей, являющиеся нелинейными (с большой степенью нелинейности) функциями вращательных координат. Для автоматизации формирования матриц β определим стандартные элементы механических систем: тела, сочленения, пружины, демпферы и т. д., для которых можно построить стандартные субматрицы матрицы β . Затем эти субматрицы располагаются в соответствии с топологией механической системы.

Для системы уравнений, заданной в виде $G(w, \dot{w}, t) = 0$, формула жесткой коррекции использует уравнения вида:

$$J\Delta w = \left(\frac{\partial G}{\partial w} + \frac{1}{k_0 T} \cdot \frac{\partial G}{\partial \dot{w}} \right) \Delta w = -G \quad (15)$$

где k_0 , – коэффициент жесткости; T – шаг по времени;

матрица $\left[\left(\frac{\partial G}{\partial w} \right) + \left(\frac{1}{k_0 T} \right) \cdot \left(\frac{\partial G}{\partial \dot{w}} \right) \right]$ представляет собой якобиан.

Введем обозначение $\dot{q} = u$ и определим

$$w = [u^T q^T l_r^T l_i^T l_a^T R^T D^T F^T]^T, \quad (16)$$

так, что

$$\Delta w = [\Delta u^T \Delta q^T \Delta l_r^T \Delta l_i^T \Delta l_a^T \Delta R^T \Delta D^T \Delta F^T]^T. \quad (17)$$

Вводя теперь силы инерции $P = F_i(\dot{u}, u, q, t)$,

приложенные силы $F = F_a(u, q, t)$ и

$\beta = [\beta_r^T \ \beta_a^T \ \beta_i^T]$, можем записать уравнение

0	β^T	$-I$	0	0	0	Δu	f_c
0	$\frac{\partial(\beta \cdot y)}{\partial q}$	0	0	0	$\beta_r^T \ \beta_i^T \ \beta_a^T$	Δq	$f - C$
$\frac{\partial F_i}{\partial u} + \frac{1}{k_0 T} \cdot \frac{\partial F_i}{\partial \dot{u}}$	$\frac{\partial F_i}{\partial q}$	0	0	0	0	Δl_r	$P - F_i$
$-I$	$\frac{1}{k_0 T} I$	0	0	0	0	Δl_i	$\dot{q} - u$
$\frac{\partial F_a}{\partial u}$	$\frac{\partial F_a}{\partial q}$	0	0	0	0	Δl_a	$F_a - F$
0	0	I	0	0	0	ΔR	
						ΔP	
						ΔF	0

(18)

Здесь $\gamma = [R^T F^T P^T]$, $f_0, f - C$ и A определены уравнениями (2), (13) и (6).

Простота матрицы в уравнении (18) непосредственно определяется выбором системы обобщенных координат. Для одного твердого тела можно положить:

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \text{ и } \begin{bmatrix} q_4 \\ q_5 \\ q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Phi_s \\ \Theta_s \end{bmatrix} \quad (19)$$

где X_s, Y_s, Z_s – координаты центра масс S -го тела; Ψ_s, Φ_s, Θ_s – Эйлеровы углы, определяющие положение системы главных осей инерции тела относительно произвольной инерциальной системы отсчета.

Сохраним в описании положения системы все переменные, без какого-либо приведения. Таким образом, для N связанных твердых тел полное число координат системы будет равно $6N$. Кроме того, удержим в качестве явных переменных компоненты сил R, M и P . В результате получим очень разреженный якобиан J .

В качестве общей формы уравнений движения можно взять уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E}{\partial q_j} - Q_j = 0 \quad (20)$$

где E – кинетическая энергия системы; q_j – обобщенные координаты; $\dot{q}_j$ – обобщенные скорости; Q_j – обобщенные силы (консервативные и неконсервативные); $j=1, \dots, 6$ – по числу степеней свободы.

Уравнение (20) пригодно для описания механических систем со связями и без связей.

Если определить обобщенный импульс

$$p_j = \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_j}, \quad (21)$$

то уравнение (20) примет вид

$$\dot{p}_j = \frac{\partial E}{\partial q_j} + Q_j, \quad j=1, 2, \dots, 6. \quad (22)$$

можно показать, что уравнение (21) есть дифференциальное уравнение второго порядка относительно переменной q_j . Подстановкой

$$u_j = \dot{q}_j \quad (23)$$

оно приводится к форме, содержащей только первые производные.

Помимо уравнений Лагранжа, механические системы должны удовлетворять условиям связи

$$f_{ck} = 0, \quad k=1, \dots, n. \quad (24)$$

Это могут быть нелинейные функции обобщенных координат q . Ранее [0, 2] было предложено перейти к иной комбинированной форме системы дифференциальных и алгебраических уравнений, введя множители Лагранжа.

Уравнения (21...24) заменяются тогда следующими. Для каждого тела

$$A_j = \dot{P}_j - \frac{\partial E}{\partial q_j} - Q_j + \sum_{k=1}^n \frac{\partial f_{c_k}}{\partial q_j} \lambda_k = 0; \quad j=1, 2, \dots, 6 \quad (25)$$

где A_j – компоненты вектора A , определяемого в общем виде уравнением [3].

$$L_j = P_j - \frac{\partial E}{\partial q_j} = 0 \quad (26)$$

$$u_j - q_j = 0 \quad (27)$$

Для каждого из n условий связи $f_{c_k} = 0$.

Хотя эффективность предлагаемого метода численного решения не очень сильно зависит от количества уравнений в системе, представляется целесообразным учесть, что поступательные компоненты импульса тривиальным образом связаны с поступательными скоростями. Поэтому указанные поступательные компоненты импульса не включаются в число явно определяемых переменных. В результате, окончательная система уравнений движения тела S , рассматриваемого как свободное, имеет следующий вид:

• поступательная компонента:

$$A_j = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial q_j} \right) - \frac{\partial E}{\partial q_j} - Q_j + \sum_{k=1}^n \frac{\partial f_{c_k}}{\partial q_j} \lambda_k = 0; \quad j=1, 2, 3 \quad (28)$$

• вращательная компонента:

$$L_j = P_j - \frac{\partial E}{\partial q_j}; \quad j=4, 5, 6 \quad (29)$$

$$A_{j+3} = \dot{P}_j - \frac{\partial E}{\partial q_{j+3}} - Q_{j+3} + \sum_{k=1}^n \frac{\partial f_{c_k}}{\partial q_{j+3}} \lambda_k = 0; \quad j=1, 2, 3 \quad (30)$$

• смешанная компонента:

$$u_j - \dot{q}_j = 0; \quad j=1, 2, \dots, 6 \quad (31)$$

Опуская индексы j и k , перепишем уравнения (28) и (30) в виде

$$P + \beta_a^T F + \beta_r^T R = 0 \quad (32)$$

Обозначив $P = \begin{bmatrix} P_t^T & P_r^T \end{bmatrix}^T$, получим для поступательной компоненты

$$P_t = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left(\frac{\partial E}{\partial q} \right)^T, \quad (33)$$

где $q = \begin{bmatrix} X_s & Y_s & Z_s \end{bmatrix}^T$;

а для вращательной компоненты

$$P_r = \dot{P} - \left(\frac{\partial E}{\partial q} \right)^T, \quad (34)$$

где $q = \begin{bmatrix} \Psi_s & \Phi_s & \Theta_s \end{bmatrix}^T$;

$$L = P - \frac{\partial E}{\partial \dot{q}} = 0; \quad (35)$$

$$\beta_a^T F = -Q, \quad \beta_r^T R = \beta_r^T \lambda. \quad (36)$$

Предположим, что матрица β_r^T , представленная линеаризованным уравнением связей, не вырождена. Тогда

$$R = \lambda. \quad (37)$$

Сравнение уравнений (32) и [3] показывает, что матрица $\beta_i^T = I$; это означает, что силы инерции приведены к центру масс тела.

Обозначим матрицу $\begin{bmatrix} M \\ N \end{bmatrix} = -I$ и массу S^{to}

тела через m_s . На основании полученных результатов якобиан J , входящий в уравнение [3], может быть записан в виде:

Δu^T	Δp^T	Δq^T	ΔL_a^T	ΔR^T	ΔP^T	ΔF^T
0	0	β_r	0	0	0	0
0	0	β_a	$-I$	0	0	0
0	0	$\frac{\partial(\beta_y)}{\partial a}$	0	β_r^T	I	β_a^T
$I \frac{m_s}{k_0 T}$	0	0	0	0	M	0
$\frac{\partial P}{\partial u}$	$I \frac{1}{k_0 T}$	$\frac{\partial P}{\partial q}$	0	0	N	0
$\frac{\partial L}{\partial u}$	$-I$	$\frac{\partial L}{\partial q}$	0	0	0	0
$-I$	0	$I \frac{1}{k_0 T}$	0	0	0	0
$\frac{\partial F_a}{\partial u}$	0	$\frac{\partial F_a}{\partial q}$	0	0	0	$-I$

(38)

В общем случае необходимо применять неявные методы интегрирования. Таким образом, данный подход, основанный на использовании разреженных матриц, позволяет:

1) не производя предварительной топологической обработки для установления системы независимых переменных, формировать уравнения непосредственно по данным о соединении элементов;

2) удерживать в решении в качестве переменных все угловые и линейные переменные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Calahan D. A. Computer – Aided Network Design, 2nd ed., McGraw – Hill, New York, 1972.
2. Chace M. A., Sheth P. N. Adaptation of Computer Techniques to the Design of Mechanical Dynamic Machinery,

ASME Paper 73-Det-58, ASME Meeting, Cincinnati, Sept. 9-12, 1973

3. *Orlande N., Chace M. A., Calahan D. A.* Sparsity Oriented Approach to the Dynamic Analysis and Design of Mechanical Systems/— Proceedings of the Conference on Problem Analysis, Academic Press, N-Y, 1976

4. *Канторович, Л. В.* Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акимов. — М.: Наука, 1977.

5. *Лэмберт, Ж. Д.* Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. (Lambert J. D. Computational methods in ordinary differential equations) Wiley, 1973.

УДК 519.61

Т. А. Яновский, А. Г. Яновский***

МЕТОД СТОХАСТИЧЕСКОЙ ОДНОМЕРНОЙ МИНИМИЗАЦИИ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

*Волгоградский государственный технический университет (janovsky@yandex.ru)

**Волгоградский государственный университет

Для высокоточного решения задачи одномерной оптимизации разработан новый метод стохастического поиска. Для уточнения решения этот метод учитывает стохастическую природу машинных оценок значений целевой функции в малой окрестности точки минимума, планирует и реализует машинный имитационный эксперимент. Разработанный метод численно протестирован наряду с известными и эффективными методами одномерной минимизации. Результаты численного исследования нового метода для различных сложных тест-функций свидетельствуют о повышении точности одномерной минимизации.

Ключевые слова: одномерная оптимизация высокой точности, новый метод стохастического поиска, стохастическая природа машинных оценок, машинный имитационный эксперимент, численные исследования.

T. A. Janovsky, A. G. Janovsky

STOCHASTIC SEARCH METHOD FOR HIGH PRECISION LINESEARCH

For the high precision linesearch the new method of stochastic search is developed. For more precise of the decision this method takes into account a stochastic nature of criterion function values machine estimations in a small neighbourhood of a decision, plans and realizes machine imitating experiment. The developed method is numerically tested alongside with well known and highly effective linesearch methods. The results of numerical research for a new method with using various test-functions testify to increase of linesearch precision.

High precision linesearch, new method of stochastic search, stochastic nature of machine estimations, machine imitating experiment, numerical research.

Известные и широко распространенные в вычислительной практике методы дихотомии, Фибоначчи и золотого сечения [1, с. 43–47; 2, с. 46–61; 3, с. 10–13], а также новый адаптивный и высокоточный метод трихотомии [4, с. 11–19] построены на основе гипотезы об унимодальности целевой функции одного аргумента $f(\alpha)$ [1, с. 42]. Однако, как замечал еще Уайлд [2, с. 32, 44, 45], оценки $f(\alpha)$ всегда связаны с "ошибками эксперимента", которые при работе методов в среде IEEE-арифметики конечной точности всегда имеются и обусловлены как ошибками представления чисел, так и ошибками арифметических операций [5, с. 11–12], тем более, что имеющиеся среди них ошибки компенсации [6, с. 23] могут привести даже к "катастрофической потере верных цифр" результата [7, с. 38].

Другое важное соображение на эту тему, но связанное с уточнением оптимальной оценки α^* , приведено в работе [6, с. 399] и касается целесообразности применения "локального поиска — попытки уменьшить значение целевой функции с помощью средств..., работающих по принципу случайного сканирования". При этом целесообразность следует из тех соображений, что "...в ситуациях, когда вероятность ложного решения надо свести к минимуму, пренебрегать локальным поиском не следует".

Таким образом, рационально дополнить гипотезу унимодальности целевой функции $f(\alpha)$ учетом возникающих при машинных вычисле-

ниях стохастических ошибок. Причем особо подчеркнем, что такое дополнение к гипотезе унимодальности целесообразно осуществлять только при получении оценок, на точности которых стохастические ошибки округлений и операций будут сказываться статистически значимо [8, с. 48–54; 9, с. 95].

Поэтому в целом процедуру одномерной минимизации высокой точности целесообразно строить как двухступенчатую. При этом на первой ступени будет выполняться какой-либо из детерминированных методов одномерного поиска, например, разработанный авторами высокоточный метод трихотомии [4, с. 11–19], завершающий свою работу не только решающей компрессией начального отрезка локализации $[a, b]$ до $[a_{fin}, b_{fin}]$ и содержащей некоторую неизбежную вычислительную ошибку, оценкой α_{min} точки минимума, но и формированием стартовых параметров для последующего метода стохастического поиска, уточняющего оценку α_{min} на фоне вычислительных ошибок. Именно метод стохастического поиска позволяет "уменьшить влияние этих ошибок, повторяя каждый эксперимент и пользуясь средними по нескольким измерениям, хотя при этом, конечно, потребуется большое число опытов" [2, с. 45]. Здесь также учтем, что "представляется актуальным поиск таких методов оценивания, которые не требуют сложного пересчета и оценка α^{j+1} может быть найдена с помощью формулы $\alpha^{j+1} = \varphi(j, \alpha^1, \alpha^2, ..., \alpha^j)$ " [10, с. 241], то есть

рекуррентно. Однако рекуррентно будем оценивать не текущее значение α^j , а статистические характеристики $f(\alpha^j)$.

Новый метод стохастической одномерной минимизации, опирающийся на результаты выполненной ранее трихотомической оптимизации и сделанное выше замечание о стохастической природе оценок $f(\alpha)$ в малой окрестности точки минимума, построен на основе следующей системы обозначений и принципиальных положений:

- целевая функция $f(\alpha): R^1 \rightarrow R^1$ является унимодальной;

- машинное представление $f(\alpha)$ следующее: $fl(f(fl(\alpha))) = f(\alpha) + \sigma_f$, где σ_f – случайная машинная ошибка, включающая как ошибки подсчета функции f , так и ошибки представления точки α ;

- случайная машинная ошибка σ_f удовлетворяет положениям:

$$E\{fl(f(fl(\alpha)))\} \equiv E\{\hat{f}(\alpha)\} = f(\alpha)$$

$$\begin{aligned} \text{и } s^2(fl(f(fl(\alpha)))) &\equiv s^2(\hat{f}(\alpha)) = \\ &= E\{[\hat{f}(\alpha) - E\{\hat{f}(\alpha)\}]^2\} \end{aligned}$$

при $s^2(\hat{f}(\alpha)) < s^2 < \infty$, что означает несмещенность математического ожидания и ограниченность дисперсии $s^2(f(\alpha))$; здесь $s(f(\alpha))$ – стандартное отклонение $f(\alpha)$;

- положение центра машинных имитационных экспериментов полагаем равным $\alpha_{\min}$ и считаем предварительно оцененным методом трихотомии;

- для машинной генерации равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$ псевдослучайных чисел $\tilde{\alpha}$ выбираем какой-либо мультипликативный конгруэнтный метод [11, с. 374–379, 388; 12, с. 381–385; 13, с. 261–267] или макрооператор `random(•)` Borland C++, на основе которого строим генератор нормально распределенных случайных чисел с параметрами $N\{0, 1\}$ [7, с. 465–468; 13, с. 268–269; 11, с. 388; 12, с. 391–394];

- длину машинного имитационного эксперимента ms , необходимую для достижения высокой точности результатов, вычисляем в соответствии с правилом остановки [11, с. 286; 12, с. 215] на основе оценки математического ожидания "выборки независимых нормально распределенных случайных чисел $\alpha_{\text{norm}}^1, \alpha_{\text{norm}}^2, \dots, \alpha_{\text{norm}}^{ms}$, дисперсия которых известна"; используемые при вычислении параметры: $\alpha_{ls} \in \{0.05, 0.01, 0.001\}$ – уровень значимости, $coeff_d^s \in \{4, 8, 12\}$ – коэффициент отношения стандартного отклонения s и точности d оценивания среднего, задаются априорно;

- для оценки математического ожидания $m(f(\alpha^j))$ и стандартного отклонения $s(f(\alpha^j))$ используем рекуррентные соотношения [2, с. 223; 9, с. 56, 57, 96];

- оцененное в машинном имитационном эксперименте минимальное значение $\hat{f}(\alpha)$, обозначаемое $f(\alpha^p)$, проверяем на статистическую приемлемость по правилу [9, с. 96];

- в случае, если $f(\alpha^p)$ не проходит проверку на допустимость, то есть является аномальным, то считаем, что статистически значимо, с позиций машинной измеримости $f(\alpha)$, улучшить стартовую точку $\alpha_{\min}$ невозможно и она считается точкой минимума $f(\alpha)$, в противном случае полагаем, что точка минимума $\hat{f}(\alpha)$ есть α^p .

Конкретизация девяти вышеперечисленных положений приводит к новому методу стохастической одномерной минимизации.

Метод mlsSS:

положить $\alpha = \alpha_{\min}$;

вычислить $f(\alpha)$, $\hat{r}_{eslv}^d(f(\alpha))$ [4, с. 6];

вычислить $s(\alpha) = \sqrt{\hat{r}_{eslv}^d(f(\alpha))}$;

вычислить $ms = (z_{\alpha_{ls}/2} coeff_d^s)^2$;

положить $p = 0$, $\alpha^0 = \alpha$, $f(\alpha^0) = f(\alpha)$;

положить $j = 1$;

L₁: вычислить $\tilde{\alpha}^j \in N\{0, 1\}$;

вычислить $\alpha^j = (\alpha - 3s(\alpha)) + 6s(\alpha)\tilde{\alpha}^j$;

вычислить $f(\alpha^j)$;

если $f(\alpha^j) < \hat{f}(\alpha^p)$, то положить $p = j$,

$$\alpha^p = \alpha^j, f(\alpha^p) = f(\alpha^j);$$

вычислить $m(f(\alpha^j)) =$

$$= \frac{j-1}{j} m(f(\alpha^{j-1})) + \frac{1}{j} f(\alpha^j);$$

вычислить $s(f(\alpha^j)) =$

$$= [m(f^2(\alpha^{j-1})) - (m(f(\alpha^j)))^2]^{1/2};$$

если $j = ms$, то перейти на L₂;

положить $j = j + 1$ и перейти на L₁;

L₂: если $m(f(\alpha^{ms})) - 3s(f(\alpha^{ms})) < f(\alpha^p) <$
 $< m(f(\alpha^{ms})) + 3s(f(\alpha^{ms}))$,

то положить $\alpha_{\min} = \alpha^p$;

положить $\hat{\alpha} = \alpha_{\min}$, $f(\hat{\alpha}) = f(\alpha_{\min})$.

Метод имеет 3 входных параметра: оценку $\alpha_{\min}$ точки минимума $f(\alpha)$, статистику $z_{\alpha_{ls}/2}$ нормального распределения при уровне значимости α_{ls} ; коэффициент $coeff_d^s \in \{4, 8, 12\}$ от-

ношения стандартного отклонения $s(\alpha)$ и точности d оценивания среднего значения α , – и формирует 4 выходных оценки: точки $\alpha_{\min}$; целевой функции $f(\alpha_{\min})$; математического ожидания $m(f(\alpha^{ms}))$ и стандартного отклонения $s(f(\alpha^{ms}))$.

Отметим следующие важные особенности стохастического метода.

Стохастическая природа машинных оценок учтена не только в связи с ошибками округления и арифметических операций, но и путем планирования, оценки длительности и реализации машинного стохастического имитационного эксперимента по моделированию оценок $f(\alpha)$ при нормально распределенных значениях α и соответствующих статистиках его генерации, а также при рекуррентном оценивании статистик $f(\alpha)$ в процессе машинных экспериментов.

Маловероятная, но тем не менее возможная ошибка оценивания точки $\alpha_{\min}$ в процессе предварительной одномерной минимизации почти детерминированного характера, при использовании стохастического подхода может считаться статистически незначимой. Это объясняется тем, что размах машинных генераций нормально распределенных оценок α , выбираемый равным $6s(\alpha_{\min})$, и имеющий своим центром точку $\alpha_{\min}$, не только весьма значителен, но и надежно покрывает сегмент нахождения машинно точного $\alpha_{\min}$.

Наконец, рекуррентный характер оценивания статистик $f(\alpha)$ позволяет избежать "...неожиданных и нетривиальных проблем...", обусловленных тем обстоятельством, что "...если сумма j величин будет существенно больше α^j , то ошибка округления может оказаться того же порядка, что и значение α^j " [9, с. 56]. Следовательно, высказанное в работе [10, с. 241] пожелание об использовании простых формул пересчета, здесь, в приложении к сумме значений $f(\alpha^j)$, является и объективно обусловленным.

Разработанный метод стохастической одномерной минимизации был подвергнут значительному по объему численному тестированию наряду с другими известными эффективными методами одномерной минимизации, в том числе и регуляризованными: методом золотого сечения [3, с. 10–13], методом параболической

интерполяции [14, с. 453–455; 3, с. 15–16], методами Коггинса [15, с. 489–491; 3, с. 13–15] и Брента [13, с. 201–205; 3, с. 16–18]. Результаты численного исследования для различных широко используемых и достаточно сложных тест-функций объективно показали более высокую точность одномерной минимизации, достигаемую на основе разработанного метода стохастической минимизации. Детали соответствующих машинных исследований содержатся в работе [16].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, А. Г. Курс методов оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. – М.: Наука, 1986. – 326 с.
2. Уайлд, Д. Дж. Методы поиска экстремума / Д. Дж. Уайлд. – М.: Наука, 1967. – 266 с., илл.
3. Яновский, А. Г. Численная одномерная оптимизация: Часть 1. Системный анализ теоретических и прикладных аспектов известных методов одномерной оптимизации / А. Г. Яновский, Т. А. Яновский // Волгоградский государственный университет. – Волгоград, 2006. – 22 с. – Деп. в ВИНТИ 13.04.06 №485-B2006.
4. Яновский, А. Г. Численная одномерная оптимизация: Часть 2. Постановка и решение задачи синтеза системы одномерной оптимизации высокой точности ProfLineSearch-2005 на основе известных и новых методов одномерной минимизации / А. Г. Яновский, Т. А. Яновский // Волгоградский государственный университет. – Волгоград, 2006. – 39 с. – Деп. в ВИНТИ 13.04.06 № 486-B2006.
5. ANSI/IEEE, New York. IEEE Standard for Binary Floating Point Arithmetic, Std 754-1985 edition, 1985.
6. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Муррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с., ил.
7. Каханер, Д. Численные методы и программное обеспечение / Д. Каханер, К. Моулдер, С. Нэш. – М.: Мир, 2001. – 575 с., ил.
8. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.: ил.
9. Отнес, Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
10. Невельсон, М. Б. Стохастическая аппроксимация и рекуррентное оценивание / М. Б. Невельсон, Р. З. Хасминский. – М.: Наука, 1972. – 304 с.
11. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. – М.: Мир, 1975. – 500 с.: ил.
12. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
13. Форсайт, Дж. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулдер. – М.: Мир, 1980. – 280 с., ил.
14. Мэтьюз, Д. Г. Численные методы / Д. Г. Мэтьюз, К. Д. Финк. – М.: Изд. Дом "Вильямс", 2001. – 720 с.: ил.
15. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 534 с., ил.
16. Яновский, А. Г. Численная одномерная оптимизация: Часть 3. Машинные исследования системы одномерной оптимизации высокой точности ProfLineSearch-2005 / А. Г. Яновский, Т. А. Яновский // Волгоградский государственный университет. – Волгоград, 2006 – 34 с. – Деп. в ВИНТИ 13.04.06 №487-B2006.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.414.2

А. М. Дворянкин, Е. В. Кривенко

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОРТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (dvam@vstu.ru, ieugene@mail.ru)

В данной статье рассматриваются особенности проектирования, учитываемые при практической разработке сложных информационных систем, выполненных на базе web-технологий, в частности при разработке порталных систем. Данный материал охватывает большинство аспектов разработки с позиций различных методологий проектирования web-ресурсов и приводит отличия особенностей проектирования по сравнению с программными средствами, не использующими web-технологии.

Ключевые слова: порталные системы, технология клиент-сервер, хранилища разнородных данных, структурное проектирование, информационная архитектура, web-приложение, web-программирование, сценарные языки, web-интерфейс.

A. M. Dvoryankin, E. V. Krivenko

FEATURES OF DESIGN OF PORTAL MANAGEMENT SYSTEMS

In the article features of designing and practical development of the complex information systems using web technologies are considered. The article covers the majority of aspects of development from positions of various methods of designing of web resources and results differences of features of designing in comparison with the software which are not using web technologies.

The portal management systems, the client-server technology, the data storages, the structural design, the information architecture, the web application, the web programming, the script languages, the web interface.

В данной статье рассматриваются особенности проектирования, учитываемые при практической разработке сложных информационных систем, выполненных на базе web-технологий, в частности при разработке порталных систем. Данный материал охватывает большинство аспектов разработки с позиций различных методологий проектирования web-ресурсов и приводит отличия особенностей проектирования по сравнению с программными средствами, не использующими web-технологии.

Порталные системы (далее – ПС) представляют собой сложные программные комплексы, отличающиеся следующими особенностями: высокая степень интерактивности; построение по технологии клиент-сервер; использование хранилищ данных, обладающих разнородными структурами; открытая архитектура.

Под высокой степенью интерактивности понимается непосредственное взаимодействие пользователя с информационно-вычислительной системой, носящее характер запроса или диалога. ПС прежде всего предназначены для организации доступа к хранилищу данных конечного пользователя через пользовательский интерфейс. Вследствие этого ПС должна обладать простым, удобным и прозрачным интерфейсом, ориентированным на использование пользователями с различной степенью владения компьютером. Отличие от традиционного графического интерфейса состоит в том, что навигацией в ПС управляет пользователь, кото-

рый может выполнять заранее разрешенные ПС действия в произвольном порядке, следуя своим путем перемещения по документам.

Построение по технологии "клиент-сервер". Термин "клиент-сервер" обозначает технологию взаимодействия между браузером пользователя и web-сервером. Обработка запросов клиента производится на сервере, клиенту выдается сформированный документ, содержанием которого является результат обработки данных, введенных клиентом. Технологии стороны сервера могут быть различными и зависят только от используемого сервером программного обеспечения и структуры ПС в целом.

Использование хранилищ разнородных данных [1] является основой ПС как информационной системы. Использование хранилищ данных позволяет исключить взаимное влияние данных и кода ПС. Открытая архитектура ПС позволяет проектировщику добавлять или модернизировать модули в уже готовую систему без переделки программного кода ядра [8]. Открытость системы повышает ее гибкость и применимость для построения порталов разной функциональности и назначения.

Применимость метода структурного проектирования в случае с ПС требует более тщательного подхода, поскольку из-за специфики разрабатываемого программного продукта приходится выбирать оба метода структурирования – функционально-ориентированный метод (последовательное разложение задачи или це-

лостной проблемы на отдельные, достаточно простые составляющие, обладающие функциональной определенностью) и метод структурирования данных [2]. В web-программировании применительно к методам структурирования данных вводится термин "информационная архитектура" [3].

Информационная архитектура – процесс определения, организации и систематизации содержания сайта. В первую очередь это справедливо для статических гипертекстовых моделей данных; в технологии "клиент-сервер" и для построения ПС общего назначения, где информационную архитектуру определяет конечный пользователь ПС, данный термин является ограниченно применим.

При разработке ПС перед проектировщиком встают следующие практические задачи [1, 4, 5]:

- выбор набора совокупности типовых решений, соответствующий наиболее часто используемым в данных системах функциям;
- создание небольших ИС с возможностью их конкатенации и интеграции в более крупные ПС по функциональному признаку;
- выработка подхода интероперабельности и выработка и поддержка единых форматов данных для возможности сопряжения между различными ИС разных производителей, а также разработка и унификация форматов данных в ИС одного производителя;
- при разработке ПС для конкретных областей применения использовать стандарты к метаописанию информационных ресурсов;
- предусмотреть возможность хранения разнородных метаданных внутри одного хранилища информации для ПС с возможностью использования его различными ИС там, где нецелесообразно использовать все возможности ПС;
- предусмотреть возможность наращивания хранилища данных по блочно-модульному принципу также, как и функциональных модулей, им соответствующих;
- предусмотреть кроссплатформенность приложения и кроссбраузерную совместимость его интерфейса.

В качестве совокупности типовых решений обычно выбирают наиболее распространенные сервисы ПС [4, 5].

Поскольку ПС строятся по блочно-модульному принципу, схема взаимосвязей обычно строится так:

основной программный блок, отвечающий за авторизацию пользователей, обеспечение сеанса, вызов вложенных модулей, связь с БД и подобные сервисные функции;

административный блок, позволяющий управлять наборами модулей, свойствами ПС, изменять информационное наполнение;

собственно сервисы, построенные по модульному принципу и имеющие свои управляющие модули, и модули обработки данных (рабочие модули). Особенность архитектуры ПС состоит в том, что блоки оформлены в виде отдельных файлов, выполняющих свою заранее определенную функцию и работающих строго со своими таблицами в БД.

Проблема выбора БД, лежащей в основе ПС, является основой для логики работы ПС в целом. В настоящее время, несмотря на развитие объектно-ориентированных и объектно-реляционных БД, основное развитие получили 2 подхода к построению хранилищ данных [1, 6].

1. Использование реляционных баз данных. Традиционный подход, который, несмотря на время, прошедшее с разработки концепции реляционных БД, до сих пор является стандартом в большинстве ИС. Недосток реляционных СУБД – декомпозиция сложного объекта при занесении в таблицы БД. Использование объектно-ориентированных БД оправдано только при выборе объектного подхода к проектированию ИС. Кроме того, в большинстве реляционных БД присутствуют средства для ограниченной работы с объектами.

2. Использование XML-технологий. Данный подход применяется в основном при построении распределенных сред хранения данных, имеющих различную схему данных, и использует XML-технологии для обработки и преобразования структурированных документов.

При построении ПС обычно используется традиционный подход, связанный с наличием большого количества различных реляционных СУБД, поддерживаемых web-серверами.

На этапе проектирования БД первоначально строятся даталогические модели, ориентированные на среду хранения и обработки данных [6, 7]. Даталогические модели имеют логический и физический уровни представления. Физический уровень соответствует организации хранения данных в памяти компьютера. Логический уровень данных применительно к СУБД реализован в виде: концептуальной модели базы данных – интегрированные структуры данных под управлением СУБД; внешних моделей данных – подмножество структур данных для реализации приложений.

Еще одной особенностью построения ПС являются используемые языки web-программирования. Как правило, все web-программирование базируется на сценарных языках [8].

Главная характерная черта для сценарных языков – динамическая природа, позволяющая трактовать данные как программный код и наоборот, а также простота их освоения.

Выделяют четыре класса таких языков: *командно-сценарные; прикладные сценарные; языки разметки; универсальные сценарные.*

К первому классу относятся многочисленные интерпретаторы команд CLI, языки пакетной обработки и языки для построения системных командных оболочек. Такие языки ориентируются не на интерактивный, а на пакетный режим обработки. В web-программировании применяются в основном для CGI.

Отличительная особенность сценарных языков второго класса – ориентация на клиентскую часть ПО. Применяются в основном для реализации клиентской части. Это такие языки как VBScript, JavaScript и их расширения.

Отличительная черта языков разметки (или тегированных) встраивание специального кода (в виде обособленных команд разметки – тегов) непосредственно в обычные тексты. Теги используются для отделения структуры информации от ее содержания, для форматирования и задания динамического поведения встроенных в документ интерактивных объектов. Язык HTML (Hypertext Markup Language – язык разметки гипертекста) – основной язык представления информации в web-среде.

Метаязык XML (eXtensible Markup Language – расширяемый язык разметки) – язык транспортирования и промежуточного хранения данных при обмене ими между разнородными и распределенными системами. На его основе можно проводить сложные преобразования документов и текстовой информации, а также в унифицированном виде хранить данные реляционно-иерархической структуры, в том числе по настройкам и программированию компонентов. В 2001 г. появилась ревизия HTML, которая получила название XHTML (Extensible Hypertext Markup Language – расширяемый язык разметки гипертекста), где были учтены требования XML.

Универсальные сценарные языки [8] обычно ассоциируются с языками web-программирования. Большинство из них было создано раньше появления HTML и Интернета для ОС UNIX – такие языки, как Perl, Tcl и Python. После появления технологии CGI основным обработчиком клиентских форм стал Perl. Самым известным сценарным языком, возникшим по-

сле появления Интернета стал PHP (PHP: Hypertext Preprocessor – "PHP: препроцессор гипертекста"). С появлением 5 версии язык стал объектно-ориентированным.

Таким образом, все ПС реализуются с помощью сценарных языков. На прикладных сценарных языках и языках разметки строятся интерфейсы и программы стороны клиента, на универсальных сценарных языках – программы стороны сервера.

Вследствие природы этих языков возникают определенные проблемы:

как уже указывалось, эти языки имеют динамическую природу и трактовка "данные–код" может являться преимуществом, а может являться и недостатком при проектировании модулей;

сценарные языки в основном безтиповые и могут затруднять тестирование модулей, на них написанных;

сценарные языки в основном интерпретируемые, то есть исполняется видимый код, что улучшает символьную отладку, но снижает быстроедействие и требует для автоматизированной отладки наличие web-сервера.

Основными отличиями интерфейса ПС от интерфейсов других программных средств являются следующие файлы:

интерфейс обязательно является графическим и использующим гипертекст;

интерфейс оформлен не в виде самостоятельного программного модуля, а в виде данных, интерпретируемых браузером;

интерфейс должен быть разработан по соответствующим стандартам представления данных;

внешний вид и работоспособность интерфейса не должны зависеть от платформы и браузера пользователя;

внешний вид интерфейса не должен зависеть от аппаратных средств отображения информации пользователя.

Интерфейс ПС обязательно является графическим. К интерфейсу обязательно применяются высокие требования как с инженерной, так и с художественной точки зрения.

Поскольку ПС является web-приложением, основные правила для построения интерфейса можно сформулировать так [3, 9]:

- интерфейс не должен быть перегружен графической информацией;
- интерфейс для web-приложений не должен быть спроектирован по типичным решениям для системных интерфейсов;

- в идеале интерфейс не использует технологии, относящиеся к программам стороны клиента, такие как JavaScript/VBScript, поскольку это увеличивает нагрузку на компьютер клиента и не всегда корректно отображается на различных платформах и в различных браузерах.

Из самой природы сценарных языков следует, что программный продукт, написанный на данных языках, является промежуточным между пользователем и ресурсами операционной системы, графической среды, сервисной машины, взаимодействуя с ними не напрямую. Подобный метод работы позволяет не зависеть от программной среды пользователя, но и не позволяет получать работу с хранилищами данных в реальном времени, получая непосредственный отклик.

Стандарты представления данных разрабатываются на этапе определения входных и выходных данных и представляют собой не только форматы данных, но и формы ввода-вывода, сгенерированные отчеты и т. д., то есть представляют собой внешний уровень взаимодействия с конечным пользователем. На этапе проектирования элементов для работы с данными задаются нормы представления и ограничения, а также проверки введенных пользователем данных. Также следует отметить еще один момент, непосредственно связанный с отображением текстовой информации – кодировку. Кодировка текста должна быть жестко задана в явной форме.

Внешний вид интерфейса не должен зависеть от платформы и браузера пользователя. Web-интерфейс должен одинаково или с незначительными отличиями работать во всех популярных браузерах на всех платформах. В связи с этим при разработке следует учитывать соответствие браузеров стандартам отображения информации W3C, многие из которых поддерживают стандарты не полностью. Соответствие или несоответствие стандартам обычно указывается на сайтах производителей браузеров, а также независимых экспертов с подробным указанием ограничения возможностей отображения [10]. Интерфейс должен также быть кроссплатформенным, то есть не содержать технологии стороны клиента, которые поддерживаются только одной операционной системой и одним браузером. Также интерфейс не должен требовать от пользователя установки дополнительных компонентов для обеспече-

ния корректной работы и отображения результатов.

Внешний вид интерфейса не должен зависеть от аппаратных средств отображения информации пользователя. В основной степени это относится к мониторам и их разрешающей способности, а также цветопередачи.

Интерфейс должен корректно отображаться при разном разрешении экрана. На рабочей области экрана должны быть видны все элементы управления, отсутствовать пустые поля и жесткие границы. В последнее время нормой стало использовать "резиновый" дизайн, согласно которому размеры всех элементов страницы указываются не в абсолютных, а в относительных элементах измерения. В результате этого рабочее поле автоматически меняет размер в зависимости от разрешающей способности монитора.

Учитывая вышеизложенное, можно резюмировать, что количество факторов, учитываемых при разработке ПС, значительно превышает количество факторов при разработке обычного ПО в связи с большей сложностью разработки и реализации ПС и затрагивает практически все аспекты современных информационных технологий, связанные не только с программными, но и аппаратными особенностями. На современном этапе проектирования ПС используется ранее разработанное и вновь разрабатываемое ПО и динамика развития показывает, что данная область современных информационных технологий является наиболее быстро эволюционирующей и постоянно развивающейся.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бездушный, А. А.* Возможности технологий ИСР в поддержке Единого Научного Информационного Пространства РАН (электронный ресурс) / А. А. Бездушный, А. Н. Бездушный, А. К. Нестеренко и др. // Российский научный электронный журнал "Цифровые библиотеки", Т. 7. Вып. 6, 2004. <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part6>.
2. *Липаев, В. В.* Проектирование программных средств / В. В. Липаев. – М.: Высшая школа, 1990.
3. 250 секретов HTML и Web-дизайна / Молли Хольцшлаг – М.: НТ Пресс, 2006.
4. *Булгаков, М. В.* Комплекс требований к аппаратным и программно-технологическим платформам для построения и поддержки образовательных порталов. Сравнительный анализ существующих платформ / М. В. Булгаков, В. В. Герасимов, Ю. Л. Ижванов и др. / Сб. научн. ст. "Интернет-порталы: содержание и технологии". Вып. 1. ГНИИ ИТТ "Информика". – М.: Просвещение, 2003. – С. 278–328.

5. Булгаков, М. В. Создание образовательных интернет-порталов с использованием системы управления динамическим сайтом iPHPortal / М. В. Булгаков, В. П. Носов // В сб. научных статей "Интернет-порталы: содержание и технологии". Вып. 2. / А. Н. Тихонов и др.; ГНИИ ИТТ "Информика". – М.: Просвещение, 2004. – С. 320–345.

6. Кузнецов, С. Введение в информационные системы / С. Кузнецов // Системы Управления базами данных № 2, 1997.

7. Кузнецов, С. Дубликаты, неопределенные значения, первичные и возможные ключи и другие экзотические прелести языка SQL / С. Кузнецов // Системы Управления базами данных № 3, 1997.

8. Богатырев, Р. Природа и эволюция сценарных языков / Р. Богатырев // Мир ПК. № 11, 2001.

9. Нильсен, Я. Веб-дизайн: книга Якоба Нильсена / Я. Нильсен. – СПб.: Символ-Плюс, 2006.

10. W3C DOM Compatibility Tables [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.quirksmode.org/>

УДК 004.414.2

А. М. Дворянкин, Е. В. Кривенко

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМЫХ ПОРТАЛЬНЫХ СИСТЕМ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ

Волгоградский государственный технический университет (dvam@vstu.ru, ieugene@mail.ru)

В данной статье рассматриваются критерии оценки порталных систем с открытым кодом, разработанные на основе анализа программного кода web-приложений. Данный материал охватывает большинство аспектов функционирования порталных систем, подлежащих анализу программного кода и приводит разработанные технические критерии оценки для систем, выполненных на базе web-технологий.

Ключевые слова: порталные системы, проблемно-ориентированное программное обеспечение, сервисная машина, критерии оценки web-приложений, операционная среда, кроссбраузерность, уязвимость к несанкционированному доступу.

A. M. Dvoryankin, E. V. Krivenko

TECHNICAL CRITERIA OF AN ESTIMATION OF PORTAL MANAGEMENT SYSTEMS

In the article the criteria of an estimation of open source portal management systems, developed on the basis of the analysis of a program code of web applications are considered. The article covers the majority of aspects of functioning of the portal systems which are a subject the analysis of a program code and results the developed technical criteria of an estimation for the systems using web technologies.

The open source portal management systems, the client-server technology, the problem oriented software, the criteria of an estimation of web applications, the engine, the vulnerability of web application, the web programming, the crossbrowser compatibility.

Под порталными системами (ПС) мы будем подразумевать пакеты программного обеспечения, являющиеся системами управления информационными и информационно-образовательными web-ресурсами. Свободно распространяемые порталные системы с открытым кодом – ПС, распространяемые по лицензии GNU GPL (GNU General Public License) [1].

При выборе ПС для реализации проекта необходимо определить наиболее подходящую из имеющихся в открытом доступе систем. Поэтому необходимо составление критериев оценки ПС, опирающихся только на техническую сторону проблемы, вне зависимости от маркетинговых ходов разработчиков и политики заинтересованных лиц.

Рассмотрим конкретные критерии оценки, выработанные при практическом рассмотрении ПС с точки зрения программиста. Разобьем оценку на этапы.

Этап 1. *Исследование инсталляционного пакета.*

При исследовании инсталляционного пакета обращают внимание на:

- технологии стороны сервера, используемые ПС;
- основной скриптовый язык программирования;
- СУБД, с которой работает ПС;

- операционную среду, в которой функционирует ПС;

- объем исходной базы данных (БД), присутствующей в инсталляционном пакете;

- файловую структуру ПС и соответствие ее стандартам для наиболее широко распространенных web-серверов;

- наличие инсталляторов для установки ПС.

Технологии стороны сервера, используемые ПС, являются первичным критерием оценки. Выбор определенной технологии определяет быстродействие, гибкость и переносимость ПС. Основным скриптовый язык программирования, выбранный для реализации ПС, является определяющим критерием для выбора операционной среды в зависимости от наличия или отсутствия интерпретаторов данного языка в той или иной операционной системе (ОС) [3]. Операционная среда складывается из ОС, web-сервера, интерпретаторов языков и под-держкой соответствующих СУБД. При оценке ПС обязательно знать, какой из компонентов операционной среды функционирует по умолчанию в той или иной ОС и возможность установки в данную ОС недостающих компонентов [2]. Объем исходной БД является одним из основных технологических моментов и базируется на требованиях провайдера по ограничению объемов хранения и передачи данных.

Файловая структура ПС должна соответствовать стандартной файловой структуре web-сервера. Стандартом де-факто является web-сервер Apache, реализации которого существуют практически для всех ОС.

Наличие инсталляторов не является обязательным. Инсталлятор должен создать соответствующую файловую структуру на сервере, создать конфигурационные файлы, создать БД и экспортировать ее структуру. Также инсталлятор должен быть кроссбраузерным и поддерживать несколько широко распространенных браузеров.

Этап 2. Исследование файловой структуры установленной ПС.

Проводится рассмотрение файловой структуры, созданной при инсталляции ПС инсталлятором или разархивацией программного пакета. В корневом каталоге должны присутствовать индексные файлы и каталоги с сервисами, а также служебные файлы сервера для управления разделением доступа и задания функционирования системы. В служебных файлах сервера должен быть принудительно отключен просмотр листинга каталогов и выдача сообщений об ошибках скрипта для повышения уровня безопасности. Каталог с конфигурационными файлами и системой администрирования ПС должен быть вынесен отдельно и доступ к нему из программ стороны клиента должен быть запрещен.

Этап 3. Исследование конфигурационного файла ПС.

Конфигурационный файл ПС должен обеспечивать взаимодействие ядра ПС с БД, используемой в системе, а также (необязательно) содержать пути к блокам и модулям сервисов и дополнительные настройки сервисов. Пути, прописанные в конфигурационном файле, должны быть относительными (от корневого каталога) а не абсолютными. Конфигурационный файл должен быть написан только на скриптовых языках стороны сервера и не содержать скрипты стороны клиента.

При тестировании используется статический метод символьного тестирования [8], заключающийся в проверке параметров аутентификации для подключения к БД.

Этап 4. Исследование механизма авторизации.

Стандартная схема авторизации пользователя предполагает наличие формы ввода логин/пароль, обработчика формы, устанавливаемых обработчиком сессионных переменных, таблицы БД с данными пользователей и их правами. Структурно блок авторизации может быть построен с использованием различных способов – в виде одного файла-обработчика или набора подключаемых модулей в различ-

ных файлах. Предпочтительным является использование одного файла-обработчика, содержащего все модули внутри себя и проводящего рекурсивную обработку введенных данных, результатом работы которого является идентификатор сеанса.

При анализе данного блока обращается внимание на следующие особенности:

- форма для ввода данных должна генерироваться блоком авторизации, а не являться самостоятельным модулем;
- в модуле авторизации обязательно отсутствие средств стороны клиента;
- используется метод передачи данных протокола HTTP.

В некоторых формах дополнительно используются модули, написанные на технологии стороны клиента. Примечательно то, что модуль, написанный на технологии стороны клиента, будет работать некорректно, если пользователь отключает обработку сценариев, что случается очень часто. Также использование сценариев понижает устойчивость приложения к несанкционированному доступу (НСД), поскольку сценарий может быть модифицирован и выполнен на стороне клиента.

Для обработки форм используются предоставляемые протоколом HTTP два метода работы с данными – GET и POST. Метод GET передает имена переменных и их значения через заголовков URL (Universal Resource Locator), добавляя их в конец URL. Такой метод передачи данных ограничен максимально возможной длиной строки URL, которая составляет 8192 символа. На SSL (Security Socket Layer) соединениях данные не шифруются, поскольку они являются частью URL. Метод POST передает имена переменных и их значения в теле запроса URL. Преимущества такого способа передачи данных состоят в том, что снимаются ограничения на объем передаваемых данных. Дополнительно при использовании SSL-соединения данные передаются в зашифрованном виде. Данные, передаваемые по методу GET, легко модифицируются пользователем прямо из браузера и поэтому их использование является небезопасным. Более безопасным, но также прозрачным является использование метода POST.

Следующей идет оценка используемого механизма сохранения состояния сеанса. Протокол HTTP не сохраняет информацию о состоянии сеанса, поэтому возникает необходимость идентификации клиента на протяжении сессии [4]. Для этих целей используются 2 метода: файлы cookies и сессии. *Cookies* – текстовые файлы, сохраняемые на компьютере клиента, в которых хранится информация о конкретном пользователе. *Сессии* хранят те же пары

"ключ/значение" на сервере [4]. Предпочтительнее использовать сессии, потому что прием файлов cookies может быть легко отключен пользователем. Поэтому в административных скриптах обычно используют оба метода одновременно. Данные механизмы применяются не только для авторизации клиента и передачи данных между скриптами, но и для защиты от XSS (межсайтового скриптинга).

Этап 5. Проверка функционирования запросов.

Функционирование любого web-ресурса построено на запросах протокола HTTP. Поэтому очень важно проанализировать обработку запросов, которая напрямую влияет на возникновение критических ошибок и безопасность ПС. Данные ошибки относятся к семантической и фатальной категориям [8].

Проблемные места находятся там, где в обработке запросов присутствует передача обработчику и прием параметров в явном виде в адресной строке браузера после URL. При отсутствии обработки входных данных на предмет соответствия диапазону значений может возникнуть критическая ошибка.

Этап 6. Проверка ПС на кроссбраузерность.

Результаты работы ПС должны корректно отображаться любым браузером, который может использоваться на стороне клиента. Эта задача относится к правильности функционирования интерфейса. Проблема с корректным отображением web-интерфейса в различных браузерах исходит из корректной поддержки браузерами спецификаций XHTML, CSS и DOM [5]. Если выдается сообщение о работе только в одном типе браузера, значит интерфейс ПС разработан неудовлетворительно.

Особенности отображения интерфейса в различных типах браузеров могут быть и не описаны в таблицах совместимости, а выявляться только путем сравнения внешнего вида интерфейса в различных браузерах.

Этап 7. Исследование административной панели ПС

Главное и основное достоинство ПС – возможность динамически конфигурировать сайт, не прибегая к изменению каждой страницы. Поэтому возможности ПС, в первую очередь, определяются возможностями настроек, задаваемых в административной панели.

Настройки, доступные через административную панель, могут быть разделены на главные и второстепенные. К *главным* относится

настройка свойств самой ПС, таких как язык отображения и используемая кодировка, опции работы с пользователями, назначение прав пользователей, позиционирование графического интерфейса сервисов, управление БД ПС. К *второстепенным* относится настройка свойств самих сервисов через их административные панели.

Главные качества административной панели, которые ставятся на первый план – удобство работы и функциональность. Панель должна быть спроектирована настолько удобно, чтобы работа с ней проходила на интуитивном уровне, без использования глубоких знаний в области проектирования и web-программирования.

Этап 8. Исследование уязвимости ПС к несанкционированному доступу.

После установки и настройки ПС необходимо протестировать ее на устойчивость к НСД и критическим ошибкам. Обычно НСД к ПС осуществляется следующими способами [6, 7]:

SQL-Injection – метод, предназначенный для введения SQL-запросов/команд через web-страницы;

Code Injection (include). Способ НСД к web-приложению, который заключается в том, чтобы выполнить нужный код на серверной стороне приложения.

Первоначально ищется описание уязвимостей ПС в Интернете. Найденные в Интернете методы проверяются на установленной ПС. Если НСД с помощью данной документации выполнен, то ищется на сайте разработчика ПС security patches (обновления системы безопасности) для данной уязвимости и модернизируется система. Подобный цикл повторяется до тех пор, пока уязвимость не будет устранена.

Для малораспространенной системы применяются данные, полученные на этапах 3–5. Методика генерации данных тестов довольно обширна и широко описана в открытых источниках, поэтому здесь она не приводится. Правильно настроенный web-сервер с правильно прописанными правами доступа, поддержкой .htaccess и правильно спроектированная ПС с учетом вышеупомянутых требований сводят риск НСД до минимума.

Учитывая вышеизложенное, можно сказать, что идеальных ПС, удовлетворяющих всем требованиям для реализации проекта, не существует, как и в общем идеального абсолютно универсального ПО. Данная методика экспертной оценки позволяет выбрать оптимальную с

технической точки зрения ПС, которую можно использовать в качестве базовой для построения информационных и информационно-образовательных ресурсов с высокой степенью интерактивности, отличающихся большим объемом и структурированностью данных, а также выявлять и устранять недостатки ПС собственной разработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. GNU General Public License [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
2. Булгаков, М. В. Комплекс требований к аппаратным и программно-технологическим платформам для построения и поддержки образовательных порталов. Сравни-

тельный анализ существующих платформ / М. В. Булгаков, В. В. Герасимов, Ю. Л. Ижванов и др. / Сб. научн. ст. "Интернет-порталы: содержание и технологии". Вып. 1. ГНИИ ИТТ "Информика". – М.: Просвещение, 2003.

3. Богатырев, Р. Природа и эволюция сценарных языков / Р. Богатырев // Мир ПК. № 11, 2001.

4. Кузнецов, А. В. PHP 5 на примерах / А. В. Кузнецов, И. В. Симдянов, С. В. Голышев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

5. W3C DOM Compatibility Tables [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.quirksmode.org/>

6. Кузнецов, А. В. Головоломки на PHP для хакера / А. В. Кузнецов, И. В. Симдянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

7. Вольфсон, Б. Внутримышечно и внутривенно // Спецхакер. № 2, 2007.

8. Лунаев, В. В. Проектирование программных средств. – М.: Высшая школа, 1990.

УДК 004.8; 004.9

А. В. Заболева-Зотова, Ю. А. Орлова

АТРИБУТНАЯ ГРАММАТИКА ФОРМАЛЬНОГО ДОКУМЕНТА "ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ"

Волгоградский государственный технический университет (zabzot@vstu.ru, yulia.orlova@gmail.com)

В работе рассматриваются особенности текста формального документа "Техническое задание" на программу или программное изделие и атрибутивная грамматика для анализа таких текстов с целью автоматизации начальных этапов проектирования программного обеспечения.

Ключевые слова: атрибутивная грамматика, семантический анализ, текст, техническое задание

A. V. Zaboloeva-Zotova, Y. A. Orlova

ATTRIBUTE GRAMMAR OF THE FORMAL DOCUMENT "TECHNICAL SPECIFICATION"

In work features of the text of formal document "Technical specification" on the program or a program product and attribute grammar for the analysis of such text are considered with the purpose of automation of the initial stages of software designing.

Attribute grammar, semantic analysis, text, technical specification

Общеизвестно, что разработка и анализ технической документации требует от лиц, занимающихся проектированием программного обеспечения семантической обработки большого объема технического текста, глубокого знания предметной области и навыков в проектировании. Трудоемкость процесса анализа текста приводит к необходимости его автоматизирования. Однако необычайная сложность проблемы синтеза и анализа семантики технического текста, для решения которой необходимо использовать симбиоз методов искусственного интеллекта, прикладной лингвистики, психологии и т. п., приводит к тому, что она до сих пор не решена.

В данной работе мы пытаемся автоматизировать начальный этап проектирования программного обеспечения – семантический анализ текста технического задания.

Для семантического анализа текста технического задания (ТЗ) необходимо создание унифицированной структуры текста технического задания, то есть создание такой грамматики, которая позволит наиболее полно отобразить содержимое технического задания.

Проблема состоит в том, что часть компонентов ТЗ содержит информацию, которая по своему характеру является нечеткой, что обусловлено вариантностью и подвижностью границ языковой нормы и статистическим харак-

тером отдельных видов информации. Неточность информации, содержащейся в компонентах ТЗ, относится к семантическому и предметно-зависимому уровню ТЗ и обусловлена сложностью процесса формализации описываемых явлений. Рекомендации по проведению такой формализации формулируются в виде описаний на естественном языке, апеллирующих к языковой интуиции человека, и могут трактоваться различными специалистами по-разному.

Практически непреодолимой причиной неполноты лингвистической информации является открытость и постоянное развитие ЕЯ: появление новых языковых единиц, изменение свойств существующих единиц и правил их сочетаемости. Такая динамика особенно заметна в подязыках новых предметных областей с несостоявшейся терминологией.

Другой причиной неполноты лингвистической информации является наличие огромного числа нюансов и языковых особенностей отдельных носителей языка, описать и формализовать которые на сегодняшний день не представляется возможным.

Часть информации, содержащейся в ТЗ, может быть ошибочной. Ошибочная информация отличается от неточной тем, что для неточной информации известно, насколько она может не соответствовать действительности. Ошиб-

бочная информация может быть маркирована даже как точная, но в то же время полностью противоречить реальной ситуации.

Основными причинами, ведущими к образованию ошибочной информации в ТЗ, является устаревание информации, ошибки ручного ввода, несогласованности при формировании ТЗ различными экспертами, ошибки автоматизированного формирования.

Влияние указанных источников потенциальных ошибок на качество ТЗ может быть ослаблено, однако полностью нейтрализовать его невозможно. Рассмотрим ТЗ как информационный ре-сурс и выделим его особенности.

Особенности текста технического задания на ограниченном естественном языке

Задачей исследования является автоматизированная обработка текста документа, который изначально создается человеком на естественном языке с соблюдением примерной структуры, требования к которой изложены в ГОСТах.

На данном этапе развития методов анализа текста не представляется возможным анализировать естественный язык без каких-либо ограничений, поэтому необходимо выявить особенности существующей практики написания технических заданий и сформулировать дополнительные требования, которым должно удовлетворять техническое задание, чтобы оно могло быть проанализировано с помощью предлагаемой в данной работе системы.

При проведении исследований было рассмотрено множество различных вариантов ТЗ и детально изучены ГОСТ 19.201–78 и ГОСТ 34.602–89.

В результате было отмечено, что:

а) ТЗ представляет собой документ, написанный техническим языком, и обладает следующими стилевыми особенностями:

текст не содержит образных выражений, оценочных прилагательных, почти лишен наречий, естественная полисемичность языка сводится к минимуму использованием заранее определенных терминов;

текст содержит следующие грамматические конструкции: грамматическая основа с рядом дополнений (доминирующая конструкция), причастные и деепричастные обороты. С точки зрения русского языка, причастные и деепричастные обороты эквивалентны отдельным предложениям, где подлежащее заимствуется из основного предложения;

б) наиболее удобным и распространенным способом описания функций системы, а также ее входных и выходных данных являются пронумерованные предложения на русском языке, причем одной функции или элементу данных соответствует одно предложение;

в) как правило, для элементов данных указан тип, число элементов данных и название;

г) для функций часто указывается тип: "Основная", "Дополнительная" или "Вспомогательная";

д) функция системы описывается согласно концепции "черного ящика", то есть в описание включают ее входы и выходы, не касаясь способа реализации функции и ее внутренних процессов;

е) текстовая строка, описывающая функцию, как правило, содержит название действия, объект, над которым оно выполняется и источник действия;

ж) очень часто входом является источник действия, а выходом – объект, реже и входом и выходом функции является объект, тогда источник отсутствует (за счет совпадения источника и объекта), например, функция "сортировка числового массива по возрастанию" имеет числовой массив в качестве входа, выхода, источника и объекта.

Перечисленные тенденции нашли свое отражение в грамматике ТЗ. Для того, чтобы пользователь системы мог без детального изучения грамматики готовить реальные ТЗ для обработки в системе, были сформулированы рекомендации к написанию ключевых разделов.

Грамматика формального документа "Техническое задание"

На основе рассмотренных особенностей ТЗ сформулируем требования к грамматике: возможность представления неточной информации и гибкость – грамматика должна позволять осуществлять процесс обработки ТЗ с минимально возможными потерями.

Для построения грамматики возможно использование нечетких порождающих атрибутивных грамматик. С их помощью можно передавать информацию из левой части порождающего правила в правую. Преимущества атрибутивных грамматик в том, что они могут специфицировать и контекстно-свободные и контекстно-зависимые языки.

Важным моментом является неоднозначность грамматик (можно построить более одно-

го дерева разбора) и реализация нисходящего разбора при синтаксическом анализе. Но разрабатываемая грамматика технического задания сводима к праволинейной грамматике в связи:

- с выбором узкоспециализированной области естественного языка. То есть имеется в виду, что для анализа текста технического задания будут использоваться только грамматики построения фраз из этой сферы;

- наличием в грамматике атрибутов.

Между вхождением атрибутов в дерево разбора существуют зависимости, определяемые семантическими правилами, соответствующими примененным синтаксическим правилам. Формализм атрибутивных грамматик является очень удобным средством для описания семантики текста.

Мы будем говорить на языке, сочетающем особенности атрибутивного формализма и обычного языка, в котором предполагается возможность управления порядком исполнения операторов. Этот порядок привязывается к обходу атрибутивного дерева разбора сверху вниз и слева направо. Все атрибуты должны быть вычислены за один такой обход.

Описание атрибутивной грамматики состоит из раздела описания атрибутов и раздела правил. Раздел описания атрибутов определяет состав атрибутов для каждого символа грамматики и тип каждого атрибута. Правила состоят из синтаксической и семантической части. Семантическая часть правила состоит из локальных объявлений и семантических действий. В качестве семантических действий допускаются как атрибутивные присваивания, так и составные операторы.

Атрибутивная грамматика ТЗ представляет собой формализм, описывающий структуру ТЗ, и является главным элементом, предназначенным для преобразования данных из "сырого текста" ТЗ к виду списка предложений ограниченного естественного языка и дальнейшего его разбора.

Фактически грамматика ТЗ используется для разбиения исходного текста документа на разделы и обработки наиболее важных из них для нашей задачи. Для этого требуется четкое соблюдение структуры документа. ТЗ представляет собой структурированный текст, состоящий из последовательности заранее заданных разделов.

Сформулированные на ограниченном естественном языке (ОЕЯ) требования к функцио-

нальности системы содержат семантически значимую информацию, которую и надлежит формализовать и представить в виде инвариантной к ОЕЯ модели.

Чтобы сделать ОЕЯ инвариантным к перестановкам слов, падежному изменению словоформ, предполагается использование методов морфологического анализа путем построения морфологического фильтра, который на основе анализа падежей существительных в предложении ОЕЯ выделяет элементы, например, существительное в именительном падеже является объектом, но в случае, если таких существительных два, и винительный и именительный падежи неразделимы – первое встреченное существительное – субъект, второе – объект.

В структуре технического задания выделены ключевые слова, на основании которых определяется принадлежность раздела к определенному нетерминалу, так как названия разделов могут быть не фиксированы и различаться в формулировках, например, "входы" или "входные данные".

Была разработана атрибутивная грамматика для семантического анализа текста технического задания. Продукционные правила верхнего уровня служат для разбора разделов верхнего уровня. Правила для разбора разделов состоят из двух частей: первая часть служит для разбора названия раздела, вторая – для разбора текстового содержимого раздела. Символы данной грамматики могут обладать синтаксическими атрибутами. В атрибутах нетерминальных символов указываются названия семантических атрибутов. В атрибутах терминальных символов могут быть дополнительно указаны синтаксические атрибуты текста. Сравнение слов при разборе производится с учетом их морфологии.

Рассмотрим фрагмент разработанной атрибутивной грамматики, представленной в xml-формате:

```
... <global-rule id="Section42" comment =
"Раздел 4.2. Требования к функциональным
характеристикам"><rule><rulerefuri="#Section42
Name"/><ruleref uri="#Section42x"/></rule>
</global-rule>
<global-rule id="Section42Name" sectionPart
="Name" comment="Заголовок раздела 4.2.">
<rule><clause clauseType="НЕОПРЕД"/><rule
type="or"><words contains="функции"/> <words
contains= "функциональные характеристики"/>
</rule></rule></global-rule>
```

```
<global-rule id="Section42x" frame="FunctionFrame" frameSlot="Function" comment="Функция"><rule> <ruleref uri="#Section42xName" /> <ruleref uri="#Section42xContent" /> </rule></global-rule>
```

```
<global-rule id="Section42xContent" sectionPart="Content" comment="Входы и выходы функции"><rule><ruleref uri="#Section42xInputs" minOccurs="0"/><ruleref uri="#Section42xOutputs" minOccurs="0"/></rule></global-rule>
```

```
<global-rule id="Section42xInputs" comment="Входы функции"><rule><sentence><clause><rule type="or"><words contains="входы"/><words contains="входные данные"/></rule><ruleref uri="#Input" maxOccurs="unbounded"/></rule></global-rule> ...
```

В правилах грамматики имеются синтаксические, семантические атрибуты и атрибуты, которые указывают степень выполнения правила. Например, синтаксический атрибут указывается следующим образом: <Основание для разработки>::'Название', а семантические: <Описание функции>::'Фрейм ФУНКЦИЯ=Создание' – название атрибута и действие.

Синтаксические атрибуты, используемые в грамматике:

- 'Название' – текст представляет собой наименование раздела;
- 'Содержимое' – текст представляет собой содержимое раздела;
- 'Клауза' – клауза;
- 'Клауза НЕОПРЕД' – клауза, не несущая смысла для описания системы;
- 'Клауза ТИРЕ' – Фрагмент с тире;
- 'Группа ГЕНИТ_ИГ' – именительная группа, связанная родительным падежом.

Семантические атрибуты, используемые в грамматике:

- "Фрейм СИСТЕМА=Создание" – создает фрейм СИСТЕМА;
- "Слот НАЗВАНИЕ СИСТЕМЫ=Присваивание" – значение присваивается слоту НАЗВАНИЕ СИСТЕМЫ;
- "Фрейм ПОТОК ДАННЫХ=Создание" – создается фрейм ПОТОК ДАННЫХ;
- "Слот ВХОД=Присваивание", "Слот ВЫХОД=Присваивание" – значение присваивается слотам ВХОД, ВЫХОД;
- "Слот КОЛ-ВО ДАННЫХ = Присваивание" – значение присваивается слоту КОЛИЧЕСТВО ДАННЫХ;
- "Слот ТИП ДАННЫХ = Присваивание" – значение присваивается слоту ТИП ДАННЫХ;

- "Слот НАЗВАНИЕ ПОТОКА ДАННЫХ = Присваивание" – значение присваивается слоту НАЗВАНИЕ ПОТОКА ДАННЫХ;

- "Фрейм ФУНКЦИЯ=Создание";

- "Слот НАЗВАНИЕ ФУНКЦИИ = Присваивание" – значение присваивается слоту НАЗВАНИЕ ФУНКЦИИ;

- "Слот НАЗВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ = Присваивание" – значение присваивается слоту НАЗВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ;

- "Слот ОБЪЕКТ = Присваивание" – значение присваивается слоту ОБЪЕКТ;

- "Слот ОГРАНИЧЕНИЕ НА ФУНКЦИЮ = Присваивание" – значение присваивается слоту ОГРАНИЧЕНИЕ НА ФУНКЦИЮ.

Методы представления связей между правилами могут быть транслированы на язык нечеткой математики. При этом связи могут быть представлены нечеткими отношениями, предикатами и правилами, а последовательность преобразований этих отношений – как процесс нечеткого вывода. Атрибуты, указывающие вероятность выполнения правила, необходимы для построения нечеткого вывода. Если какое-либо правило, содержащее данный атрибут, выполняется, то происходит изменение в атрибутах всех вышестоящих правил и их вероятности увеличиваются.

Статистические наблюдения, позволяющие оценить частотность или вероятность того или иного события, могут быть также представлены в виде нечеткого предиката или отношения над множеством исследуемых объектов.

Нечеткий вывод является наиболее мощным средством преобразования и обработки нечеткой информации. Однако существующие алгоритмы его реализации (метод нечетких резолюций) активно используют механизм возвратов. Применение подобного механизма нечеткого вывода в качестве основного средства обработки информации может оказаться крайне неэффективным. Нечеткий вывод может быть использован не "глобально", как основной механизм обработки, а "локально", в рамках отдельных процессов. При этом в рамках описанного процесса, там, где это уместно и может быть эффективно использовано, выполняется нечеткий вывод для получения новой информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заболеева-Зотова, А. В. Естественный язык в автоматизированных системах. Семантический анализ текстов / А. В. Заболеева-Зотова. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002.

2. Заболеева-Зотова, А. В. Разработка средств автоматизированного проектирования программного обеспечения на основе анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // В сб. трудов Международных научных конференций "Интеллектуальные системы" (AIS'05) и "Интеллектуальные САПР" (CAD'2005). – М.: Физматлит, 2005, Т. 2. – С. 41–43

3. Заболеева-Зотова, А. В. Применение естественно-языковых конструкций в программировании: преобразование текста программы в более удобный вид / А. В. Заболеева-Зотова, А. Ю. Пастухов // Труды Международного семинара Диалог'2000 по компьютерной лингвистике и ее приложениям. Т. 2. Прикладные проблемы. Протвино, 2000.

УДК 658.58

А. В. Кизим, Н. А. Линева

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ

Волгоградский государственный технический университет (kizim@vstu.ru)

В статье представлены основные результаты, полученные в ходе исследований процессов по поддержанию работоспособного состояния оборудования предприятий и формирования методики автоматизации ремонтных работ предприятия. В разработанной методике автоматизации ремонтных работ предприятия формализованы процессы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), субъекты процесса ТОиР, объекты ТОиР, документация по ТОиР. Приводится структура методики. Отдельно выделены задачи создания методики, основные обязанности главного механика, показатели системы ТОиР, источники и состав исследованной информации. Представлены перспективы использования разработанной методики.

Ключевые слова: автоматизация технического обслуживания и ремонтов оборудования, эффективное использование ресурсов оборудования, анализ процессов ТОиР, методика автоматизации ремонтных работ

A. V. Kizim, N. A. Linyev

THE AUTOMATION MAINTENANCE ENTERPRISE METHODIC INVESTIGATION AND DESIGN

In article the basic results received during researches of maintenance processes of an efficient enterprises equipment condition and formation of a enterprise repair work automation technique are presented. In the developed repair work automation technique there are enterprise maintenance and repair processes, subjects of maintenance process, objects of maintenance, the maintenance documentation are formalized. The technique structure is resulted. Problems of technique creation, the basic duties of the main mechanic, system of maintenance indicators, sources and structure of the investigated information are separately allocated. Prospects of the developed technique use are presented.

The maintenance automation, the effective use equipment resources, the analysis of maintenance processes, technique of maintenance automation.

Цель деятельности системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) – обеспечение работоспособности оборудования путем качественного, своевременного и безопасного проведения технического обслуживания и ремонта оборудования при рациональном использовании ресурсов. Обеспечение работоспособности оборудования подразумевает проведение комплекса мероприятий по поддержанию и восстановлению технико-экономических показателей оборудования с целью предотвращения его внеплановых отказов. Качественное и безопасное проведение технического обслуживания и ремонтных работ – соблюдение всех действующих регламентов в процессе производства работ, а также применение новейших технологий диагностирования и обслуживания оборудования. Рациональный уровень использования ресурсов – минимизация затрат в процессе обеспечения работоспособности оборудования.

Для автоматизированной поддержки ремонтных служб предприятия необходимо исследовать процесс проведения ремонтных работ на этом предприятии. Результатом такого исследования является методика автоматизации таких работ. Для создания методики были поставлены следующие задачи:

- выделение объекта исследования;
- выделение направлений исследования;

- выявление субъектов процесса ТОиР, должностных обязанностей и функций служб ТОиР;
- исследование документации по ТОиР;
- исследования состава оборудования и объектов обслуживания;
- выявление видов и состава работ;
- описание процессов ТОиР;
- оформление методики автоматизации ремонтных работ предприятия.

Для исследования процесса проведения ремонтных работ было выбрано предприятие ООО "ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка" (далее – предприятие), которое является потенциальным инвестором. Исследована организационная структура и ключевые участники системы ТОиР. На данном предприятии за комплекс работ по ТОиР прежде всего отвечает отдел главного механика (ОГМ), который возглавляет главный механик (ГМ).

Для определения комплекса функциональных обязанностей отдела главного механика исследованы типовые должностные инструкции ОГМ и ГМ.

Основные обязанности ГМ: обеспечение бесперебойной и технически правильной эксплуатации и надежной работы оборудования; организация разработки планов (графиков) осмотров, испытаний и профилактических ремонтов оборудования; организация межремонтного

обслуживания, своевременного и качественно-го ремонта и модернизации оборудования; руководство работниками отдела и подразделениями, осуществляющими ремонтное обслуживание оборудования.

Основные функции ОГМ: разработка годовых, квартальных и месячных планов и графиков всех видов ремонта оборудования, сооружений; участие в составлении и проверке дефектно-сметной ведомости на ремонтируемое оборудование; обеспечение экономного расходования материалов, предназначенных на ремонт оборудования; подготовка заявок соответствующим службам завода на материалы и комплектующие изделия для ремонта и обслуживания технологического оборудования; взаимодействие с другими отделами и службами в целях обеспечения комплекса работ по ТОиР.

Кроме того, исследованы должностные инструкции ОГМ и ГМ предприятия, а также других субъектов процесса ТОиР оборудования.

Основными показателями системы ТОиР являются:

- объекты обслуживания и ремонта;
- структура работ по обслуживанию и ремонту оборудования;
- сроки выполнения работ;
- затраты на производство работ по обслуживанию и ремонту оборудования;
- объем платежных средств необходимых для производства работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

Так как одними из основных результатов, характеризующих деятельность ОГМ, являются документы, проведено исследование документации, участвующей в процессе деятельности ОГМ. Исходными данными и источниками для исследования являлись стандарты предприятия и положение о структурном подразделении – Отделе главного механика управления. Проведено изучение состава и содержания внутренних и внешних первичных документов, таких как заявка на ремонт, график ремонта, акты и другие. Проведена привязка документации к функциям ОГМ. Определен состав входной (25 документов) и выходной документации (порядка 10).

Исследования состава оборудования и объектов обслуживания проведены для характерных подразделений предприятия. В качестве объектов такого исследования были выбраны сначала автоматизированные линии масляного производства, а затем технологическая установка по производству битума и установка первичной переработки нефти, являющаяся наиболее характерным примером. Изучены краткие характеристики установок. Выявлен спектр типов оборудования, намечены направления будущей работы по сбору информации об оборудо-

вании. Проведены первичное выявление типовых параметров оборудования, а также систематизация информации по оборудованию исследованных объектов. По изученным установкам собрана информация по следующим направлениям:

- логическая схема оборудования;
- список агрегатов и узлов;
- структура оборудования;
- состав работ по ТОиР с периодичностью обслуживания;
- возможные неполадки, причины и способы их устранения.

На основании описанной выше информации, выявлены виды работ ОГМ. По функциям деятельности служб ТОиР составлены блок-схемы и IDEF0-диаграммы процессов ТОиР.

Результаты исследования оформлены в виде методики автоматизации ремонтных работ предприятия, которая является приложением к научному отчету за этап 1 НИОКР "Создание прототипа системы автоматизации ремонтных служб предприятия" (государственный контракт №4893р/7215 от 27.03.2007), финансируемый Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Методика содержит следующие разделы:

1. Введение, общие положения и терминология.
2. Система ТО и ремонта техники (СТОиРТ).
 - 2.1. Состав процесса ТОиР.
 - 2.1.1. Виды ресурсов.
 - 2.1.2. Виды работ.
 - 2.2. Объекты ТО и ремонта.
 - 2.3. Средства ТО и ремонта.
 - 2.4. Исполнители ТО и ремонта.
 - 2.5. Документация.
3. Субъекты процесса.
 - 3.1. ОГМ.
 - 3.2. ГМ.
 - 3.3. Начальник цеха/установки.
 - 3.4. Механик.
 - 3.5. Сервисное предприятие.
4. Процессы ТОиР.
 - 4.1. Процессы ремонта.
 - 4.1.1. Виды работ.
 - 4.1.2. Техническая документация на ремонт.
 - 4.1.3. Планирование ремонтов.
 - 4.2. Ремонтные нормативы.
 - 4.2.1. Временные нормативы
 - 4.3. Порядок приема оборудования в ремонт.
 - 4.4. Формы и методы проведения ремонта.
 - 4.5. Порядок приемки оборудования из ремонта.
 - 4.6. Процессы технического обслуживания.
 - 4.6.1. Описание процессов As-is.
 - 4.6.2. Описание процессов To-be.
 - 4.7. Специфические процессы ТОиР.

5. Эксплуатация машин и оборудования.
 - 5.1. Приемка и ввод машин в эксплуатацию.
 - 5.2. Использование машин.
 - 5.3. Транспортирование машин при необходимости.
 - 5.4. Техническое обслуживание и ремонт машин.
 - 5.5. Хранение машин.
 - 5.6. Снятие машин с эксплуатации.
 - 5.7. Эксплуатационные документы.
6. Вопросы обеспечения ТОиР.
 - 6.1. Техника безопасности при техническом обслуживании и ремонте.
 - 6.2. Информационное обеспечение ТО и ремонта.
 - 6.3. Материально-техническое обеспечение ТО и ремонта.
 - 6.4. Типовые объемы работ при ремонте оборудования.
7. Список использованных источников.

В качестве источников информации использованы ГОСТы по ТОиР, эксплуатации оборудования и машин, Система технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий химической промышленности, а также должностные инструкции и положения для субъектов процесса ТОиР.

В приложениях приведены формальные описания процессов ТОиР "as-is" и "to-be" в виде функциональных IDEF0-диаграмм.

Полученные результаты позволят создать не только методологическую базу для работ ТОиР, но и автоматизировать соответствующие процессы. В качестве перспектив дальнейшего развития полученные результаты будут развиты в алгоритмы и модели автоматизации функций ТОиР, что, в конечном счете, позволит создать автоматизированную поддержку процессов деятельности служб, обеспечивающих бесперебойное функционирование оборудования широкого круга предприятий и организаций.

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562

Е. С. Кубашева

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ РАБОТЕ С БРАКОМ

Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола (cad@vstu.ru)

В работе приводится описание процессного подхода при работе с браком. Этот подход предлагается международным стандартом ISO 9000. Такой подход позволяет разделить процесс получения брака на отдельные этапы, что позволяет упростить контроль за качеством изделий.

Ключевые слова: качество, процессный подход, ISO9000.

E. S. Kubasheva

MAIN ASPECTS OF REALIZATION PROCESS-ORIENTED APPROACH TO WORK WITH DEFECT ON ELECTRONIC FACTORIES

The paper shows benefits of process-oriented approach to analyze defects. This approach is part of international standard ISO 9000. This approach allows to divide work process on some stages. It helps to control of quality.

Quality, process-oriented approach, ISO9000

Пройдя долгий путь эволюционного развития, мировая система управления качеством [3] соединила в себе все прогрессивные методы и принципы управления, дающие социально-экономический эффект. Являясь для потребителя самым объективным фактором, качество изделий позволяет предприятию занять более конкурентоспособное положение на современном рынке. В настоящее время это особенно актуально для предприятий, работающих в области радиоэлектронной промышленности. При разработке и внедрении новых технологий, методик и моделей управления качеством широко используется опыт реализации систем качества, в основе которых лежат стандарты ИСО серии 9000.

Одним из базовых понятий, на которых строятся Международные стандарты ИСО серии 9000, является "процессный подход" [3], то есть любой вид деятельности рассматривается как процесс. Пользуясь терминологией ИСО,

под процессом следует понимать совокупность взаимосвязанных видов деятельности, преобразующих входы в выходы посредством использования определенных ресурсов. Процессами также являются все действия, направленные на исходный материал (вход процесса), увеличивающие его ценность за счет применения квалифицированного труда, знаний и современных технологий, и приводящих к определенному результату (выходу процесса). Таким образом, основное назначение процессного подхода в целом состоит в том, чтобы, оказывая некоторое воздействие на ресурс, имеющийся на входе процесса, получать требуемый результат на выходе с определенными качественными показателями. Именно нацеленность на результат является целью каждого отдельного процесса.

Отмечено [3], что выделять процессы на предприятии целесообразно при условии назначения для каждого идентифицированного процесса своего владельца, то есть человека,

в обязанности которого входит обеспечение работоспособности процесса, его развитие, усовершенствование, распределение бюджетных средств, как для отдельных составляющих процесса, так и для всего процесса в целом, а также взаимодействие с параллельнопротекающими на предприятии процессами.

Рассмотрим применение принципов процессного подхода к работе с браком на предприятиях электронной промышленности. Основное назначение любого промышленного предприятия – это выпуск качественной продукции. Соответственно процесс производства является основным. Но имеет место и тот факт, что наряду с выпуском продукции требуемого уровня качества, часть изделий производится с дефектами. На это влияет ряд факторов, связанных как с наладкой оборудования, качеством исходного сырья и материалов, так и с непосредственной работой персонала предприятия. Таким образом, следует отметить, что на предприятии одновременно осуществляются два типа процессов: процесс производства качественной продукции и процесс производства дефектных изделий, обусловленный несоответствиями условий осуществления процесса требуемым параметрам. Следовательно, процесс формирования брака представим как самостоятельный, осуществляющийся параллельно основному производственному процессу. Количество различных форм брака равно количеству осуществляемых процессов. Эта возможность обусловлена тем, что ряд дефектов имеет длительный инкубационный период и обладает способностью аккумулировать дефект по мере продвижения изделия по стадиям технологического процесса, то есть представляет своего рода цепочку взаимосвязанных подпроцессов. Так как дефект в данном случае накапливается, то можно говорить, что сформированное на выходе одного подпроцесса отклонение может возрасти на выходе следующего вследствие определенного воздействия на изделие в процессе обработки. При этом одной из главных задач в этой области исследований является задача выбора и осуществления мер, направленных на контроль указанных процессов.

Таким образом, сопоставив процесс производства с процессом формирования брака, то есть выявив причины возможного возникновения дефекта, можно обнаружить, нарушение каких условий и режимов обработки повлекло за собой снижение стабильности и устойчивости производственного процесса и, как следствие, увеличение числа некондиционных изделий. Сте-

пень влияния и взаимосвязь этих факторов определены при построении причинно-следственных диаграмм по результатам проведенного анализа возникновения той или иной формы брака. На диаграммах, кроме причин дефектности, обусловленных нарушением условий обработки, учитывается влияние состояния исходного сырья, материалов и оборудования, а также субъективные причины, такие, как человеческий фактор.

Рассматривая возможность применения принципов процессного подхода в работе с браком, для примера приведем процесс формирования дефекта типа "скол" при производстве металлокерамических коммутационных плат (МКК). Под сколами, в рамках данной работы, подразумеваются как сколы металлизации, так и сколы керамики. Анализ показал [5], что скалываемость является самым сложноустраняемым видом брака и контролируется на большинстве технологических операций в силу того, что причины его возникновения могут находиться на начальных стадиях техпроцесса, а проявиться только на выходе. Кроме того, скол может возникать при осуществлении любого вида контроля и проведении ряда испытаний в силу объективных, связанных с прочностными свойствами керамики, вызванными нарушением режимов обработки исходного сырья и качеством сырьевых составляющих, или субъективных причин – при неосторожном обращении с изделиями, неаккуратностью персонала предприятия.

Отмечено, что осуществляемые на производстве организационно-технические мероприятия не оказывают какого-либо существенного влияния на уровень брака. Более значимое ухудшение ситуации по сколам отмечено у крупногабаритных изделий с большим числом металлизированных контактных площадок, скалывающихся в первую очередь. Стабильное возрастание уровня дефектности по сколам указывает на постоянное усиление детерминированных факторов дефектности. При производстве как крупногабаритных, так и малогабаритных изделий, к детерминированным факторам дефектности по сколам относятся масса и объем производства. В свою очередь, проводимый экспертный анализ результатов контроля показал, что наиболее значимыми контролируемыми параметрами являются: сила удара при массовой обработке изделий и вероятность удара, пропорциональная числу контактных площадок [2].

Таким образом, для экспертной оценки вероятности одиночного скола на отдельном

изделии ряда верным будет соотношение:

$$P_c = P_c(F_{уд}; n_{уд}; k_{пл}), \quad (1)$$

где $F_{уд}$ – сила удара при массовой обработке изделий; $k_{пл}$ – число контактных площадок; $n_{уд}$ – число изделий в технологической емкости.

Учитывая указанное выше, верными будут и следующие утверждения:

- при обработке изделий с фиксированной массой каждой платы ($F_{уд} = \text{const}$) с произвольным, но также фиксированным в пределах загружаемой партии числом контактных площадок ($k_{пл}$) загрузка в целях снижения уровня брака должна быть обратно пропорциональна числу контактных площадок на отдельном изделии. В этом случае вероятность сколов снижается;

- при обработке изделий с фиксированным числом контактных площадок ($k_{пл} = \text{const}$) с произвольной, а также фиксированной в пределах партии массой отдельного изделия, а также с фиксированной суммарной массой загрузки вероятность сколов ($P_c = \text{const}$) перестает зависеть от прочих конструктивно-технологических особенностей изделия.

Таким образом, для данной формы брака детерминированные факторы массы и программы производства ограничивают возможности активной корректировки технологических режимов и обуславливают необходимость дополнительного отбора сырья из объемов, в целом находящихся в поле допуска. С увеличением программы производства доля сырья, обладающая необходимыми для заказчика характеристиками, снижается, одновременно снижается и процент изделий, для которых одновременно может быть выставлен оптимальный режим [2].

К случайным факторам относится фактор размещения изделия (в центре или на краю подставки), определяющий разброс фактической температуры спекания. Условно-детерминированным фактором считается несоответствие состава стеклофазы, детерминированное в пределах одной партии сырья, и изменяющееся случайным образом при переходе от одной партии сырья к другой. Подобно проблеме влияния программы производства и массогабаритных показателей задача влияния особенностей стеклофазы относится к задачам анализа наиболее значимых детерминированных факторов.

В целом же состояние дефектности по стадиям технологической обработки может быть представлено диаграммой Парето, приведенной на рис. 1 [2].

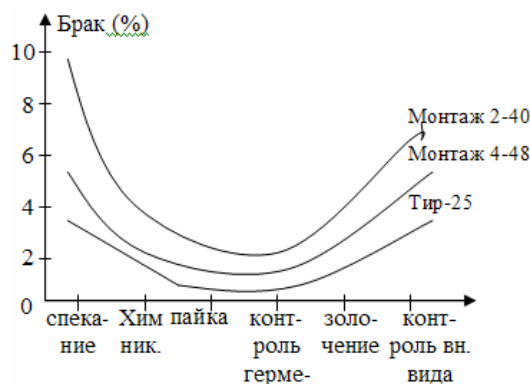


Рис. 1

Очевидно, что в данном аспекте входом процесса формирования скола является качество ресурсов предприятия. Очевидно, что для реализации процесса предприятие должно обладать необходимым оборудованием, машинами, механизмами, методическими разработками, оборудованными лабораториями. Кроме того, необходим компетентный и обученный персонал предприятия, способный к самостоятельному обучению и овладению новыми знаниями, готовый подготовить смену из молодых сотрудников предприятия. Также одним из элементов входа является качество исходного сырья, глинозема, от качества которого во многом зависит дальнейший производственный процесс. Высокое качество ресурсов на входе процесса является неременным условием повышения качества выхода при формировании изделия с определенными характеристиками.

Существующий подход к оценке технологического процесса и качества продукции достаточно универсален [1] и заключается в оценке состояния всего процесса, качества заготовок после каждого блока операций и изделий на выходе. В настоящее время встает вопрос не о контроле каждого участка процесса, а о контроле каждого из видов брака в отдельности в течение всего техпроцесса (рис. 2).

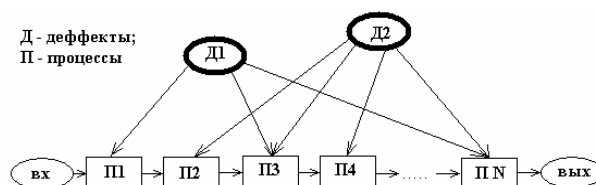


Рис. 2

Все это особенно характерно для предприятий, на которых производственный процесс носит массовый характер, включает большое число операций, сопровождающихся постоянным воздействием на материал. Особенностью такого рода производств является то, что они не поддаются моделированию в обычном понимании (модель бывает настолько сложной, что выводы, полученные на ее основе, практически невозможно перенести на условия реального производства), и не поддаются разбиению на элементы (совокупности операций, в пределах которых брак может быть устранен, не выходя за пределы совокупности).

Как было отмечено выше, одним из факторов дефектности является массовость производства, предполагающая разбиение производства по цехам, объединяющим группы родственных операций (цех приготовления материалов: смешивание, приготовление шликера, диспергирование; цех формообразования: придание необходимой формы путем сослоения слоев коммутаций, разрезание многослойной платы и спекание вырезанных заготовок; цех сборки, пайки и нанесения защитных покрытий: пайка внешних выводов и гальваническое нанесение металлов). Эффект в этом случае особенно заметен в плане повышения производительности цехов, где все понимают друг друга, а также в том случае, когда необходимо устранить дефекты характерные (понятные) для этого цеха.

Проигрывает подобная организация структуры предприятия по производству МКК прежде всего в отношении борьбы с наиболее опасными дефектами, имеющими длительный инкубационный период, природа которых лежит на "стыке наук". Организационные барьеры резко сужают возможность многопланового анализа таких дефектов, в процессе которого объект одновременно (взаимообучаясь) анализируют специалисты трех цехов: по технологии керамических материалов, формообразования, металловедения и электротехники.

Значительную часть перечисленных выше проблем, стоящих на пути снижения уровня дефектности МКК, способно решить применение принципов процессно-ориентированного подхода к формированию брака МКК и МКП, так как процессный подход предполагает взаимосвязь системы процессов с функциональными подразделениями предприятия.

Таким образом, определяются границы процессов (по входам/выходам, выполняемым

функциям подразделений), а также согласуются структура деловых (продольных) и функциональных (поперечных) процессов в рамках системы процессов предприятия.

Выделенные формы брака должны обеспечивать необходимый эффект дополнительных организационных мероприятий, которые обеспечивают прозрачность техпроцесса, устраняя межведомственные (межцеховые) барьеры, но неизбежно усложняют организационную структуру производства.

Поскольку одним из признаков процессного подхода является выделение (назначение) "владельца" процесса, представляется целесообразным выделить в качестве исследуемого процесс работы с конкретной формой брака, который включает в себя:

- предупреждение возникновения конкретного вида брака;
- контроль и регулировку параметров технологического процесса, критичных для конкретного вида брака;
- отслеживание возникновения определенного вида брака, иными словами, недопущение возникновения закрепленного за ним вида брака.

Реализация на предприятии принципов процессного подхода не возможна без назначения "владельцев" [3] для каждого процесса, то есть ответственных за формирование конкретной формы брака, в обязанности которых будет входить:

- предупреждение возникновения конкретного вида брака;
- контроль и регулировка параметров технологического процесса, критичных для конкретного вида брака;
- отслеживание возникновения определенного вида брака, иными словами, недопущение возникновения закрепленного за ним вида брака.

Назначение ответственных или, согласно теории процессного подхода, "владельцев" процессов позволит повысить заинтересованность персонала в выпуске качественной продукции.

Использование идеи процессного подхода в качестве методологической основы для работы с браком предоставляет возможность дефрагментировать процесс формирования брака, то есть "собрать" воедино то, что разнесено по отдельным цехам предприятия. Наличие системы управления качеством позволяет представить процесс производства дефектных изделий в целом, рассмотреть составляющие его процессы как единое целое.

Отмечено, что применение принципов процессного подхода к процессу формирования брака при производстве МКК и МКП, предполагается лишь в качестве средства снижения дефектности. Это обусловлено тем, что идеология управления качественной продукцией не может быть полностью перенесена в область работы с продукцией "некачественной", поскольку предполагается, что брак, как объект управления, должен постоянно присутствовать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование методов органолептического контроля в технологии радиоэлектронных средств. Метод. указ. к выполнению лаб. работ / Сост. Н. М. Скулкин,

Е. В. Михеева. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 1998. – С. 23–39.

2. Михеева, Е. В. Контроль спаев металлокерамических плат и корпусов микросхем в условиях массового производства: дис. канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2004. – 153 с.

3. Пономарев, С. В. Управление качеством продукции. Введение в системы менеджмента качества: учебное пособие / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин. – М.: РИА "Стандарты и качество". – 2004. – 248 с, ил.

4. Розова, Н. К. Управление качеством / Н. К. Розова. – СПб.: Питер, 2003. – 224 с., ил. – Серия "Краткий курс".

5. Скулкин, Н. М. Технологическая точность металлокерамических корпусов и коммутационных плат в условиях массового производства / Н. М. Скулкин, Е. В. Михеева // Вестник Верхне-Волж. АТН РФ. Серия. Высокие технологии в радиоэлектронике. Вып. 2(4)/97. – Ниж. Новг., 1997. – С. 187–190.

УДК 004.94

Н. А. Кудряшова, С. А. Фоменков **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РИСКА ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЮДЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ**

Волгоградский государственный технический университет (nadezhda.kudryashova@gmail.com, saf@vstu.ru)

Работа посвящена методам оценки риска здоровью людей при аварийных и штатных ситуациях на химически опасных производствах. В статье описан программный комплекс исследования канцерогенных свойств химических веществ, оценки риска здоровью людей и принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: оценка риска здоровью, выбросы в атмосферу, поддержка принятия решения, моделирование зоны поражения

N. A. Kudryashova, S. A. Fomenkov **HEALTH RISK ASSESSMENT AUTOMATION WITH RESPECT TO CHEMICAL EMISSIONS**

The paper focuses on health risk assessment methods for regular and emergency emissions at chemically dangerous plants. A new software system was developed. The system contains of 3 modules: analysis of carcinogenic properties of chemical substances, calculation of risk for people health and decision making in emergency cases.

Health risk assessment, emissions, decision making support, affected area

В настоящее время в области оценки риска заболевания людей при наличии отравляющего вещества в среде отсутствует системный подход к биологическому моделированию от воздействия до заболевания. Биологические процессы на данном интервале структурно сложны, а задача решения проблемы с использованием математического моделирования и компьютерных вычислений требует применения комплексного подхода.

Для охраны окружающей среды от выбросов предприятий на данный момент в России используются установленные допустимые пределы выбросов (ПДВ) [1]. Недостатком методики расчета ПДВ [2] является то, что она не позволяет прогнозировать фактические уровни риска заболевания людей в долгосрочной перспективе. На практике не существует надежной методики ПДВ, которая позволяла бы определить потенциальный риск воздействия выбросов. Таким образом, необходимо разработать программный комплекс, который бы позволял прогнозировать риск заболевания персонала и населения, а также исследовать механизм заболевания.

Разрабатываемый программный комплекс должен состоять из двух подсистем: исследование канцерогенных свойств химических ве-

ществ; оценка риска здоровьем людей при аварийных и штатных ситуациях.

Подсистема исследования канцерогенных свойств химических веществ

Исследование канцерогенных свойств химических веществ осуществляется с помощью моделирования биологических процессов на интервале от воздействия до внутренних токсикологических эффектов, которое возможно с использованием унифицированной математической процедуры, базирующейся на методе пространства состояний [3]. Включение случайного компонента в создаваемые модели пространства состояний требует применения современных методов математической статистики. Данная подсистема обеспечивает исследование биологических объектов на интервале анализа в условиях неопределенности, позволяет исследовать процесс образования первичных злокачественных клеток (канцерогенезис), то есть процесс заболевания раком, и оценивать канцерогенный риск. Следует отметить, что ограничения на применение методики к другим видам болезни – не критические.

Подсистема исследования канцерогенных свойств химических веществ и канцерогенного риска должна включать следующие модули:

1) построение и исследование стохастической модели "Концентрация–Доза";

2) построение точечных оценок, доверительных областей и проверка статистических гипотез для неизвестных неслучайных параметров модели "Концентрация–Доза";

3) построение и исследование стохастической модели канцерогенеза;

4) статистический анализ интенсивностей рождения, гибели и мутации клеток модели канцерогенеза;

5) построение и исследование стохастической модели "Концентрация–Доза–Канцерогенез" с зависящими от концентрации параметрами;

6) статистический анализ параметров модели "Концентрация–Доза–Канцерогенез" при полных и частичных наблюдениях с применением теории адаптивной фильтрации;

7) построение и исследование модели канцерогенного риска как вероятности превышения критического уровня количества раковых клеток;

8) статистический анализ параметров модели "Канцерогенез–Риск";

9) построение и исследование модели канцерогенного риска как условной вероятности превышения критического уровня количеством раковых клеток относительно истории интоксикации организма;

10) статистический анализ параметров модели "Концентрация–Доза–Канцерогенез–Риск" при полных и частичных наблюдениях.

В настоящее время реализованы первые четыре модуля. Модуль моделирования зависимости "Концентрация–Доза" позволяет проводить численное моделирование для любого живого организма/органа при следующих заданных параметрах:

- концентрация вещества в воздухе,
- объем дыхания живого организма,
- вес живого организма,
- коэффициент проникновения вещества в организм,
- коэффициент выведения вещества из организма,
- коэффициент диффузии.

Все указанные выше параметры зависят от времени и аппроксимируются кусочно-линейными функциями, ввод которых может осуществляться в двух режимах: графическом и табличном. При этом пользователь может задать произвольное количество моделируемых траекторий и/или моделировать среднее значение.

Полученные в результате работы первого модуля данные могут быть использованы для статистической оценки неизвестных неслучайных параметров модели "Концентрация–Доза" в модуле 2. Построение точечных оценок, до-

верительных интервалов и проверка статистических гипотез для параметров производится как для нескольких групп организмов в целом, так и для любой из групп в отдельности. Для вычисления точечных оценок используется пакет многомерной оптимизации Ganso [4].

В модуле численного моделирования канцерогенеза используются две стохастические модели трехстадийного канцерогенеза. Реализован механизм расширения функциональности: использования других моделей канцерогенеза. Реализована возможность проведения параллельного численного моделирования одной модели для подбора коэффициентов размножения, гибели и мутации клеток или разных моделей для их сравнения.

Статистический анализ интенсивностей рождения, гибели и мутации клеток, реализованный в модуле 4, основан на байесовском подходе [5]. Разработка подсистемы исследования канцерогенных свойств поддержана международным грантом.

Подсистема оценки риска здоровьем людей при аварийных и штатных ситуациях

Для расчета риска заболевания в качестве базовой методики анализа выбрана методика оценки риска [6], утвержденная Федеральным центром Госсанэпиднадзора Минздрава России в 2004 году. Оценка риска позволяет получить однозначную корреляцию между определенной концентрацией загрязняющего вещества и вероятностью его негативного воздействия на здоровье человека.

Созданная на базе данной методики подсистема по оценке риска позволяет собирать, обрабатывать и хранить информацию об уровнях вредных производственных факторов, рассчитывать риск для здоровья производственного персонала и населения, а также проводить комплексный мониторинг за состоянием окружающей среды и здоровьем населения в районе размещения экологически опасных объектов, в частности объектов уничтожения химического оружия. Указанный мониторинг предназначен решить важную задачу в системе мер профилактики, раннего обнаружения неблагоприятного воздействия токсических веществ на производственный персонал и население, и дать заключение об эффективности всех предупредительных мероприятий по безопасности работ на объекте.

В базе данных по каждому объекту хранится следующая информация:

- дерево рабочих мест,
- список выбрасываемых веществ,
- характеристики источников выбросов загрязняющих веществ,
- параметры газоочистки объекта.

Расчет риска производится для штатного и аварийного режимов работы предприятия. Рассчитывается концентрация и суточная доза вещества в окрестности точки и индивидуальные канцерогенные риски для производственного персонала и населения. Рассмотрена возможность количественного определения уровня риска, который сохранился после применения мер по его снижению.

В базе данных хранится информация по возможным и уже имевшим место аварийным выбросам. При возникновении аварийной ситуации, оператор выбирает объект, задает время аварии и расстояние, на котором необходимо провести анализ, после чего проводится расчет и при необходимости результаты можно получить в виде Excel отчета.

Оценку риска при штатном режиме функционирования предприятия (по сути, осредненный прогноз), можно провести в любой точке относительно объекта. При этом не только рассчитываются канцерогенные и неканцерогенные риски, но также определяются критические органы и системы организма, которые подвергаются опасности.

Подсистема оценки риска при штатных и аварийных ситуациях была апробирована на действующем объекте уничтожения отравляющих веществ кожно-нарывного действия в п. г. т. Горный Саратовской области.

Использование программного комплекса оценки риска позволяет:

- исследовать канцерогенезис в условиях неопределенности;
- получить количественную характеристику потенциального риска здоровьем людей;

- способствовать установлению более надежных и безопасных гигиенических нормативов;

- идентифицировать наиболее подверженные неблагоприятному воздействию территории;

- описать и количественно определить уровни риска, которые сохранились после применения мер по его снижению.

Таким образом, разрабатываемая система предоставляет набор средств для исследования механизмов и оценки риска заболевания людей, позволяет контролировать экологическую ситуацию и заблаговременно обнаруживать неблагоприятные воздействия токсических веществ, проводить оценку эффективности принятых мер по снижению опасности для здоровья людей, помогает определить приоритет экологической политики, разработать механизм и стратегию действия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 17.2.3.02–78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.
2. ОНД 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – 01.01.1987.
3. Хайпер, Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи / Э. Хайпер, Г. Ваннер. – М.: Мир, 1999.
4. Global and nonsmooth optimization toolbox (GANSO) [Электронный ресурс]. – [2006]. – Режим доступа: <http://www.ganso.com.au/libs/gansomapdlls.zip>
5. Хей, Дж. Введение в методы байесовского статистического вывода / Дж. Хей. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 335 с.
6. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья. Опыт применения оценки риска в России. Гарвардский институт международного развития. США. – М., 1997.

УДК 519.254

С. К. Никифоров, А. А. Степченко, Н. П. Алаев **КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТРАЕКТОРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ** **В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

4 Государственный Центральный Межвидовой полигон МО РФ, войсковая часть 74322 (alaev_33@rambler.ru)

Для отбраковки аномальных траекторных измерений в режиме реального времени взамен алгоритма отбраковки по максимальной скорости, обладающего рядом существенных недостатков, предлагается методика кластерного анализа отдельно по каждому измерительному каналу.

Ключевые слова: аномальное измерение, точность, траекторная информация, кластер, максимальная скорость, интеллектуальный анализ, измерительный канал, устойчивость алгоритма к регулярным выбросам

S. K. Nikiforov, A. A. Stepchenko, N. P. Alaev

THE CLUSTER'S ANALYSIS OF THE TRAJECTORY MEASURING INFORMATION IN A MODE OF REAL TIME

For rejection anomalous trajectory measurements in a mode of real time the method of the cluster's analysis separately on each measuring channel is offered instead of algorithm of rejection by the maximum speed (it has many considerable lacks).

The anomalous measurement, accuracy, the trajectory information, the cluster, the maximum speed, the intellectual analysis, the measuring channel, stability of algorithm to regular emissions

Актуальность повышения точности обработки траекторной информации требует разработки и внедрения современных прикладных

методов интеллектуального анализа измерений.

Важным элементом в схеме обработки траекторных измерений является алгоритм отбра-

ковки аномальных измерений по максимально допустимой скорости. В данном алгоритме выполняется отбраковка грубых ошибок измерений по здравому предположению о том, что скорость летательного аппарата (ЛА) ограничена его максимальной скоростью – $V_{\max}$, то есть измерение не может слишком далеко отстоять от предыдущего по времени измерений.

Рассмотрим работу алгоритма отбраковки на примере данных, получаемых от трехкоординатной РЛС. $\mathbf{H}$ – вектор входной измерительной информации с измеренными параметрами: T , D , A , E , где T – время проведения измерений (с), D – дальность до ЛА (м), A и E – азимут и угол места ЛА (град.). Вектор измерительной информации $\mathbf{H}$ характеризует прямоугольные координаты $Q(X, Y, Z)$ положения ЛА.

Таким образом, для отбраковки пришедшего аномального измерения необходимо:

в прямоугольной системе координат рассчитать скорость движения ЛА между последней точкой в выборке данных и полученным измерением:

$$V_{N+1} = \frac{\sqrt{(X_{N+1} - X_N)^2 + (Y_{N+1} - Y_N)^2 + (Z_{N+1} - Z_N)^2}}{T_{N+1} - T_N}; \quad (1)$$

проверить значение рассчитанной скорости на допустимость:

$$V_{N+1} \leq V_{\max}; \quad (2)$$

если условие не выполняется, то измеренные параметры этой точки считаются аномальными и полный вектор ИИ – $\mathbf{H}(T, D, A, E)$ исключается из обработки.

Опыт практического применения данного алгоритма показал его неэффективность в ситуациях с большим количеством регулярных выбросов.

На рис. 1 приведен пример измерений угла места РЛС. В измерениях азимута и дальности до ЛА аномальных выбросов не наблюдалось. На рисунке четко видны регулярные аномальные выбросы. В данных условиях у алгоритма отбраковки аномальных измерений по максимально допустимой скорости выявляются следующие недостатки:

1. Алгоритм не способен работать в условиях появления регулярных аномальных выбросов – выделенная область на рисунке.

2. Для определения скорости ЛА алгоритм требует полного вектора измерительной информации (T , D , A , E) для вычисления прямоугольных координат $Q(X, Y, Z)$ положения ЛА.

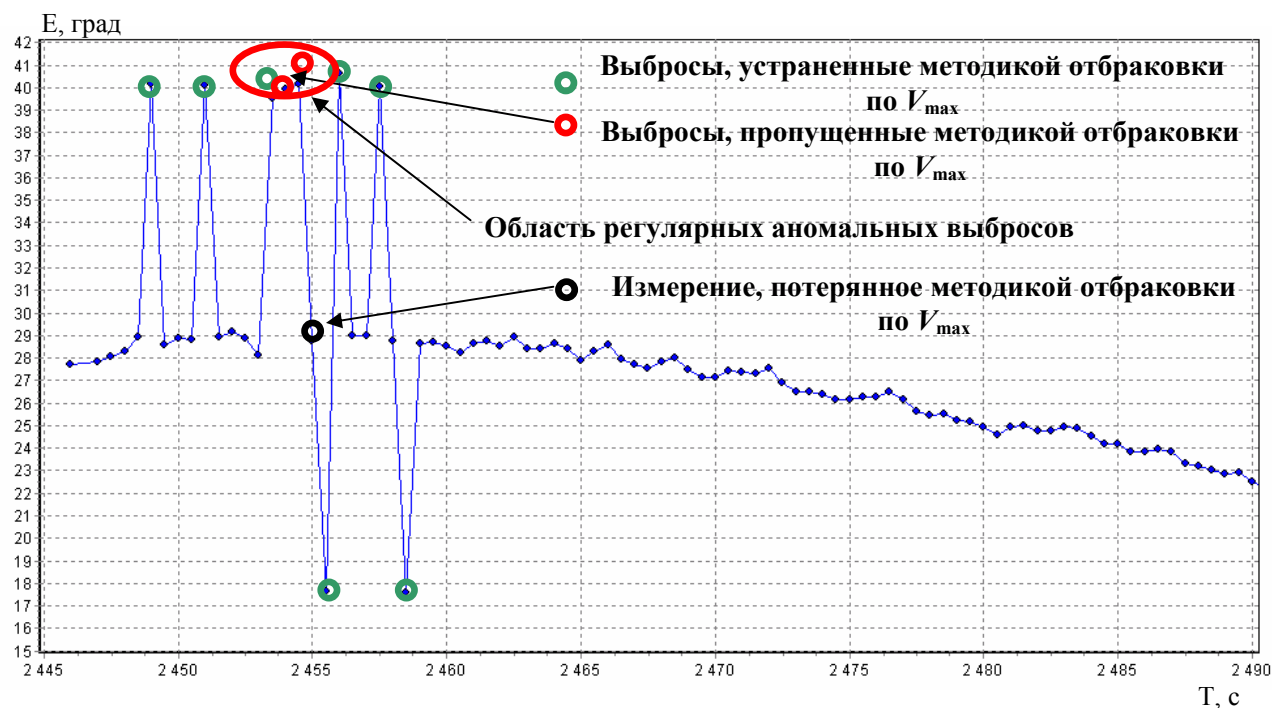


Рис. 1. Результат работы алгоритма отбраковки по максимальной скорости

3. При переводе полярных координат в прямоугольные теряется информация о параметре, дающем сбой.

4. Из-за одного аномального параметра исключаются из обработки два других достоверных параметра, которые могут быть применены в условиях реализации суммарно-разностных принципов мультисрадарной обработки.

Для выполнения задачи отбраковки аномальных измерений взамен алгоритма отбраковки аномальных измерений по максимально допустимой скорости ЛА разработана методика кластерного анализа траекторной измерительной информации в режиме реального времени.

Алгоритм отбраковки по максимальной скорости тоже можно рассматривать как один из способов кластеризации, в котором условием для включения измерения в обработку является допустимая скорость. Но данный алгоритм не строит дополнительных кластеров для отбракованных измерений, не рассматривает их как один из возможных вариантов развития хода летного эксперимента.

Существуют разные математические методы и подходы к решению задачи кластеризации [1]. Важнейшую роль в кластеризации играет выбранная метрика, то есть что понимается под расстоянием между измерениями.

На основании того, что в РЛС каждый параметр определяется своим измерительным каналом принято решение о проведении кластерного анализа отдельно для каждого параметра.

Для выбора метрик положен принцип использования априорных данных о физических возможностях ЛА, о том, что изменение скорости ЛА за известное время ограничено и, следовательно, ограничены изменения измеряемых параметров. Изменение параметров должно происходить плавно и регулярно без резких скачков.

Для каждого текущего значения параметра рассматривается возможность его включения в один из текущих кластеров с использованием предложенного механизма пополнения и удаления кластеров. При выявлении скачков измеряемых параметров, для которых не выполняется условие включения ни в один из кластеров, производится формирование управленческих решений на порождение нового кластера, в который включается текущий параметр. Так как в обработку передается только самый за-

полненный кластер, то это позволяет исключить из обработки в режиме реального времени случайные выбросы параметров.

За максимальную скорость изменения параметра дальность принимается максимальная скорость ОИ.

$$V_{D_{\max}} = V_{\max} \quad (3)$$

Максимальная скорость изменения параметров азимут и угол места принимается как максимально возможная радиальная скорость ЛА на измеренной дальности.

$$V_{A_{\max}} = V_{E_{\max}} = \arcsin\left(\frac{V_{\max}}{D}\right) \quad (4)$$

Кластеры проверяются последовательно по порядку уменьшения времени, записанного последним в кластер при выполнении условия:

$$T_{\text{тек}} - T \frac{K}{N} \leq T_{\text{пор}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{пор}}$ – максимальная разница во времени между параметром, записанным последним в кластер, и текущим. Значение данного времени определяется в зависимости от ТТХ ЛА, темпа проведения измерений и задается на этапе планирования летного эксперимента; $T_{\text{тек}}$ – время проверяемого текущего параметра ЛА; T_N^K – время параметра, записанного последним в К-й кластер; K – номер кластера; N – количество параметров, записанных в кластер K .

В зависимости от количества параметров, записанных в кластер, проводится аппроксимация параметра многочленом $\tilde{P}(t)$ на текущее время – $t_{\text{тек}}$:

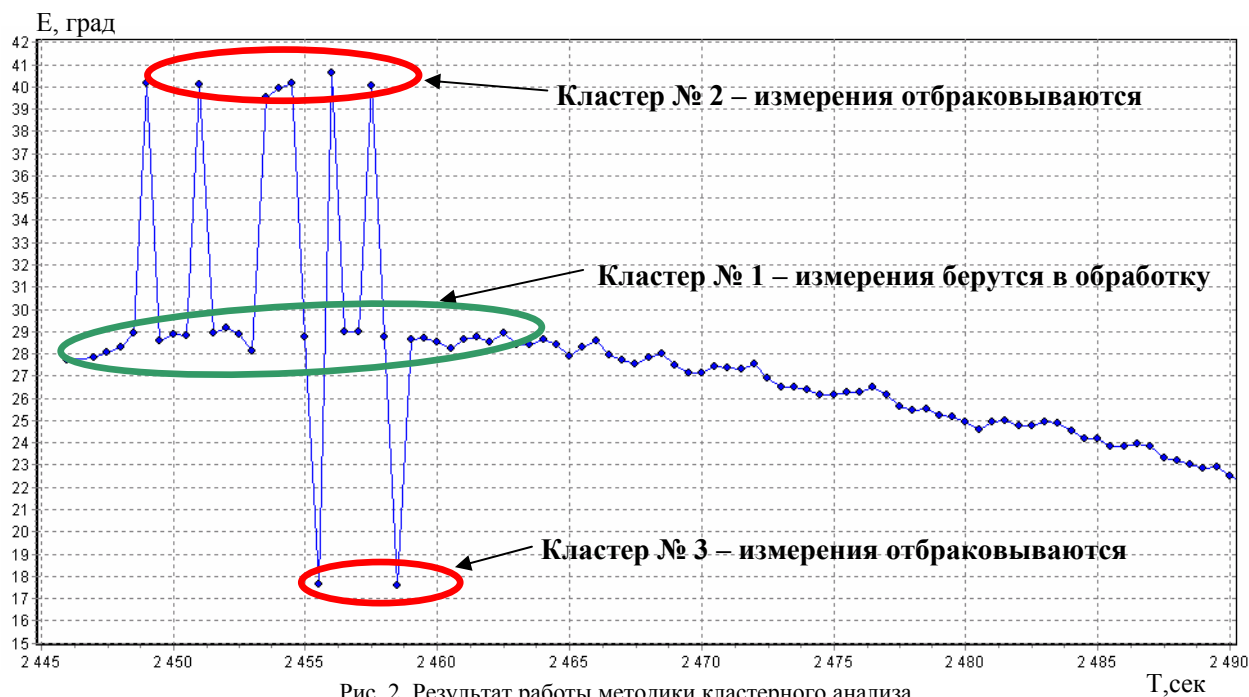
$$\tilde{P}(t_{\text{тек}}) = \begin{cases} at^2 + bt + c, & \text{при } N \geq 4, \\ at + b, & \text{при } 2 \leq N < 4, \\ P(t_1), & \text{при } N = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Определяется невязка по скорости изменения параметра по формуле:

$$\Delta V_{\text{ЛА}} = \frac{W \cdot |P_{\text{ЛА}} - \tilde{P}(t_{\text{тек}})|}{(T_{\text{тек}} - T_N^K)}, \quad (7)$$

где W – весовой коэффициент, определяемый в зависимости от количества записанных в кластер параметров.

$$W = \begin{cases} 10, & \text{при } N \geq 10, \\ N, & \text{при } 1 \leq N < 10. \end{cases} \quad (8)$$



Найденная в (8) невязка по скорости сравнивается с максимальной скоростью для данного параметра

$$\Delta V_{\text{ЛА}} \leq V_{P_{\text{max}}} \quad (9)$$

При выполнении условия (9) измеренный параметр включается в текущий кластер. Если условие не выполняется, то проверяется следующий кластер. Если кластера подходящего не найдено, то порождается новый кластер для данного измеренного параметра.

Результат работы методики кластерного анализа приведен на рис. 2.

Измерения из самого большого, то есть из первого кластера берутся в обработку. Измерения из второго и третьего кластеров из обработки исключаются. Методика кластерного анализа показывает свою устойчивость к появлению регулярных выбросов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронный учебник по статистике. Москва. StatSoft Inc. 2001г. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
2. Дюрбан, Б. Кластерный анализ / Б. Дюрбан, П. Оделл. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
3. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

УДК 623.618.3

С. К. Никифоров, А. А. Степченко, Н. П. Алаев

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

4 Государственный Центральный Межвидовой полигон МО РФ, войсковая часть 74322 (alaev_33@rambler.ru)

Мультиагентная экспертная система разработана для управления измерительными средствами в режиме реального времени. Для каждого агента-учредителя разработана специализированная нечеткая ситуационная сеть. Предложена методика формализации процессов принятия решений на базе лингвистических переменных.

Ключевые слова: нечеткая ситуационная сеть, мультиагентная система, автоматизация принятия решений, управляющее воздействие, целевое состояние, лингвистические переменные, база знаний

S. K. Nikiforov, A. A. Stepchenko, N. P. Alaev

MULTI-AGENT EXPERT SYSTEM OF SUPPORT THE DECISION-MAKING

The multi-agent system was developed for managements by measuring means in a mode of real time. The specialised indistinct situational net was developed for each agent-founder. The method of formalisation the decision-making processes, based on linguistic variables, is offered.

Indistinct situational net, multi-agent system, Automation of decision-making, operating influence, target condition, linguistic variables, the knowledge base

Потребность полигонного измерительного комплекса в быстрой реакции на изменения условий проведения опытно-испытательной работы подводит к разработке новой парадигмы организации измерений – интеллектуальным распределенным автоматизированным измери-

тельным системам. Эта парадигма требует информационной интеграции измерительных средств (ИС), распределенного управления, способности к взаимодействию в гетерогенных окружающих средах, наличия открытой и динамичной структуры, сотрудничества, интегра-

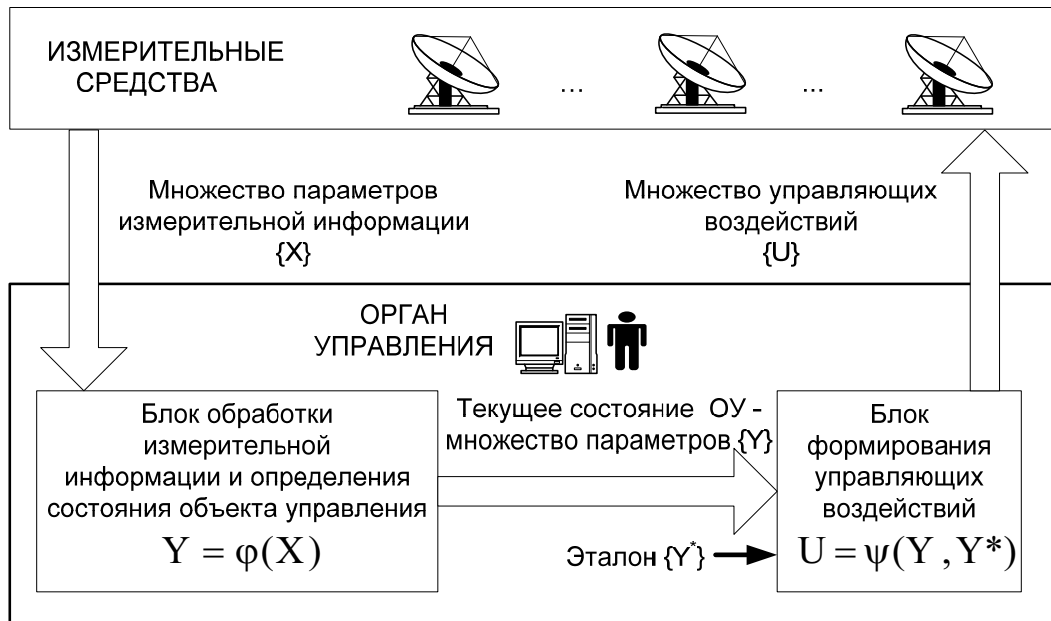


Рис. 1. Обобщенная схема управления измерительными средствами

В схеме предполагается наличие следующих основных этапов:

1. Этап сбора информации $\{X\}$ о состоянии ИС по цепи прямой связи "ИС" – "управляющий орган".

2. Этап обработки измерительной информации (ИИ) и определения текущего состояния измерительных средств $\bar{Y} = \varphi(\bar{X})$, где φ – алгоритм обработки ИИ и формирования оценок состояния ИС.

3. Этап формирования управляющих воздействий $\{U\}$, $\bar{U} = \psi(\bar{Y}, \bar{Y}^*)$, где ψ – алгоритм управления ИС, определяется по состоянию ИС относительно целевого состояния; $\{Y^*\}$ – текущее состояние ИС.

В простейшем случае, это может быть сигнал рассогласования $U = \Psi(Y - Y^*)$. В некоторых случаях используется не только текущее значение $\{Y\}$, но и некоторая предыстория, то есть $\{Y(t, t < T)\}$, где t – произвольный момент времени, T – текущее время. На основе предыстории можно предсказывать поведение ИС и формировать упреждающие управляющие воздействия.

4. Этап доведения до ИС управляющих воздействий $\{U\}$ по цепи обратной связи "управляющий орган" – "ИС".

В работах [1, 4–6] было показано, что решить задачу поддержки принятия решений управления ИС позволяют методы, основанные на применении нечетких множеств для форма-

лизации исходных данных и представления результатов.

При разработке методического аппарата, реализующего определение состояния ИС, для учета наличия информационной неопределенности в исходных данных используется набор лингвистических переменных (ЛП).

Для описания процессов поддержки принятия решений по управлению ИС применяются описанные в [1–3] нечеткие ситуационные сети (НСС), позволяющие делать нечеткий вывод ситуационного типа. Для реализации модели нечеткого ситуационного вывода не требуется большого объема памяти, так как нет необходимости в хранении большого количества матриц. Кроме того, алгоритмы ситуационного вывода достаточно просты, что допускает их эффективную реализацию на ЭВМ даже сравнительно небольшой мощности [1, 3, 7].

Пример фрагмента гипотетической НСС приведен на рис. 2.

НСС представляет собой ориентированный взвешенный граф. Вершины НСС соответствуют типовым нечетким ситуациям $S = \{\tilde{S}_i\}$, заданным экспертными методами, причем каждой i -й вершине соответствует подмножество управленческих решений $\{u_i\} \subseteq U$, а дуги взвешены условиями переходов по ситуациям $\{R\}$. Вершины графа могут быть помечены метками двух типов: маркерами текущей разметки сети и указателями целевых вершин сети.

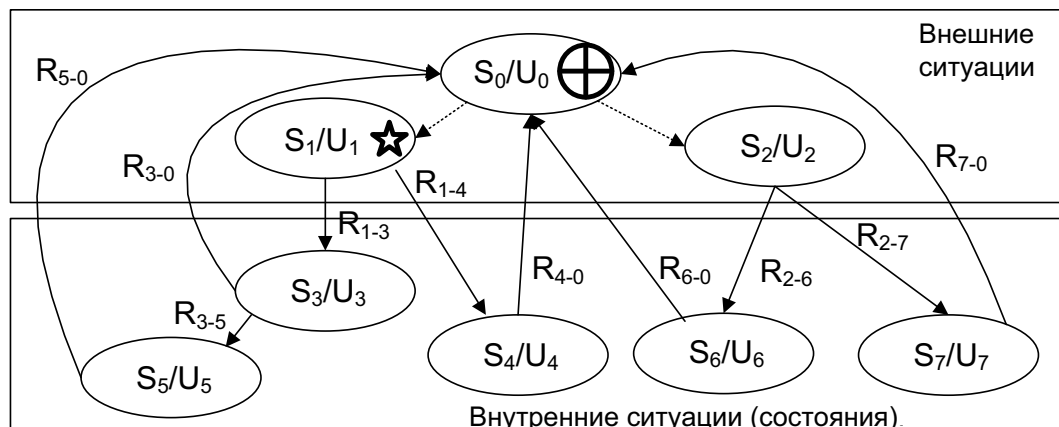


Рис. 2. Фрагмент гипотетической нечеткой ситуационной сети:

★ - маркер текущей разметки

⊕ - целевая вершины сети

⋯ - неуправляемые переходы

— - управляемые переходы

Внешние ситуации соответствуют таким состояниям, в которых оказывается НСС под влиянием внешних, не зависящих от органа управления причин. Внутренние ситуации соответствуют таким состояниям, в которых оказывается НСС под влиянием действий органа управления. Цель работы управляющего органа заключается в том, чтобы найти оптимальную в некотором смысле траекторию перехода в целевую вершину.

Упрощенно функционирование блока определения состояния объекта управления, а также блока формирования управляющих воздействий можно представить следующим образом:

1. Состояния объекта управления оцениваются через некоторые дискретные промежутки времени и представляются в виде нечеткой ситуации.

2. Полученная входная нечеткая ситуация сравнивается со всеми типовыми внешними ситуациями, хранящимися в базе знаний. Определяется типовая нечеткая внешняя ситуация $\tilde{S}_i$, наиболее близкая входной нечеткой ситуации.

3. Информация об этой типовой нечеткой ситуации поступает в блок формирования управляющих воздействий, где в случае, если $\tilde{S}_i$ не является целевой вершиной, определяется необходимая траектория перемещения по НСС для попадания в необходимую целевую вершину. При этом учитываются заданные экспертным путем условия переходов $R = \|r_{ij}\|$, зависящие от текущих значений описывающих ситуацию ЛП, что обеспечивает возможность выбора лучшей траектории в условиях меняю-

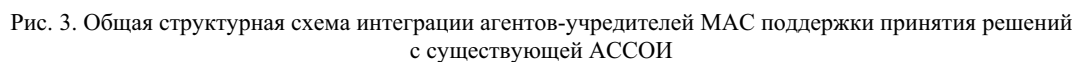
щихся ситуаций.

4. В ходе перемещения из вершины в вершину при помощи $U = \|u_{ij}\|$ определяются необходимые в данном состоянии объекта управляющие решения.

Для упрощения работы органа управления целесообразно разбить НСС на ряд независимых подсетей, в каждой из которых имеется единственная целевая вершина. Такое разбиение НСС на параллельно работающие подсети позволяет, кроме того, решать задачи формирования управляющих решений для случая противоречивых целей. Задаваемые экспертами функции принадлежности для внешних ситуаций НСС должны быть такими, чтобы в каждый момент времени маркер текущей разметки формировался только у одной внешней вершины НСС.

Разработанная структура НСС и предложенная методика формализации процессов принятия решений служат основой для построения специализированных экспертных систем реального времени в агентах-учредителях специализированной мультиагентной системы (МАС).

В создаваемой мультиагентной системе (МАС) нет центрального агента, который контролирует действия других агентов. Каждый агент самостоятельно решает, какое действие он выполнит. Координация в МАС реализуется с помощью распределения агентов по ролям. Мультиагентное взаимодействие ассоциируется с некоторой формой общения. Агенты обладают свойствами и правилами поведения. Каждому агенту-учредителю соответствует уникаль-



На рис. 3 представлена структурная схема интеграции агентов-учредителей МАС поддержки принятия решений с автоматизирован-

МАС интегрируется с АССОИ через МСИ на уровне сетевых протоколов передачи данных и позволяет интеллектуализировать следующие информационные технологии (ИТ) процесса полигонных испытаний:

- ИТ подготовки ИС к проведению летного эксперимента;

- ИТ управления ИС в ходе проведения летного эксперимента;
- ИТ оценки результатов работы ИС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука. 1990. – 272 с.
2. Поспелов, Г. С. Искусственный интеллект - прикладные системы / Г. С. Поспелов, Д. А. Поспелов. – М.: Знание, 1985. – 48 с.
3. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 286 с.

4. Кудинов, Ю. И. Синтез нечеткой системы управления. Теория и системы управления / Ю. И. Кудинов. – № 1. 1999. – С. 62–68
5. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. К. Асаи., Д. Ватада, С. Иваи и др. / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир. 1993. – 368 с.
6. Язенин, А. В. К задаче максимизации возможности достижения нечеткой цели / А. В. Язенин // Теория и системы управления. № 4. 1999. – С. 79–87.
7. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы. Справочник под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
8. Воишин, А. П. Оптимизация в условиях неопределенности / А. П. Воишин, Г. Р. Сотиров. – М.: Изд-во МЭИ. Техника (НРБ), 1989. – 224 с.

УДК 004.8

В. Л. Розалиев

ПРЕДПОСЫЛКИ, ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ РЕЧИ

Волгоградский государственный технический университет (rozaliev_v@mail.ru)

Создание систем распознавания эмоциональности речи связано с множеством объективных трудностей. В этой статье проводится краткий анализ истории возникновения направления этих исследований, возможности существующих систем и прототипов, указываются их недостатки в рамках распознавания эмоциональности речи. Предлагается архитектура автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи.

Ключевые слова: речь человека, природа речи, акустический анализ, эмоции в речи, взаимодействие человека и ЭВМ, система распознавания эмоциональности речи

V. L. Rozaliev

PRECONDITIONS, OPPORTUNITIES, PROSPECTS OF CREATION THE AUTOMATED SYSTEM FOR RECOGNITION EMOTIONAL SPEECHES

Creation systems for recognition emotional speeches is connected with set of objective difficulties. In this clause the brief occurrence history analysis of a direction of these researches, opportunities of existing systems and prototypes is spent, their lacks within the limits of recognition enationallity are specified to speech. The architecture of the automated system for recognition emotional speech is offered.

Speech of the person, the nature of speech, the acoustic analysis, emotions in speeches, interaction of the person and the COMPUTER, system for recognition emotional speeches

С древних времен речь служила людям средством связи и общения друг с другом. Попытки понять и изучить ее природу предпринимаются уже несколько тысячелетий. Акустическая информация, используемая при речевой коммуникации, характеризуется двойственной природой: с одной стороны, она материальна, так как распространяется в форме звуковых волн, с другой – является инструментом, с помощью которого передаются и понимаются мысли партнерами по коммуникации. В этом случае акустическая информация имеет знаковую функцию. Речевые знаки обладают исключительной силой выражения. Они могут адекватно передавать даже сложнейшие нюансы мышления при условии, что они правильно и хорошо сформулированы и что слушатель обладает способностью воспринимать их. Эта форма передачи внутренних состояний мыслительного сознания одного партнера другому называется рациональной функцией речи. Кроме того, у речи есть еще вторая, эмоциональная функция. Когда речь используется в целях коммуникации, то между говорящим и слушающим как будто бы строится мост, с помощью которого выражается сиюминутное эмо-

циональное состояние говорящего. Коммуникативная природа речи должна предполагать инвариантное выражение эмоциональных состояний говорящего.

Изучение речевых сигналов проводилось многими исследователями и организациями. Однако до сих пор не была описана система представлений об эмоциях на основе переосмысления целостной эмоциональной ситуации, включающей в себя фазы каузации, пребывания в эмоциональном состоянии, проявлений. Не найдено однозначных зависимостей между параметрами речи и эмоциональным состоянием. Не произведена точная классификация эмоций и чувств. Вместе с тем, появляющиеся на рынке продукты и все увеличивающийся интерес к данной области, а также прибыль компаний (около 400 миллионов долларов), занимающихся продажей оборудования для call-центров, способного выделять с достаточно низкой точностью эмоции говорящего, и, главное, огромная область применения данных технологий делают исследование актуальным и практически значимым. А низкая разработанность задачи сопоставления параметров речи с эмоциональными состояниями делают работу

также и теоретически значимой. Исследование различных видов и способов передачи невербальной информации имеет огромное значение для понимания процессов человеческого общения и общения в системе "Человек-ЭВМ", для автоматического распознавания речи, определения личности по голосу. Наконец, это принципиально важная проблема для всех видов искусства, особенно создаваемого с помощью современных технических средств: кино, радио, звукозаписи, телевидения. Воспринимая слухом речь, мы получаем информацию как о смысле речи, так и об ее эмоциональном содержании из анализа акустических характеристик, а иногда только из одних акустических характеристик, например, при прослушивании звукозаписей или речи по телефону. Следовательно, эмоции кодируются определенными акустическими параметрами в речевом сигнале. Понимание этих особенностей акустического кодирования эмоций позволит понять сам механизм восприятия эмоций, их выражения, а также помочь людям, страдающим аутизмом и не способным самостоятельно воспринимать эмоции окружающих. Кроме того, лекторы, менеджеры, публичные ораторы получают эффективное средство контроля того, с каким эмоциональным настроением подается их речь, и какова заинтересованность аудитории. Также данное исследование важно для повышения эффективности распознавания речи. А постепенное повсеместное внедрение роботов делает результаты данной работы важными для повышения уровня взаимодействия человека и машины.

Рассмотрим современные направления в исследовании слухового восприятия речевых сигналов человеком, основываясь на обзоре, сделанном институтом физиологии им. И. П. Павлова РАН [1]. Основными моментами данного обзора стали следующие положения. Существует множество аргументов против представления связной речи в виде последовательности речевых элементов (фонем, слогов), которым приписываются характеристики, выявленные при исследовании изолированных звуков. Это огромная вариативность признаков (в первую очередь, частотно-формантных) за счет таких факторов различия произношений разными дикторами, темпоральные вариации (быстро, медленно), внешние искажения за счет реверберации, внешние шумы, фоновые разговоры и т. д. Данный момент должен быть обязательно учтен, в первую очередь, за счет универсальности механизмов формирования эмоций. Следующим моментом стал вывод о том, что опознавание осмысленных фраз возможно при проведении спектрального анализа с разрешением в 12 раз хуже, чем в здоровом слухе. Таким образом, создается предпосылка для созда-

ния системы, которая значительно лучше, чем человек сможет распознавать эмоции других лиц. Еще одним моментом стал вывод о том, что основными и наиболее важными параметрами, позволяющими распознать 70 % слов, являются частоты формант вокализованных фонем, что дает нам возможность сузить область наших исследований и убрать из рассмотрения не вокализованные фонемы. Также были получены выводы о том, что для идентификации изолированных гласных, слогов и осмысленного предложения крайне важным является признак спектрального "центра тяжести". Приведены убедительные данные о значимости для распознавания речи амплитудной модуляции в отдельных частотных полосах, а также о том, что при распознавании фраз в зависимости от условий, слушатели могут опираться либо на спектральные, либо на временные признаки стимулов. Это говорит о том, что должны быть учтены все эти признаки.

Выделяют следующие характерные признаки эмоциональных высказываний: особая контрастность по высоте основного тона, причем максимум контрастности при выражении изумления; динамичность произнесения, увеличение времени высказывания. Существуют преимущественно логические, эмоциональные и волевые интонации. Акустический анализ речи позволяет выделить формантные параметры и слоговые изменения. Эксперименты показали, что, несмотря на широкий диапазон изменений интонации, в ней сохраняются постоянные структуры-интоны – как элементы коммуникации: вопрос, повеление, угроза, совет, сожаление и другие. Отмечена важность изучения именно "живой речи", а не отдельно произнесенных слов вне всякого контекста и ситуации. Одним из методов такого исследования является обращение к актерской речи.

Задача распознавания речи состоит в восстановлении по звуковому сигналу естественного языка (из ограниченного словаря). Она решается путем задания эталонов слов словаря и последующего сравнения звуковых сигналов с этими эталонами. Звуковой сигнал представляет собой целочисленный вектор значений звукового давления, измеренного в равноотстоящие друг от друга моменты времени. Мощность пространства звуковых сигналов огромна (типичное значение мощности множества сигналов длительностью в 1 секунду, используемых в компьютерных системах, равно 256^{11025} [2]). Для решения задачи распознавания обычно сначала равномерно разбивают сигнал на окна одинаковой длины, которые затем преобразуют из временной области в частотную (например, с помощью преобразования Фурье [3]), чтобы близость окон относительно про-

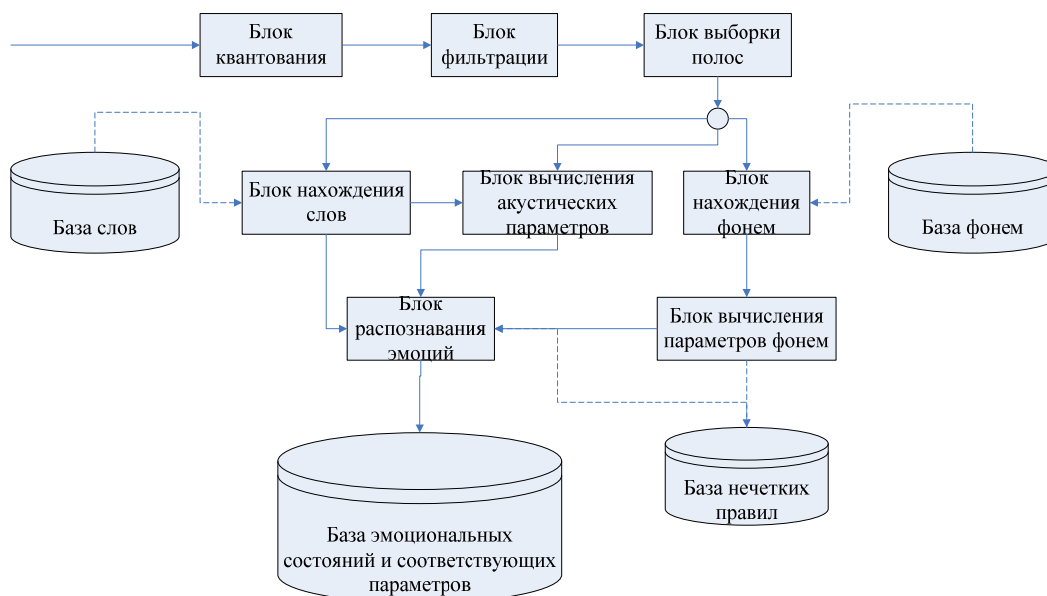
стных метрик (типа Евклидовой) соответствовала близости участков сигнала "на слух". Затем решается задача нахождения соответствия между окнами звукового сигнала и окнами эталон слов словаря. Сложность последней задачи заключается в том, что различные участки звукового сигнала в различных произнесениях одного и того же слова звукового сигнала отличаются разной степенью сжатия или растяжения. Для решения задачи нахождения соответствия между окнами сигналов традиционно используются методы динамического программирования, а также аппарат нейронных сетей и нечеткой логики. После нахождения этого соответствия производится лингвистическая оценка, позволяющая уже построить цепочки фонем, слов и фраз, расставив знаки препинания на основе анализа просодических эффектов [4, 5, 6, 7].

Создание систем распознавания эмоциональности речи связано с множеством объективных трудностей. Предельные возможности таких систем связаны, прежде всего, с тем, что человек, которого можно взять за эталон распознающей системы, распознает осмысленную речь, а компьютерам в полной мере это не дано. Кроме того, человек использует зачастую дополнительную незвуковую информацию. Самым ярким примером здесь может служить так называемое "чтение по губам", которому могут обучиться глухие люди. Известно, что в шумной обстановке человеку легче понять собеседника, если он будет наблюдать за его губами. Человек воспринимает речь объемно, что позволяет ему проводить шумоочистку и пространственное выделение сигнала более качественно, чем машина. При этом человек, основываясь на собственном генетическом и социальном опыте, также воспринимает изменение эмоционального состояния говорящего, а машина этого сделать не может. Таким образом, невозможность восприятия эмоционального состояния говорящего, и возникающая из-за этого сложность распознавания речи делают исследования в области распознавания эмоциональности речи особенно актуальными.

В России практическое применение распознавания речи первоначально было связано с работами ИПУ РАН. Разработки института позволили модернизировать существующие системы и создать новые таким образом, что клиенты могли получать справочную информацию и другие услуги, такие как заказ билетов на виды транспорта или зрелищные мероприятия,

заказ такси, самостоятельно в режиме самообслуживания, без участия операторов. Практика показывает, что системы массового обслуживания с распознаванием речи могут быть весьма крупномасштабными, обрабатывающими тысячи транзакций в сутки и распознающими тысячи слов. Они позволяют эффективно заменить труд многих операторов (десятков и сотен человек) и достичь высокой рентабельности. В США, где зарплата существенно больше, чем в России, системы с распознаванием речи рентабельны даже в небольших контакт-центрах. И спрос на них велик. В России процесс только начинается, но прогнозы весьма оптимистичны. Эксперты на Западе утверждают, что объем этого рынка в ближайшие годы многократно увеличится и в совокупности достигнет нескольких миллиардов долларов. [8] На первый план выходит экономика и удобство клиентов, которое достигается подстройкой под эмоциональное состояние. Таким образом, область распознавания речи является быстро развивающейся и очень перспективной. Быстрое развитие алгоритмов и методов распознавания речи приводит к появлению все более совершенных и конкурентно способных продуктов. Однако распознавание речи осложняется сложностью определения эмоционального состояния человека. Поэтому разработка системы, способной распознавать эмоциональность речи, послужила бы толчком для создания систем, способных распознавать, или даже будет точнее сказать, понимать человеческую речь. Как видно, технологии речевого распознавания нашли свое применение в различных областях. Однако множество проблем все еще остаются не решенными, многие идеи требуют дальнейшего развития.

Рассмотрим формализованную модель эмоций в речи, на основе которой возможно создать автоматизированную систему распознавания эмоциональности речи: $Model = \langle Prichina, Proavlenie, Emotion, F: Proavlenie \rightarrow Emotion \rangle$, где *Prichina* – это причина эмоционального состояния (примем за причину время появления изменений в текущем эмоциональном состоянии, сохраняя таким образом пользователю право на окончательное решение); *Proavlenie* – это множество параметров, характеризующих звуковой сигнал речи человека, то есть все множество акустических, лингвистических параметров, $Proavlenie = \{AcousticParam, LingvisticParam\}$, где *AcousticParam* – это акустические параметры; *LingvisticParam* – это лингвистиче-



ские параметры; Emotion – множество эмоциональных состояний; F – функциональные зависимости Emotion от Proavlenie.

Архитектура автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи приведена на рисунке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Люблинская, В. В. От восприятия отдельных звуков к восприятию речи / В. В. Люблинская // Сб. тр. Второй межд. конф. по когнитивной науке. – 2006. – СПб-б. – 352–353
2. Мазуренко, И. Л. О сокращении перебора в словаре речевых команд в составе систем распознавания речи / И. Л. Мазуренко // В сб.: Интеллектуальные системы. Т. 2. – М., 1997.
3. Рабинер, Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер // пер. с англ. – М.: Радио и связь. 1981.
4. Новые идеи молодых ученых в науке XXI века. Интернет-форум магистрантов ВУЗов России. Сборник статей магистрантов. Вып. IV. – Тамбов: ТОГУП "Тамбовполиграфиздат", 2006. – 204 с.
5. Hosom, J. P. Speech Recognition Using Neural Networks at the Center for Spoken Language Understanding / J. P. Hosom, R. Cole, M. Fanty // Center for Spoken Language Understanding, Oregon Graduate Institute of Science and Technology, July 1999.
6. Morozov, V. P. Emotional expressiveness of the Singing Voice: the role of macrostructural and microstructural modifications of spectra / V. P. Morozov // Scand Journ. Log. Phon. MS. – № 150, 1996. – P. 1–11.
7. Noguieras A., Moreno A., Bonafonte A., Marino J. B., "Speech emotion Recognition Using Hidden Markov Models", Eurospeech 2001, 2001
8. Компьютерные системы массового обслуживания и речевые технологии / В. А. Жожикашвили, Н. В. Петухова, М. П. Фархадов // Проблемы управления. – 2006. – № 2. – С. 3–7.

УДК 004.896

В. Н. Шершнев, П. П. Кудряшов

ИГРА-АТТРАКЦИОН "КОМАНДНОЕ СРАЖЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТАНКОВ"

Волгоградский государственный технический университет (Valeriy.shershnyov@gmail.com, pal_ok@mail.ru, cad@vstu.ru)

В работе предложен подход, позволяющий использовать современные знания о создании мультиагентных систем для разработки развлекательного аттракциона на основе механических колесных роботов. Суть аттракциона заключается в сражении двух команд роботов, некоторыми из которых разлит управляет группа людей. Описана предлагаемая архитектура системы интеллектуальных агентов, разработаны различные командные стратегии ведения боя. Предлагаемая игра-аттракцион может работать как в полностью автономном режиме, так и с участием человека.

Ключевые слова: мультиагентные системы, интеллектуальные агенты, роботы, искусственный интеллект, аттракцион.

Valeriy N. Shershnyov, Pavel P. Kudryashov
"TEAM BATTLE OF TANKS" ATTRACTION

The side-show (attraction) developing approach based on multi-agent systems is suggested in the paper. Side-show consists of group of mechanical wheeled robots. The idea of this side-show is to run team battle of tanks with possible human's participation. Architecture of multi-agent system and several behavioral strategies are suggested. The side-show may be run in an automated mode or with human's participation as well.

Multi-agent system, artificial agent, robot, artificial intelligence, attraction, side-show

Боевые и соревновательные аспекты жизни человека всегда привлекали много внимания. Чего уж говорить об играх, в которые играют люди. Уже в течение нескольких лет при Вол-

гоградском государственном техническом университете конструируются радиоуправляемые модели танков, выполненные в масштабе 1:6. С использованием подобных моделей в настоя-



щее время ведется разработка игры-аттракциона, которая будет проходить в режиме сражения двух команд радиоуправляемых моделей танков. В качестве окружающей среды для моделей на данном этапе разработки выбрана беспрепятственная ровная площадка, соизмеримая с волейбольным полем.

Для реализации подобного аттракциона разработана архитектура, приведенная на рис. 1.

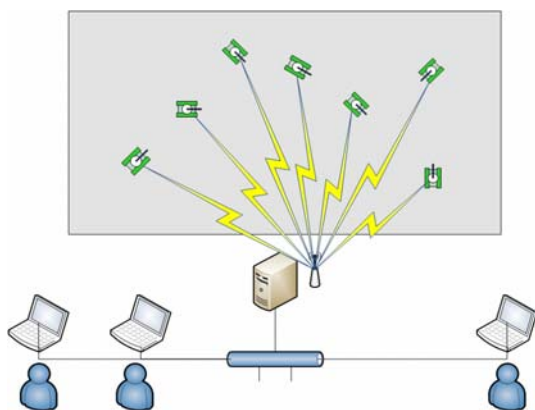


Рис. 1

Для управления каждой из моделей предусмотрено наличие отдельного пульта, предназначенного для пользователя. Управление моделями может проходить в одном из следующих режимов:

автоматический – модель полностью управляется программной системой, находящейся на сервере, через который проходят все управляющие сигналы;

контролируемый ручной – в данном режиме пульт управления отдается человеку, однако все директивы обрабатываются программной системой на предмет допустимости и в случае необходимости корректируются.

Описанные выше режимы управления позволяют принимать участие в сражении как группе людей, так и одному, двоим участникам. В случае, если людей в игре меньше, чем моделей, манипуляцию оставшимися берет на себя программная система.

С точки зрения автоматизированной системы управления, сражение представляет собой противостояние двух мультиагентных систем, в каждой из которых всегда присутствует агент-

координатор, несущий на себе обязанности командира, и агенты подчиненные, которые следуют выбранной стратегии. Стратегия команды состоит из совокупности нескольких тактик для каждого участника команды. Различают следующие тактики:

селективная атака – танк-союзник атакует танки противника;

массовая атака – несколько союзников атакуют одного противника;

атака камикадзе – один союзник бросается в центр группы противников;

оборонительное поведение – танк-союзник перемещается в центр своей команды.

Иллюстрация описанных стратегий приведена на рис. 2.

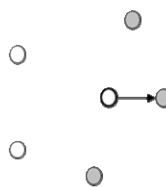
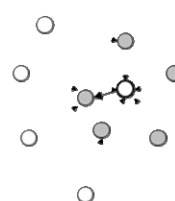
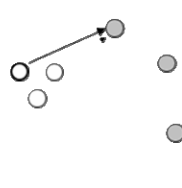
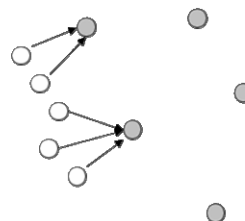
Селективная атака (01)**Камикадзе (10)****Массовая атака (11)****Оборонительная тактика (00)**

Рис. 2

Для общения агентов внутри команды разработан специализированный протокол, основанный на клиент-серверной архитектуре. Обмен сообщениями происходит посредством единого сервера коммуникаций. Общая архитектура протокола коммуникаций приведена на рис. 3.

Для сообщений разработана структура пакетов, ориентированная на имеющиеся стратегии ведения боя. Для снижения трафика между агентами и сервером в качестве стратегии указывается только ее идентификатор, известный всем агентам. Также можно установить флаги необходимости помощи, особым образом обрабатываемые агентом-координатором. Наличие дополнительной строки расширения в пакете сообщения позволяет расширять возможности протокола при описании модели поведения мультиагентной системы.

Память мультиагентной системы реализована также через стек коммуникаций. У каждого пакета есть время жизни – количество тактов

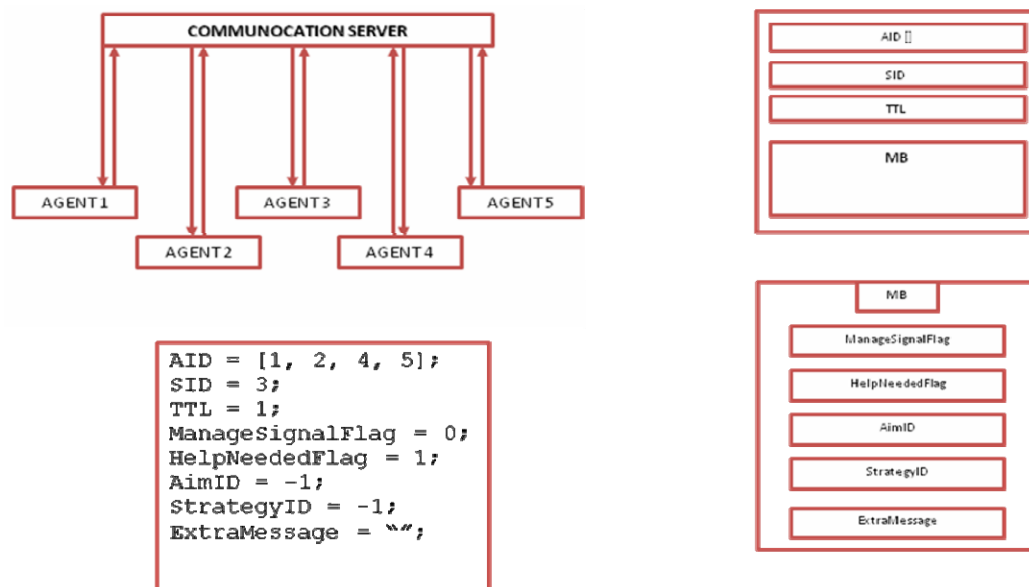


Рис. 3

игры, после которого пакет будет уничтожен. Установив этот флаг равным "1", мы гарантируем жизнь пакета на протяжении всего сражения. Для записи самого сообщения используется строка расширения.

В ходе сражения крайне нежелательно столкновение моделей. Для предотвращения аварийных ситуаций был разработан специальный алгоритм, предупреждающий столкновения и рассчитывающий корректирующие значения

для управляющих сигналов. Этот алгоритм применяется на сервере управления, и все директивы обрабатываются независимо от режима управления моделями. Так, даже если пользователь попытается привести модель к столкновению, система не позволит ему этого сделать, скорректировав курс управляемой модели.

Алгоритм основан на векторных вычислениях скоростей и расстояний до объектов и приведен на рис. 4.

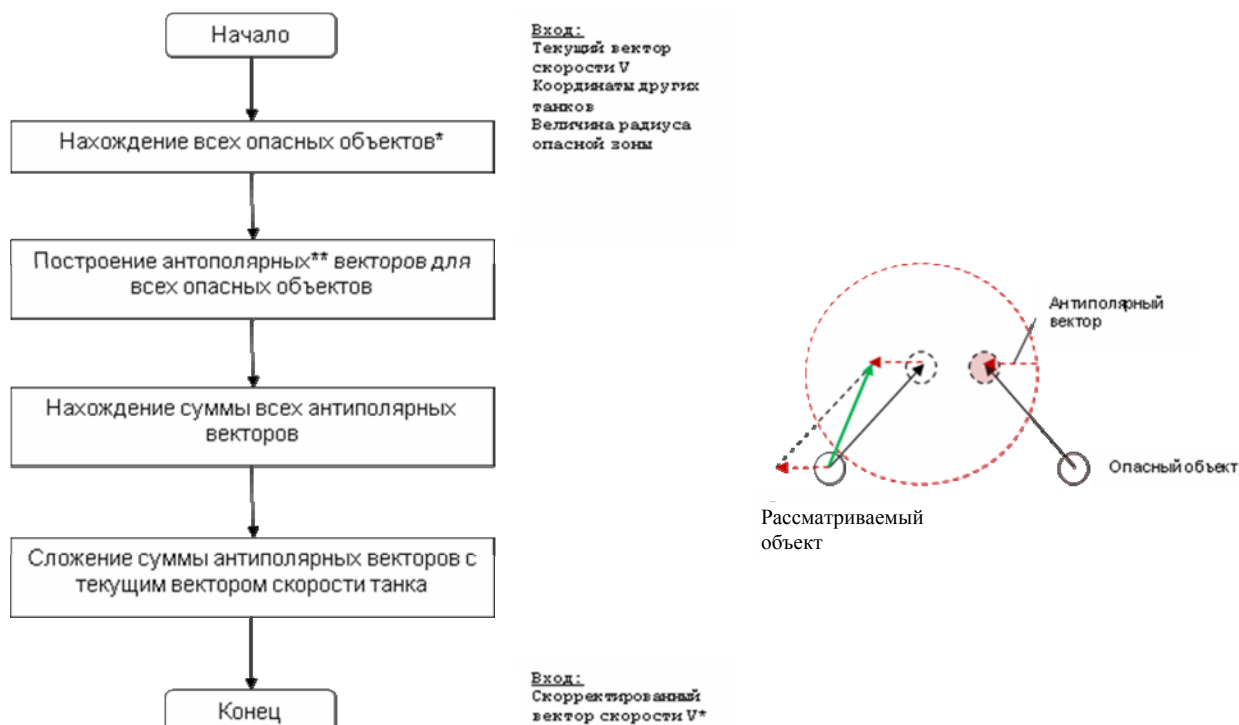


Рис. 4

Для начала определяются все опасные объекты. Опасным считается тот объект, расстояние до которого на следующем ходу окажется меньше допустимого. Затем для всех опасных объектов находятся антиполярные вектора так, как это показано на рисунке. И далее, сумма всех антиполярных векторов и будет определять корректирующий вектор скорости, а его ненулевое значение – определять критичность ситуации.

Одной из актуальных проблем, возникших при реализации аттракциона, является позиционирование моделей на поле боя. Для определения координат танка на поле боя рассматриваются следующие подходы:

- установка камер и распознавание картинки;
- высокоточные GPS-приемники;
- лазерное сканирование;
- датчики расстояния.

На данном этапе решено использовать последний вариант. От 6 до 10 датчиков, установленных по периметру модели, позволяют определить расстояние до ближайшего объек-

та с точностью до нескольких сантиметров.

На сегодняшний день уже реализовано управление одной модели пользователем в режиме контроля управляющих воздействий и ведутся работы по наладке коллективного движения. Сигналы моделям передаются посредством беспроводной связи. Для преобразования выходящих сигналов из серийного порта в электромагнитные импульсы используются уникальные устройства, специально привезенные из Японии.

Также для управления моделями написана тестовая версия системы управления, способная отображать виртуальный ход сражения. Помимо своего прямого назначения – управления моделями танков и контроля аттракциона – система позволяет проводить соревнования на виртуальном поле. Алгоритмы управления подгружаются из отдельной библиотеки. Кроме программной системы написан набор документации разработчика с описанием игрового мира. Разработанный пакет позволяет проводить турниры по написанию алгоритмов управления командой танков.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 658.014

М. А. Заболотский, А. В. Тихонин, И. А. Полякова
**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА "СТРАТЕГ" –
 ИНСТРУМЕНТ ЦЕЛЕПОЛАГАНИЯ И АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И СИТУАЦИЙ**

Волгоградский государственный технический университет (strategist@involgograd.net)

Для поддержки процесса принятия решений авторы предлагают использовать аналитическую программную систему (АПС) «Стратег», основанную на так называемом «когнитивном подходе» и реализующую предложенные авторами принципиально новые в рамках данного подхода возможности: использование статистических данных, определение опосредованных влияний, Парето-анализ и т.п. Авторы также приводят примеры исследований в различных предметных областях, которые проводились с использованием АПС «Стратег».

Ключевые слова: принятие решений, Парето-анализ, аналитическая программная система

M. A. Zabolotsky, A. V. Tikhonin, I. A. Polyakova
**ANALYTICAL SOFTWARE SYSTEM «THE STRATEGIST» – AN INSTRUMENT OF PUTTING RIGHT
 OBJECTIVES AND ANALYZING COMPLEX SYSTEMS AND SITUATIONS**

In order to facilitate the decision-making process the authors recommend to use the analytical software system (ASS) “The Strategist”, which is primarily based on the so-called “cognitive approach” with some author’s innovations dealing with statistics, mediate influences, Pareto-analysis and etc. The authors also mention a number of investigations in different problem areas, which have been conducted using ASS “The Strategist”.

Decision-making process, Pareto-analysis, analytical software system

В управленческой деятельности руководители разного уровня независимо от сферы их деятельности (государственная служба, бизнес, промышленность и т. д.) зачастую сталкиваются с необходимостью принимать решения в сложных ситуациях, требующих от них всестороннего анализа проблемы и довольно обширных знаний о предметной области и происходящих в ней процессах. Однако, помимо этого, для принятия эффективных управленческих и стратегических решений необходима грамотная и обоснованная постановка целей, что в конечном счете и будет определять успешность того или иного проекта. То есть мы имеем дело с задачей целеполагания, которая подразумевает определение требуемого состояния или поведения системы.

Для решения описанных выше проблем авторами разработана аналитическая программная система "Стратег" (АПС "Стратег"), основанная на когнитивном подходе и обеспечивающая богатые функциональные возможности для построения и анализа когнитивных моделей (в зарубежных исследованиях чаще встречается термин Fuzzy Cognitive Maps – нечеткие когнитивные карты). Программное средство может также применяться для моделирования возможных путей развития ситуаций, формирования и анализа различных стратегий.

Помимо "стандартных" для когнитивного подхода механизмов (представление модели в матричном и графическом виде, моделирование

саморазвития, управляемого развития и т. п.) в аналитической программной системе "Стратег" авторами также реализованы принципиально новые в рамках данного подхода возможности, а именно:

- установление взаимовлияний между факторами по имеющимся статистическим данным на основе корреляционного анализа;
- установление начальных тенденций изменения факторов по статистическим данным;
- определение опосредованных влияний, которые отдельно взятый фактор оказывает на остальные факторы модели (либо которые данный фактор испытывает со стороны других факторов);
- выделение на графе уровней влияний, описанных в предыдущем пункте;
- парето-анализ опосредованных влияний того или иного фактора (и на фактор) с целью выявления группы факторов, оказывающих на данный фактор (или испытывающих со стороны данного фактора) наибольшее или наименьшее влияние. Данный механизм является весьма востребованным при решении задач, связанных с проблемами качества. Благодаря этому разработанное авторами программное средство может быть использовано при построении систем менеджмента качества (СМК) и решении смежных задач.

Рассмотрим немного подробнее перечисленные предложения по развитию когнитивного подхода.

Определение взаимовлияний по статистическим данным

Обычно степень взаимовлияния факторов определяется на основе знаний экспертов в предметной области, что сильно зависит от квалификации экспертов и оказывает существенное влияние на качество получаемых когнитивных моделей. В связи с этим предложен метод определения взаимовлияний на основе статистической информации. При наличии корреляционной связи между факторами коэффициент корреляции может непосредственно выражать степень взаимовлияния факторов в числовых значениях лингвистической шкалы. В своих исследованиях и разработанной АПС "Стратег" авторы используют вербально-числовую шкалу Харрингтона (табл. 1), широко распространенную в практике социально-экономических исследований.

Таблица 1

Шкала Харрингтона

Сильно	[0,80; 1,00]
Существенно	[0,63; 0,80)
Умеренно	[0,37; 0,63)
Слабо	[0,20; 0,37)
Незначительно	[0,00; 0,20)

Если рассматривать факторы предметной области, являющиеся вершинами графа когнитивной карты, как случайные величины, что может быть вполне допустимым для слабо-структурированных систем, то степень взаимовлияния факторов, по нашему предположению, может быть выражена коэффициентом корреляции:

$$r_{x_1 x_2} = \frac{C_{x_1 x_2}}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}}, \quad (1)$$

где $C_{x_1 x_2} = \frac{1}{n} \sum n_{x_1 x_2} (x_1 - \bar{X}_1)(x_2 - \bar{X}_2)$ – коэффициент ковариации.

Корреляционная связь между случайными величинами выражается в том, что на изменение одной случайной величины другая случайная величина реагирует изменениями своего математического ожидания или среднего значения. Полученный коэффициент корреляции можно рассматривать в качестве величины, характеризующей силу связи между факторами, которая определяется по шкале Харрингтона.

Определение опосредованных влияний в модели

Еще одним предложением по расширению когнитивного подхода является нахождение опосредованных влияний факторов.

Из графа, представленного на рис. 1, видно, что на фактор "v₁", кроме фактора "v₂", влияющего напрямую, существует также опосредованное влияние факторов "v₃" и "v₄".

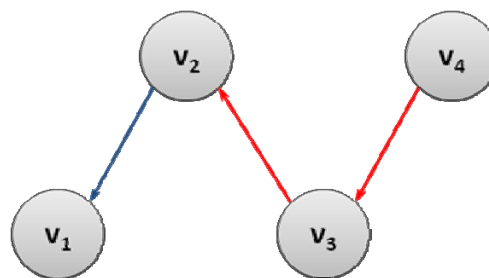


Рис. 1

Исходя из формулы моделирования свободного развития

$$Q = I_N + A + A^2 + \dots + A^t \quad (2)$$

видно, что конечное влияние на фактор будет складываться из транзитивного замыкания матрицы A (матрицы взаимовлияний факторов). Отсюда была получена формула расчета результирующих влияний на фактор:

$$V_2 = Q^T \cdot E, \quad (3)$$

где E – матрица размера $n \times 1$, ненулевой элемент которой указывает фактор, для которого рассчитываются влияния.

Аналогичным образом можно также рассчитать влияние фактора на систему:

$$V_1 = Q \cdot E. \quad (4)$$

Данный метод будет полезен для выявления неочевидных, опосредованных влияний на фактор. Также использование степени влияния одного фактора на другой может помочь эксперту в нахождении правильных управляющих факторов и более точных их значений для достижения наибольшего успеха в стратегии.

Для более наглядного представления уровней опосредованных влияний, которые испытывает выбранный фактор, а также влияний, который фактор оказывает на другие факторы модели, предложено осуществлять раскраску графа на основе метода рекурсивного поиска в глубину.

Парето-анализ опосредованных влияний

Для более глубокого анализа опосредованных влияний того или иного фактора (и на фактор) с целью выявления группы факторов, оказывающих на данный фактор (или испытывающих со стороны данного фактора) наибольшее или наименьшее влияние предлагается ис-

пользовать "инструмент" Парето-анализа. Как уже отмечалось, данный механизм также является весьма востребованным при решении задач, связанных с проблемами качества и может быть использован при построении систем менеджмента качества (СМК) и решении смежных задач. Суть предлагаемого анализа заключается в следующем.

1. Ранжируем факторы по убыванию их влияния.

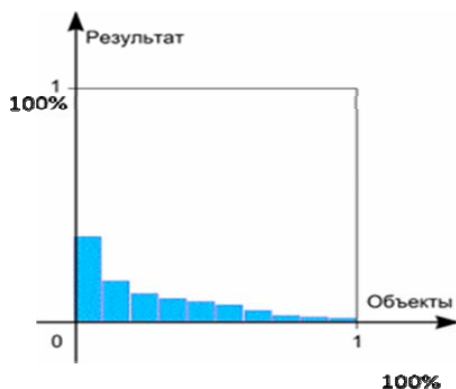


Рис. 2

Таблица 2

Парето-анализ влияний факторов

Фактор	Доля влияния фактора, %	Накопленное влияние, % $y=f(x)$	$y=100\%-x$
v_1	51,06	51,06	87,50
v_2	16,51	67,57	75,00
v_3	8,75	76,32	62,50
v_4	7,71	84,03	50,00
v_5	7,10	91,13	37,50
v_6	4,64	95,77	25,00
v_7	2,18	97,95	12,50
v_8	2,05	100,00	0,00

2. Строим функцию результирующего влияния (накапливаем влияние).

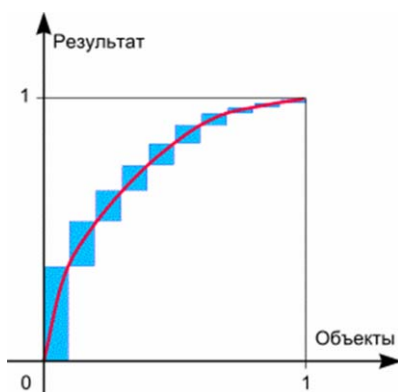


Рис. 3

3. Строим функцию $y = 100\% - x$, где $x = 100\% / n$.

4. Находим точку Парето – точку пересечения функции накопленных влияний и функции $y = 100\% - x$.

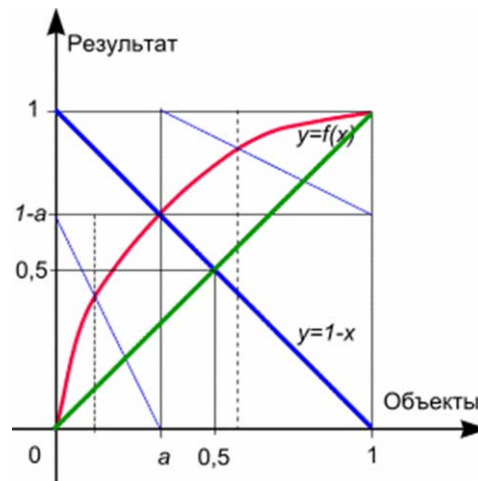


Рис. 4

5. Получаем деление факторов точкой Парето и анализируем его.

С помощью аналитической программной системы "Стратег" и разработанной методики авторами проведен ряд исследований в различных областях:

исследование проблемы устойчивого развития Волгоградской области (работа велась при поддержке РФФИ, проект 04-06-96500);

анализ ситуации в сфере ЖКХ (на примере ЖКХ г.Волгограда);

исследование проблемы качества подготовки специалистов по информационным технологиям в вузе (на примере подготовки специалистов на кафедре "САПР и ПК" в ВолгГТУ);

прогнозирование развития нефтяной компании;

и другие.

В настоящее время также проводятся исследования по следующим направлениям:

исследование проблем промышленной безопасности;

исследование возможного эффекта от проведения маркетинговой акции сотовой компанией;

исследование проблемы лояльности абонентов сотовой компании;

анализ и поиск путей устранения дефектов в литейном производстве (работа ведется при поддержке исследовательского гранта DAAD).

Авторы постоянно работают над улучшением программного продукта, расширением его функциональности, а также методики проведения исследований. Планируется добавить инструменты, облегчающие построение модели на начальном этапе работы с ней (инструменты для мозгового штурма, получения и усреднения экспертных данных и оценок и т. п.), а также разработать методику стыковки рассмотренного подхода и программного средства с технологиями Data Mining и нейронных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Робертс, Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. – М., 1986.
2. Axelrod, R.: Structure of decision, Princeton university press (1976).

3. Максимов, В. И. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций / В. И. Максимов; Под ред. В. И. Максимова // Материалы 1-й международной конференции в 3-х томах. – М., 2001. – Том 1. – 196 с.

4. Заболотский, М. А. Применение когнитивного моделирования в управлении качеством подготовки специалистов / М. А. Заболотский, И. А. Полякова, А. В. Тихонин // Управление большими системами / Сборник трудов. Вып. 16. – М.: ИПУ РАН, 2007. – 193 с.

5. Заболотский М.А., Полякова И.А., Тихонин А.В. Когнитивное моделирование – уникальный инструмент для анализа и управления сложными системами (регион, отрасль промышленности, крупное предприятие) / М. А. Заболотский, И. А. Полякова, А. В. Тихонин // Успехи современного естествознания. – М.: № 2, 2005.

6. Камаев, В. А. Анализ ситуации в регионе и управление развитием с помощью когнитивного моделирования / В. А. Камаев, И. А. Полякова, А. В. Тихонин, М. А. Заболотский // Информационные технологии в науке, образовании и бизнесе: Труды межд. конф., Гурзуф, май, 2005.

УДК 681.51

С. Н. Недзиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКОЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (snedziev@mail.ru)

В статье описана модель управления кадровой политикой предприятия, учитывающая взаимодействие кадровой службы предприятия с внешними организациями. На основе предложенной модели была разработана «Автоматизированная система управления кадровой политикой строительного предприятия».

Ключевые слова: управление кадровой политикой, автоматизированные системы, поддержка принятия кадровых решений

S. N. Nedziev

MODELING OF THE STAFF POLICY CONTROL. USING THE MODEL OF THE STAFF POLICY CONTROL IN CONSTRUCTING OF AUTOMATED SYSTEMS.

The model of the staff policy control which including interaction of an personnel department with outer organizations is written in this article. On the base of this model “The Automated control system of the personnel policy of the developing enterprise” was created.

Control of the staff policy, automated systems, support of personnel decisions.

Одним из наиболее важных условий работы любого предприятия является наличие необходимого кадрового потенциала, то есть наличие человеческих ресурсов в достаточном количестве и надлежащего качества. Целью кадровой политики является создание такого потенциала. Эта цель достигается с помощью максимально эффективной организации основных направлений кадровой работы:

- планирования текущей потребности в персонале;
- подбор, оценка, наем и профессиональная ориентация работников;
- планирование и осуществление кадровых перемещений;
- работа с кадровым резервом.

В настоящее время кадровые службы многих предприятий реализуют кадровую политику неэффективно. Основными проблемами реализации кадровой политики предприятий являются: трудности поиска квалифицированного персонала; недостаток квалифицированных кадров на рынке труда; проблема поиска рабо-

чих; низкая эффективность кадровых перестановок.

Одним из возможных решений проблем является разработка эффективной системы взаимодействия кадровой службы предприятия и учебных заведений региона. Создание такой системы требует решения следующих задач:

- 1) разработка информационной модели кадровой политики предприятия на основе анализа работы кадровых служб предприятий и потребности в повышении кадрового потенциала;
- 2) разработка автоматизированной системы на базе полученной модели.

Модель управления кадровой политикой предприятия

Исходя из потребностей моделирования, проведен обзор и анализ следующих направлений: работа кадровых служб предприятий различных отраслей; работа учебных заведений; создание квалификационных справочников.

Кадровые службы. В ходе обзора были рассмотрены кадровые службы предприятий раз-

личных отраслей промышленности, а также непромышленных предприятий. Проведен сравнительный анализ направлений методов работы кадровых служб.

Учебные заведения. Рассмотрены различные варианты взаимодействия учебных заведений с предприятиями в контексте согласованной подготовки и переподготовки кадров.

Квалификационные справочники. В ходе работы проанализированы возможные варианты карьерного роста работников предприятий, а также возможные варианты кадровых перестановок на предприятиях.

После обзора и анализа существующих моделей, методов и прототипов и выполнена постановка задач исследования.

Модель должна отражать:

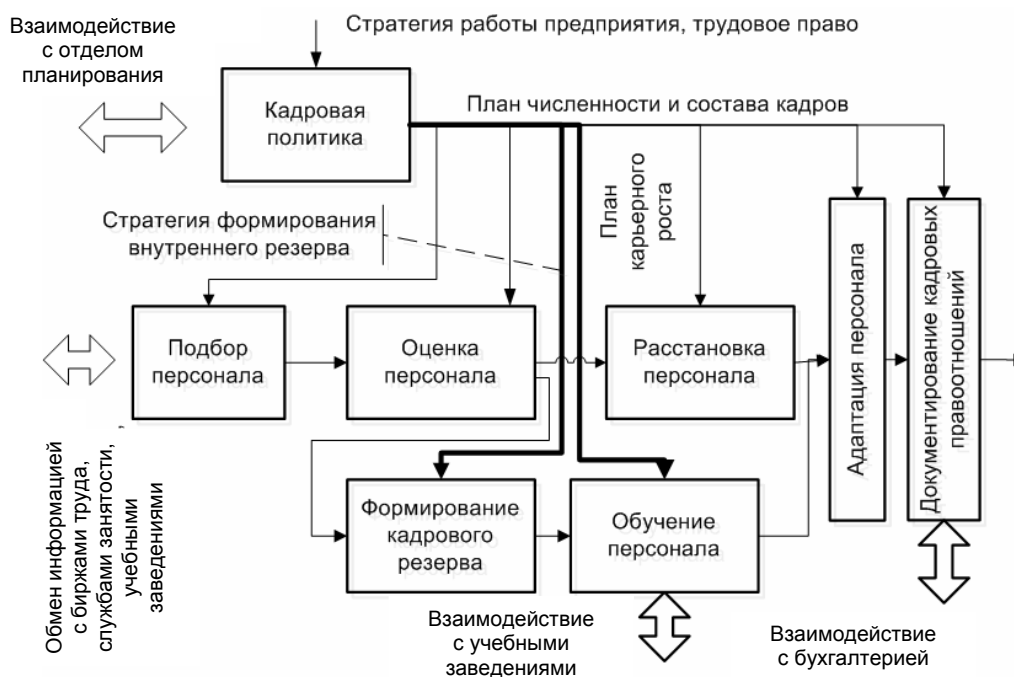
- основные проблемные направления рабо-

ты кадровой службы, и влияние на них кадровой политики;

- основные направления движения данных о сотрудниках и соискателях;
- взаимодействие кадровой политики с внешними организациями.

Модель должна удовлетворять требованию универсальности, то есть должна быть возможность использования модели для проектирования систем автоматизации кадровой работы на предприятиях, различных по роду деятельности, количеству рабочих мест и реализуемой на них кадровой политики.

В основу модели легла организация потоков данных о работниках, соискателях и кадровом резерве. Концептуально модель кадровой службы предприятия можно представить в виде диаграммы потоков данных (см. рисунок):



Модель управления кадровой политикой предприятия

Кадровая служба взаимодействует с организациями, являющимися источниками информации о специалистах, занятых поиском работы (в дальнейшем – соискателях). Это учебные заведения; биржи труда; службы занятости; кадровые агентства; Интернет сайты, посвященные поиску работы; газеты и журналы с объявлениями о трудоустройстве.

Цель взаимодействия с этими организациями – поиск новых кадров и пополнение внешнего кадрового резерва.

Внутри организации кадровая служба взаимодействует с отделом планирования и бухгалтерией. Данные, предоставленные отделом пла-

нирования, используются для прогнозирования потребности в кадрах на будущие периоды. Данные о текущей численности и составе кадров передаются в бухгалтерию.

Основные отличия новой модели от известных ранее заключаются в следующем:

полученная модель инвариантна: представлены реализации модели в различных предметных областях;

учитывается проблема поиска кадров и основного вопроса в перестановке кадров: повысить штатного сотрудника в должности, либо принять на вакантную должность нового сотрудника;

новая модель позволяет проследить процесс поступления и обработки информации о штатных единицах и соискателях;

показано влияние кадровой политики предприятия на различные направления работы с кадрами.

Применение модели управления кадровой политикой

На основе модели управления кадровой политикой в 2006 году была создана "Автоматизированная система управления кадровой политикой строительного предприятия". В системе автоматизированы основные направления кадровой работы, регулируемые кадровой политикой:

- управление данными о сотрудниках и кадровом резерве;
- анализ и оценка персонала;
- связь с внешними организациями и соискателями;
- поиск и отбор кадров;
- планирование потребности в кадрах.

Для решения проблемы быстрого поиска квалифицированных кадров необходимо иметь актуальные данные обо всех специалистах, ищущих в данный момент работу по требуемым специальностям. Также необходимо своевременно информировать кадровые агентства и учебные заведения о новых вакансиях на предприятии. Наиболее современным способом передачи данных о вакансиях и резюме в настоящее время является передача данных через Интернет в формате XML.

Данные о вакансиях обновляются по мере появления новых вакансий и передаются в кад-

ровые агентства и учебные заведения в формате XML по запросу.

Специалисты, ищущие работу, могут также посмотреть все вакансии предприятия на сайте предприятия. Данные передаются на сайт ежедневно, и обновляются по мере появления новых вакансий.

Для рационального управления кадровым резервом необходимо знать потребность организации в персонале. В качестве способа взаимодействия с отделом планирования строительной организации был выбран импорт информации о занятости персонала предприятия на строительных объектах. Опираясь на полученные данные, работник кадровой службы может составить план кадрового резерва, и вовремя направить сотрудников предприятия на повышение квалификации.

В процессе создания системы разработаны:

- алгоритмы поддержки принятия решения о кадровых перестановках и планировании карьерного роста сотрудников;
- методы повышения скорости и эффективности поиска кадров;
- методы информационного взаимодействия между кадровой службой предприятия и учебными заведениями.

Модель применялась при создании "Автоматизированной системы управления кадровой службой эстрадного коллектива" и "Автоматизированной системой управления кадровой службой воинской части" в 2007 году. В настоящее время ведется разработка "Автоматизированной системы управления кадровой политикой предприятия", инвариантной для предприятий различных отраслей.

УДК 681.51

А. С. Обухов

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Волгоградский государственный технический университет (aobuhov@vist-v.ru)

Статья посвящена проблеме разработки автоматизированной системы управления уровнем профессиональной компетенции специалистов на предприятии. В ней предложена модель специалиста, модель знаний и способы оценки уровня знаний специалистов на предприятии, а также приведены требования к рассматриваемой автоматизированной системе.

Ключевые слова: уровень компетенции, оценка компетенции, модель знаний, алгоритм тестирования, модель вопроса.

A. S. Obuhov

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM BY LEVEL OF THE PROFESSIONAL COMPETENCE OF EXPERTS AT FIRM

Article is devoted a problem of development of the automated control system by level of the professional competence of experts at firm. The model of the expert, model of knowledge and ways of an estimation of level of knowledge of experts at firm is offered in it, and also requirements with considered automated to system are resulted.

Competence level, competence estimation, model of knowledge, algorithm of testing, question model.

Оценка уровня компетентности персонала является неотъемлемым элементом функционирования организации. Она пронизывает всю систему управления персоналом – подбор, отбор и расстановку кадров, профессиональное

развитие персонала (подготовку кадрового резерва, развитие карьеры, обучение), мотивацию деятельности. Оценка персонала необходима при реорганизации, она позволяет выявить, насколько каждый сотрудник способен адаптиро-

ваться к новым условиям работы, отобрать наиболее подходящих кандидатов и именно их оставить в новой организации. Оценка нужна для принятия обоснованного решения о сокращении и увольнении работника, что влияет на социально-экономическую ситуацию не только и не столько на отдельном предприятии, но и в регионе в целом. Автоматизация оценки персонала является крайне необходимой и актуальной на сегодняшний день задачей.

Создание автоматизированной системы позволит повысить эффективность оценки уровня компетенции специалистов на предприятии. Для этого необходимо смоделировать процесс оценки уровня компетентности и разработать автоматизированную систему оценки уровня компетентности сотрудников предприятия, обладающую следующими качествами:

- возможность тестирования всех необходимых видов специалистов в соответствии с кадровыми ситуациями;
- ведение базы тестовых заданий для проверки уровня компетенции специалистов;
- ведение истории изменения уровня профессиональной компетентности специалистов, а также изменение занимаемых им должностей и степень удачного исполнения профессиональных обязанностей;

- обеспечение поддержки принятия решений менеджером по кадрам и выдачи рекомендаций по вопросам повышения уровня профессиональной подготовки;

- проведение тестирования сотрудников в соответствии с заданными менеджером по персоналу параметрами;

- вывод результатов тестирования в приемлемом для восприятия формате [8, 9, 10, 11, 12].

Для изучения предметной области этой работы были изучены подходы к вопросу автоматизации управления уровнем компетентности специалистов на предприятии, которые позволили составить картину о текущем состоянии этого вопроса [1, 2, 3].

После рассмотрения таких разработок в области моделирования процесса оценки уровня знаний как модели распознавания образа уровня знаний, предметно-критериальная методика составления тестов, абсолютная временная шкала измерения знаний, модель адаптивного тестового контроля, автоматизированный контроль знаний по методике уточняющих вопросов были предложены следующие решения по созданию автоматизированной системы управления уровнем компетентности специалистов [3]. На рис. 1 приведен общий алгоритм проведения тестирования, на котором видно исполь-

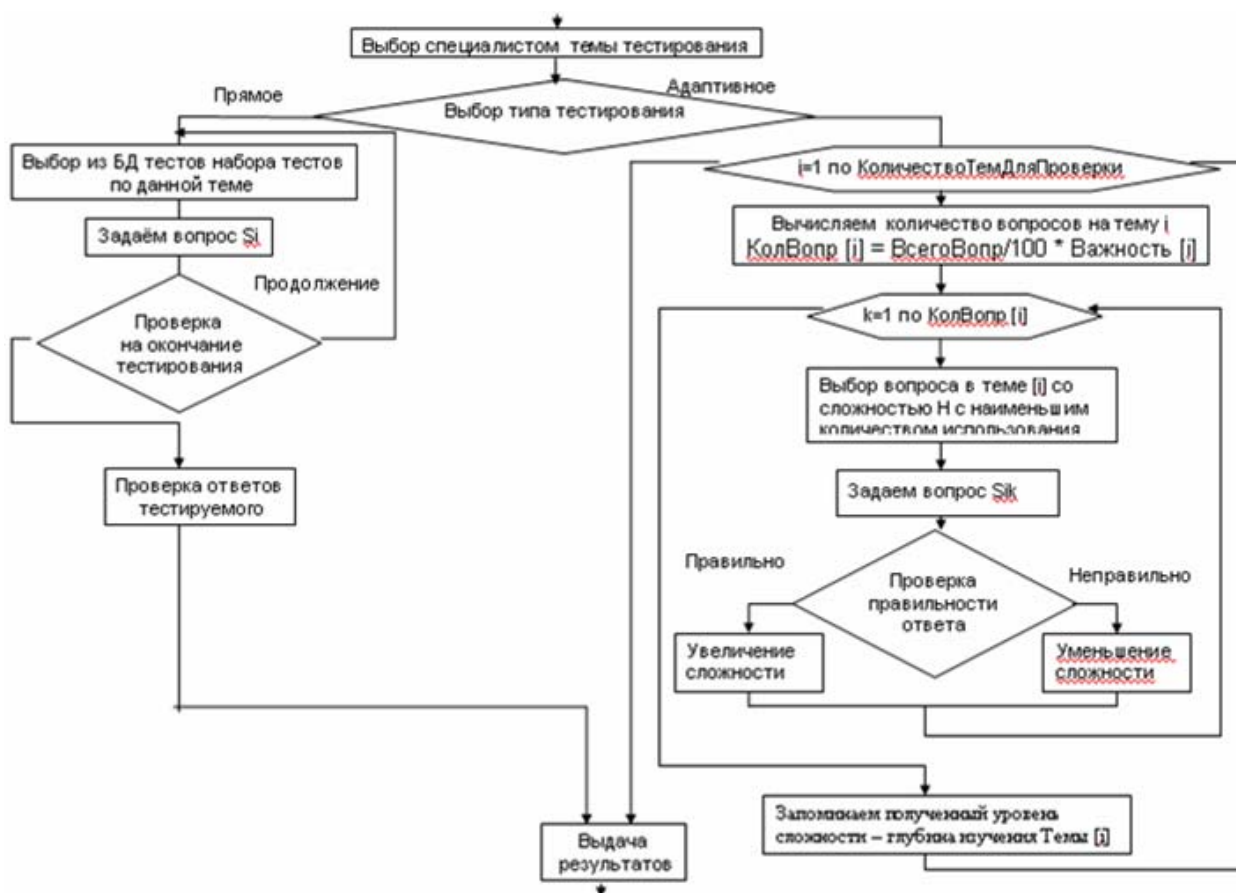


Рис. 1. Алгоритм проведения тестирования

зование и общий принцип адаптивного тестирования в комплексе с прямым тестированием. [4, 5, 6, 7].

При работе специалиста в разрабатываемой системе формируется его карточка, содержащая общую информацию, заполняемую либо самим специалистом, либо менеджером по кадрам. Также происходит заполнение данных о физических и психологических характеристиках. Эти данные могут быть экспортированы с других систем или же заполнены менеджером по персоналу, на основе своего опыта или проведения соответствующего опроса.

Проводимая проверка уровня компетенции зависит от того, какая из трех кадровых ситуаций имеет место – прием специалиста на новую должность, аттестация либо ранжирование персонала, перемещение сотрудника на другую должность внутри предприятия по собственному желанию (горизонтальное или вертикальное перемещение). В зависимости от ситуации выбирается вид тестирования.

Разрабатываемая система проверки профессиональной компетентности сотрудников предприятия должна отвечать ряду выявленных

выше правил и условий. С их учетом было принято решение, что система будет представлять собой распределенную систему со следующим принципом обмена и работы.

Центральная система представляет собой главное хранилище информации и базы знаний. Здесь содержится полная модель профессиональных знаний, набор тестовых заданий, структуры должностей, требования к специалистам, база знаний.

Распределенные системы дают возможность сделать систему унифицированной и не зависящей от какой-либо программной платформы, поскольку разработанные модели универсальны и при наличии средств конвертации могут быть использованы любой системой. Однако не всегда возможен обратный обмен.

Приведенная на рис. 2 модель специалиста отличается универсальностью. Знания, психологические, личные, физические характеристики могут обладать различным набором атрибутов. Для определения пригодности специалиста для каждой характеристики вводится значимость ее в конечном результате. Для каждой профессии эти значения могут быть различными.

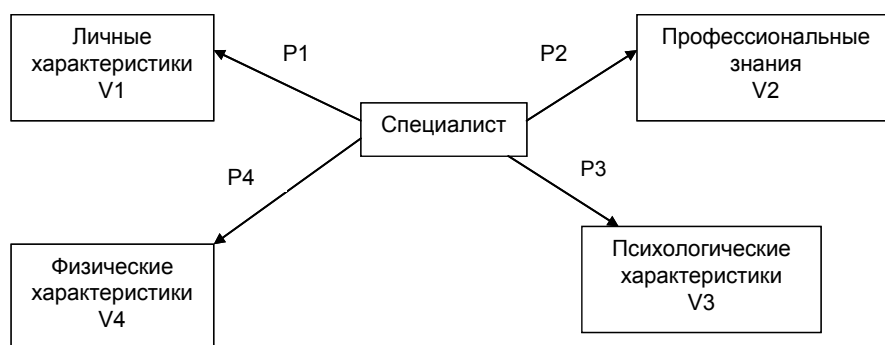


Рис. 2. Модель специалиста:

V1, V2, V3, V4 – значение оценки параметров; p1, p2, p3, p4 – значимость параметров

$$\text{Рейтинг специалиста} = P1 \cdot V1 + P1 \cdot V1 + P1 \cdot V1 + P1 \cdot V1$$

Величина P_i (значимость параметра) служит для учета уровня значимости различных характеристик на итоговую оценку специалиста. Величина этого параметра в системе может задаваться менеджером по персоналу на стадии конфигурирования или же определяться на основе статистических данных, накопленных в системе.

Величины V_i определяются по результатам собеседования, тестирования уровня компетентности или получения результатов из других систем, например, системы психологического тестирования.

Личные, физические и психологические характеристики вводятся пользователем системы с уже готовым результатом, поскольку разрабатываемая система направлена на проверку именно профессиональных знаний специалиста. Остальные характеристики могут быть получены из других автоматизированных систем или же из собеседования со специалистом.

Каждая из личных характеристик имеет свою значимость в свете целевого значения личных характеристик как таковых. Аналогично с психологической и физической моделями характеристик.

В тесты почти всегда включено ограниченное количество заданий, и задача составителя – использовать системный подход для подбора таких заданий, которые бы адекватно отражали уровень профессиональной компетентности проверяемого в той или иной сфере. Для этого все вопросы по проверке уровня профессиональной компетентности разбиты на области знаний, которые имеют иерархическую структуру. Каждая область имеет свой коэффициент значимости в родительской области. Причем этот коэффициент может быть неодинаков для разных профессий. Благодаря этому мы можем получить адекватную оценку уровня профессиональной компетентности проверяемого.

На рис. 3 приведена информационная модель знаний. Данная модель позволяет довольно детально проверить профессиональные знания специалиста, определить как "глубину", так и "ширину" знаний.

Каждая область знаний имеет свою значимость в определении уровня профессиональной компетентности специалиста. Аналогичная ситуация с темами и подтемами любого уровня.

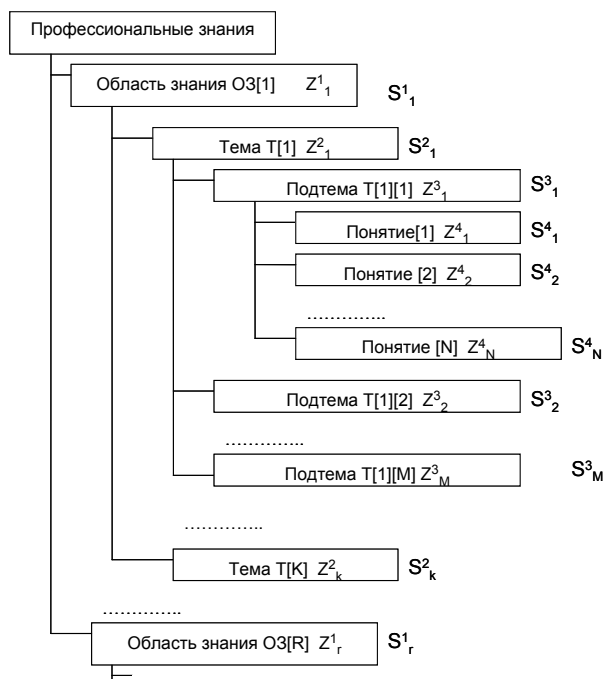


Рис. 3. Информационная модель знаний:

$S^i_k(g)$ – значимость понятия k -го понятия (подтемы) i -го уровня в понятии g уровня $i-1$; $\sum S^i_k(g)=1$ по k от 1 до k ; Z^i_k – уровень знания, проверяемого по теме (понятию) k уровня i ;

ОценкаПрофЗнанийПодтемы $i = \sum S^i_k \cdot Z^i_k$ по k от 1 по Ri

ОценкаПрофЗнаний = $\sum S^1_k \cdot Z^1_k$ по k от 1 по R

Сумма значимостей элементов одного уровня на одной ветви принимается равной 1 (или 100 %). Таким образом, оценка уровня профессиональной компетенции подтемы определяется по формуле:

$$\text{ОценкаПрофЗнанийПодтемы } i = \sum_{k=1}^{Ri} S^i_k \cdot Z^i_k. \quad (1)$$

Соответственно оценка уровня профессиональной компетенции определяется по формуле:

$$\text{ОценкаПрофЗнаний} = \sum_{k=1}^R S^1_k \cdot Z^1_k. \quad (2)$$

После накопления опыта проведения тестирования, истории работы специалиста, на основе статистических данных возможна коррекция этих весовых коэффициентов, что позволяет корректировать их возможно неправильное начальное значение.

Каждый вопрос имеет свой уровень сложности, который также статистически может быть изменен со временем, поэтому автоматизированная система может учитывать не только "ширину" знаний специалиста, но и их "глубину".

Проведение самого тестирования в данной системе возможно по двум алгоритмам: *прямое* и *адаптивное тестирование*.

Каждый из алгоритмов имеет свою область применения. Прямое тестирование рекомендуется применять при аттестации, поскольку тогда все проверяемые вне зависимости от своего уровня профессиональной компетентности получают одинаковый набор вопросов. Адаптивное тестирование хорошо при общей оценке уровня профессиональной компетентности, поскольку дает возможность оценить глубину знаний пользователя. Проверяемый, правильно отвечающий на вопросы, получит возможность в полной мере показать "глубину" своих знаний и закончить тестирование раньше. Если же пользователь не отвечает на поставленные вопросы, то он получит возможность отвечать на более легкие из них или же вообще будет снят с тестирования, чтобы не тратить свое время напрасно.

Данная иерархическая модель позволяет наиболее полно использовать представление знаний. Для определенной должности существует свой уровень значимости той или иной подтемы в теме.

Для наиболее полного рассмотрения всех требований, которые выдвигает та или иная

должность, была разработана модель должности, представленная на рис. 4.

Определение степени пригодности сотрудника на должность происходит путем сравнения параметров модели должности, на которую он претендует, и специалиста, в результате которого будут получены рекомендации о принятии специалиста на эту должность или об отказе.

Профессиональные знания – самая значимая часть модели специалиста и должности. Насколько качественными знаниями обладает

специалист – на столько эффективной и будет его работа на предприятии.

Для оптимизации процесса тестирования будем использовать два способа: прямое тестирование и адаптивное. В различных кадровых ситуациях может быть более эффективен тот или иной вид тестирования. Например, для определения уровня профессиональной компетентности по какой-либо цели лучше использовать адаптивное тестирование, поскольку оно позволит за меньший промежуток времени более полно проверить знания специалиста.

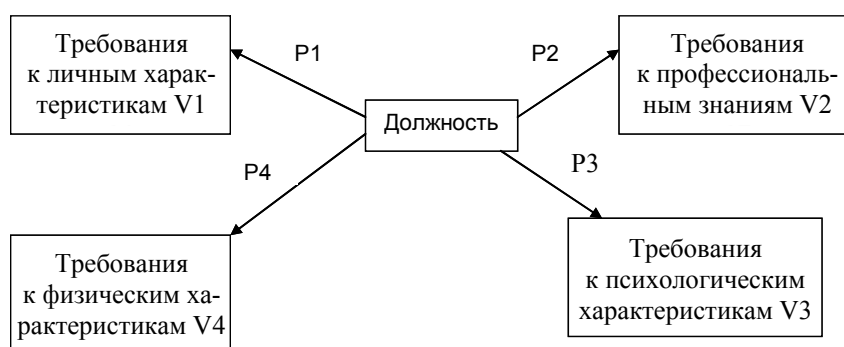


Рис. 4. Модель должности:

V1, V2, V3, V4 – требуемые значения параметров; p1, p2, p3, p4 – значимость параметров

$$\text{Уровень Требованиям Должности} = P1 \cdot V1 + P2 \cdot V2 + P3 \cdot V3 + P4 \cdot V4$$

Когда возникает необходимость аттестации сотрудников – адаптивное тестирование может не подойти, поскольку в этом случае необходимо, чтобы все проверяемые были в равных условиях и отвечали на одни и те же вопросы. В этом случае применяется прямое тестирование.

Вопросы при выбранных типах и видах тестирования должны иметь своеобразную структуру, позволяющую осуществить адаптацию к специалисту. Модель вопроса приведена на рис. 5.

Уровень сложности вопроса определяется с течением времени в зависимости от количества правильных и неправильных ответов на него. При создании вопроса автор, пользуясь своим опытом или консультируясь с экспертами, назначает уровень сложности вопроса. В дальнейшем этот уровень может быть изменен в большую сторону автоматизированной системой, если на него будет много неправильных ответов, или же в меньшую – если на него большинство отвечают правильно.

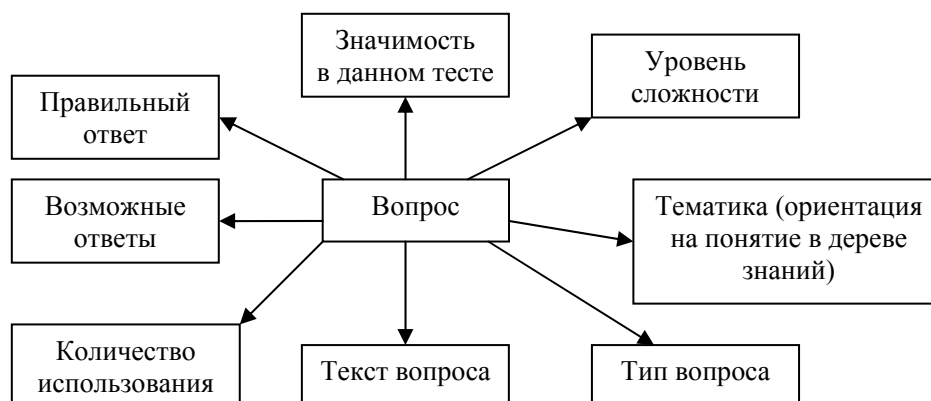


Рис. 5. Модель вопроса

Значимость вопроса в данной теме определяется для каждой профессии отдельно. Аналогично уровню сложности вопроса – значимость изначально задается автором на основе своего опыта или опыта экспертов, а затем корректируется машиной в ходе эксплуатации.

Корректировка уровня сложности вопроса и значимости происходит по усредненному значению.

Уровень сложности вопроса используется для организации адаптивности процесса тестирования, которая заключается в том, что при правильном ответе на вопрос следующий вопрос выбирается с более высоким уровнем сложности, что помогает определить не только наличие знаний, но и их уровень. В процессе проверки результатов тестирования и вынесения рекомендаций проводится анализ всех ответов, их верность и уровень сложности. Выводится развернутая информация по результатам проверки уровня профессиональной компетентности.

В соответствии с оглашенной концепцией системы (три кадровых ситуации) информация о проверке уровня профессиональной компетентности специалиста сохраняется в базе данных и производится отслеживание дальнейшей истории проверки его профессиональных знаний. Это дает возможность осуществить накопление информации в базе знаний для дальнейшей, более точной, оценки пригодности специалиста для той или иной области.

Модели и методы, изложенные в работе, были применены при создании автоматизированной системы "Проверка профессиональных знаний". Система была разработанная на базе 1С версии 7.7. Выбор данной среды был обусловлен тем, что на настоящее время на предприятиях широко применяются программные продукты, написанные на 1С 7.7. Они зарекомендовали себя с хорошей стороны и персоналу предприятия применять их будет привычнее.

Разработанная конфигурация предназначена для использования на предприятии. Она представляет собой распределенную часть разрабатываемой общей системы. Это делается с целью получения опыта использования разрабо-

танной модели тестирования, апробации и выявления недостатков.

Функционал системы "Проверка профессиональных знаний" был расширен в системе "Управление уровнем компетенции специалистов предприятия", которая представляет собой сетевую систему. Она позволяет:

- вести историю развития компетенции специалистов;

- хранить деревья знаний и корректировать их для различных предметных областей;

- хранить и редактировать базу тестовых заданий;

- выдавать развернутые результаты проверки уровня компетенции;

- выдавать рекомендации для поддержки принятия кадровых решений;

- производить коррекцию весовых коэффициентов тестовых заданий на основе накопленного опыта проверки уровня профессиональной компетентности.

Для достижения поставленных задач разрабатываемая система должна включать в себя следующие модули:

- модуль управления хранением и обработкой личных карточек специалистов;

- модуль управления хранением и обработкой базы тестовых заданий;

- модуль управления хранением и обработкой "древа знаний";

- модуль проведения проверки уровня компетенции специалистов;

- модуль анализа результатов проверки уровня компетентности и карточки специалиста;

- модуль оптимизации тестов и системы принятия решения;

- база знаний.

На рис. 6 приведена схема взаимодействия модулей системы управления уровнем компетенции персонала на предприятии.

Описанная система позволит повысить эффективность процесса управления уровнем компетенции специалистов предприятия за счет автоматизации проверки уровня профессиональных знаний и внедрения системы поддержки принятия кадровых решений.

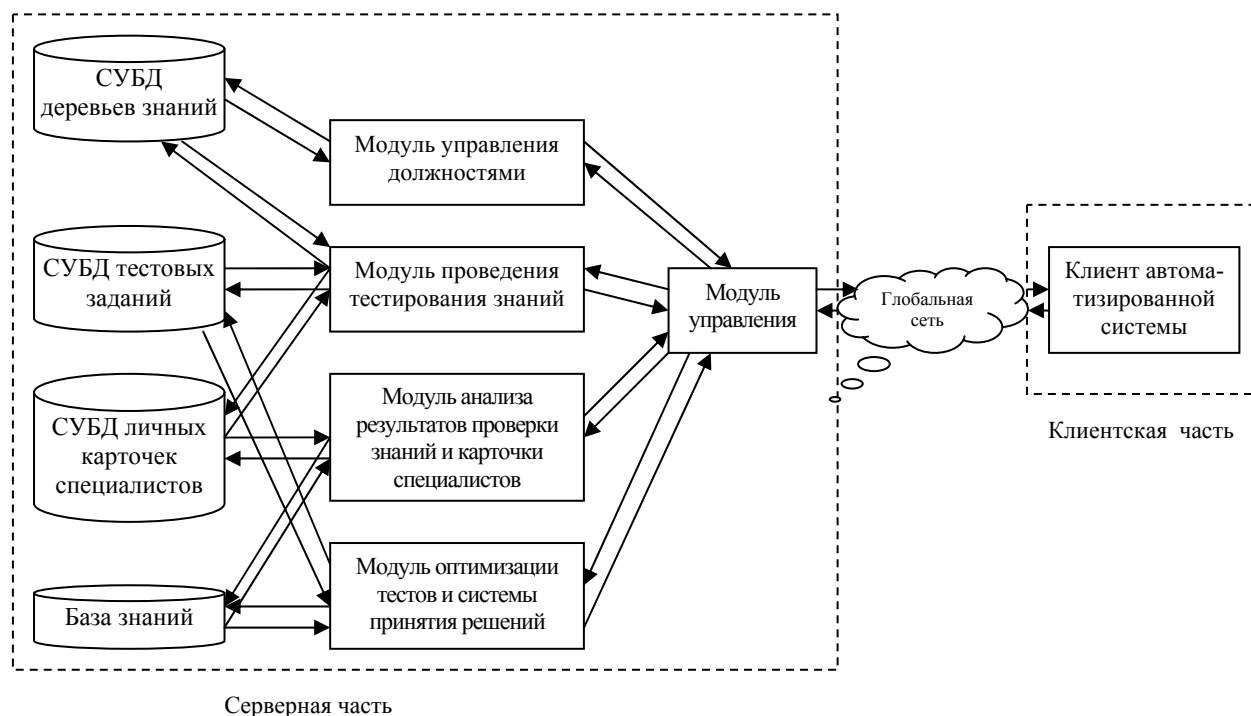


Рис. 6. Схема взаимодействия модулей системы управления уровнем компетенции персонала на предприятии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудинский, И. Д. Автоматизированный контроль знаний по методике уточняющих вопросов / И. Д. Рудинский, Е. В. Соловей. Сборник материалов конференции ИТО-2001. – 2001
2. Аксенова Е. А. Управление персоналом в системе государственной службы/ Е. А. Аксенова, Т. Ю. Базаров, Х. А. Веков, Н. Ф. Лукьянова, М. В. Талан. – М., 1997.
3. Нессонов, Г. Г. Управление персоналом коммерческой организации. Учеб. пособие/ Г. Г. Нессонов. – М.: Триада, 1997.
4. Касьянов, Н. В. Создание системы компьютерного контроля как результат новых информационных технологий в обучении/ Н. В. Касьянов. Сборник материалов конференции ИТО-2001. – 2001.
5. Рудинский, И. Д. Метод адаптивного автоматизированного контроля знаний/ И. Д. Рудинский. Сборник материалов конференции ИТО-2001. – 2001.
6. Тесты в социологическом исследовании/ В. С. Аванесов. – М.: Наука. 1982. 199 с.
7. Мусеев, В. Б. Информационный подход к выбору решений в системах адаптивного тестирования/ В. Б. Мусеев, Л. Г. Пятирублевый, К. Р. Таранцева. Материалы конференции "Анализ качества образования и тестирование". 22.03.2001, Москва, МО РФ, МЭСИ, С. 174–178.
8. Inmon W.H., Hackthorn R. Using the Data Warehouse. 1994.
9. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. - AAAI/MIT Press: 1996.
10. Ginzberg M.I., Stohr E.A. Decision Support Systems: Issues and Perspectives // Processes and Tools for Decision Support / ed. by H.G. Sol. — Amsterdam: North-Holland Pub.Co, 1983. Ginzberg M.S., Stohr E.A. Decision Support Systems: Issues and Perspectives.
11. Quinlan J.R. Simplifying decision trees. - Int. J. Man-Mach. Stud., 1987. № 27, pp. 221–234.
12. Simon H. The New Science of Management Decision. N.Y. 1960.

УДК 37

Ю. А. Орлова

ПОДГОТОВКА МЕНЕДЖЕРОВ В ВУЗАХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

Волгоградская государственная академия физической культуры (yulia.orlova@gmail.com)

В данном исследовании предложена и исследована модель подготовки квалифицированных менеджеров в области физической культуры и спорта с использованием современных информационных технологий. Экспериментально проверена программа использования современных информационных технологий для повышения эффективности подготовки будущих спортивных менеджеров.

Ключевые слова: спортивные менеджеры, физическая культура и спорт, информационные технологии

Y. A. Orlova

PREPARATION OF MANAGERS IN UNIVERSITIES OF PHYSICAL EDUCATION WITH USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

In the given research the model of preparation of the qualified managers is offered and investigated in the field of physical culture and sports with use of modern information technologies. The program of use of modern information technologies for increase of efficiency of preparation of the future sports managers is checked experimentally up.

Sports managers, physical culture and sports, information technologies

Одна из тенденций развития современного общества – его информатизация. В настоящее время мы являемся свидетелями бурного вторжения информационных технологий во все сферы жизни и деятельности человека. Трудовая деятельность подавляющего большинства трудоспособного населения так или иначе связана с информационными технологиями (ИТ) и процессами по обработке информации. Несомненно, резко возрастает спрос на специалистов, владеющих методологией и инструментарием информатики.

Информатизация общества тесно связана с информатизацией образования; информатизация общего и профессионального образования является обязательным условием подготовки конкурентоспособных специалистов различного профиля. Только обладая достаточным уровнем технологической подготовленности и "информационной культуры", молодой специалист способен адекватно действовать в окружающем мире, ориентироваться в проблемных ситуациях, находить рациональные способы решения различных проблем.

Установлено, что использование информационных технологий в образовании способствует: 1) совершенствованию стратегии отбора содержания образовательных программ, методов и организационных форм обучения в соответствии с задачами развития личности в условиях информационного общества; 2) расширению видов учебной деятельности при условии реализации современных технологий (компьютеризированные курсы обучения, информационно-справочные и экспертные системы, мультимедиа-технологии, "виртуальная реальность"); 3) переходу от авторитарного, иллюстративно-объяснительного обучения к проблемному, творческому, что предусматривает овладение учащимися умениями самостоятельно приобретать новые знания, используя технологии информационного взаимодействия с имитационными моделями объектов, процессов и явлений.

Спортсмены, обучающиеся в физкультурном вузе, испытывают дефицит времени из-за частых отъездов на соревнования и тренировки, переходят на индивидуальную форму обучения. При этом неизбежно возникает вопрос о качестве получаемого ими образования: приходится меньше уделять внимания учебе при отъезде в другой город, пропускать лекции и семинарские занятия, восполнять пропущенный между соревнованиями материал, не говоря уже о том, что преподаватель не может уделять много времени отставшим студентам. Все это приводит к тому, что большинство спортсме-

нов не могут эффективно сочетать спорт и обучение.

Таким образом, в настоящее время перед физкультурными вузами встает острый вопрос обеспечения эффективного обучения. Данная проблема все больше и больше решается с использованием современных информационных технологий. Изучение и внедрение интернет-технологий в учебный процесс физкультурных вузов рассматривалось рядом специалистов (М. Г. Бодров, А. П. Ткачук, А. С. Кахидзе, 1999; В. Д. Сячин, М. А. Новоселов, 2000; Ю. Войнар, 2000; Г. И. Мызан, 2000; В. И. Богданов, В. Н. Пономарев, А. С. Соловов, 2001, В. А. Чистяков, 2002).

Развитие физкультуры и спорта в России является одним из важнейших аспектов социальной политики государства и особо актуальной становится проблема подготовки спортсменов, менеджеров для спортивных организаций.

На современном этапе развития всей системы управления физкультурным движением решающим элементом системы являются руководящие кадры, то есть спортивные менеджеры, потенциал которых может способствовать развитию и совершенствованию системы, либо привести ее к регрессу и развалу. Компетентность спортивных менеджеров напрямую зависит от качества полученного им образования.

В последнее время появилась тенденция нацеливания курсов, относимых к информатике, на подготовку специалистов, способных использовать информационные технологии в своей профессиональной деятельности. В связи с этим появляются дисциплины, направленные на изучение информационных технологий, применяемых в различных областях науки и человеческой деятельности.

Особое значение изучение информационных технологий приобретает при подготовке будущих менеджеров. От масштабов и качества использования информационных технологий в профессиональной деятельности специалистов в области менеджмента зависят уровень экономического и социального развития любой организации и общества в целом. Широкое применение персональных компьютеров, средств коммуникаций, облегченный доступ к базам данных и базам знаний, использование интеллектуальных технологий и систем обеспечивают специалистам-менеджерам реальные возможности для выполнения аналитических и прогнозных функций, подготовки управленческих решений.

Область профессиональной деятельности менеджера – обеспечение эффективного управ-

ления организацией, организация систем управления, совершенствование управления в соответствии с тенденциями социально-экономического развития.

Деятельность менеджера связана с реализацией различного рода проектов, таких как производство товаров, предоставление услуг, развитие предприятия и других. В связи с этим особое место при подготовке специалистов в области менеджмента занимают информационные технологии, связанные с планированием проектов, выделением работ проекта, определением связей между работами, определением длительности выполнения отдельных операций или всего проекта, составлением расписания работ, определением потребности проекта в ресурсах и их оптимальном распределении.

Однако, несмотря на высокий потенциал современных информационных технологий, они не нашли еще широкого применения в системе высшего физкультурного образования. Таким образом, проблема исследования состоит в необходимости разрешения выраженного противоречия между степенью разработанности теоретических и методических основ профессионального образования и уровнем программно-методического обеспечения системы подготовки квалифицированных специалистов в области физической культуры и спорта.

Актуальность использования информационных компьютерных технологий в образовательном процессе студентов факультетов физической культуры обусловлена социальной потребностью в повышении качества образования, практической потребностью в использовании в высших образовательных учреждениях современных компьютерных программ.

Модернизация учебного процесса требует перехода от пассивных, главным образом лекционных, способов освоения учебного материала к активным групповым и индивидуальным формам работы, организации самостоятельной поисковой деятельности студентов; это позволяет готовить специалистов с выраженной индивидуальностью и организовывать деятельность занимающихся в различных условиях. Этому, на наш взгляд, может способствовать внедрение в учебный процесс информационных компьютерных технологий.

Будущие специалисты по физической культуре и спорту должны овладеть основами необходимых знаний и накопить личный опыт практического использования компьютерных

технологий, иметь соответствующую подготовку по их применению в будущей профессиональной деятельности.

Таким образом, специальность "менеджмент организации" требует обоснования и разработки наиболее оптимальных механизмов организации учебного процесса в формировании знаний по информационным технологиям управления с использованием современных средств обучения. Потребность в фундаментальных теоретических и методических разработках в области дистанционного образования и формирования знаний в сфере информационных технологий в новых информационных условиях определила *актуальность* исследования.

Объектом исследования является подготовка будущих спортивных менеджеров, занимающихся по индивидуальному графику, в сфере информационных технологий управления.

Предмет исследования: условия, средства, методы и формы физкультурного обучения студентов физкультурных вузов, обучающихся по специальности "менеджмент организации".

Цель исследования: разработка и научное обоснование методики подготовки студентов физкультурного вуза, обучающихся на индивидуальной основе по специальности "менеджмент организации", в сфере информационных технологий.

Методика подготовки студентов физкультурного вуза в сфере информационных технологий позволит повысить результативность самостоятельной работы студентов индивидуального графика обучения в физкультурных вузах. Она будет эффективной и педагогически целесообразной, если:

при ее проектировании использовать практические методы работы в программных системах, таких как Microsoft Office Visio Professional, Microsoft Office Project Standart, Microsoft Office Publisher, Deductor Professional и т. д.;

спроектировать процесс обучения таким образом, чтобы унифицировать работу над проектом, таким как дипломное проектирование с момента составления плана предпроектного исследования, аналитической обработки собранной информации и до оформления проектной документации.

На основе проведенного анализа были поставлены задачи:

1) рассмотреть особенности обучения информационным технологиям в вузах физической культуры;

2) разработать методы обучения, основанные на унифицированном подходе к изучению программного обеспечения;

3) разработать учебное программное средство, позволяющее дистанционно обучать спортивных менеджеров;

4) провести экспериментальное обучение студентов специальности "Менеджмент организации" с целью обоснования эффективности обучения информационным технологиям управления.

Исследование проводится в Волгоградской государственной академии физической культуры.

Первым этапом исследования является определение базового уровня подготовленности профессорско-преподавательского состава и студентов вуза к внедрению дистанционных технологий и рассмотрение особенности обучения информационным технологиям управления. Данное исследование проводилось путем анкетирования преподавателей и помогло определить степень готовности академии к дистанционному обучению. Также был проведен детальный анализ информационных источников обучения информационным технологиям менеджеров.

Было проведено исследование на предмет готовности профессорско-преподавательского состава и студентов кафедры менеджмента ВГАФК к внедрению дистанционного обучения. Оказалось, что преподаватели не только знают о дистанционном обучении и сами обучались на этой основе, но и являлись тьюторами в других учебных заведениях. Преподавате-

ли согласились, что внедрение дистанционного обучения поможет им увеличить качество обучения.

Анализ анкет студентов показал, что большая их часть работает на компьютере не менее трех раз в неделю, многие знают, что такое ДО и готовы принять участие в таком эксперименте.

На *втором этапе* были разработаны методы обучения будущих менеджеров, занимающихся на индивидуальной основе, подготовлены методические материалы, структурирован учебный материал, разработана авторская программа обучения информационным технологиям управления.

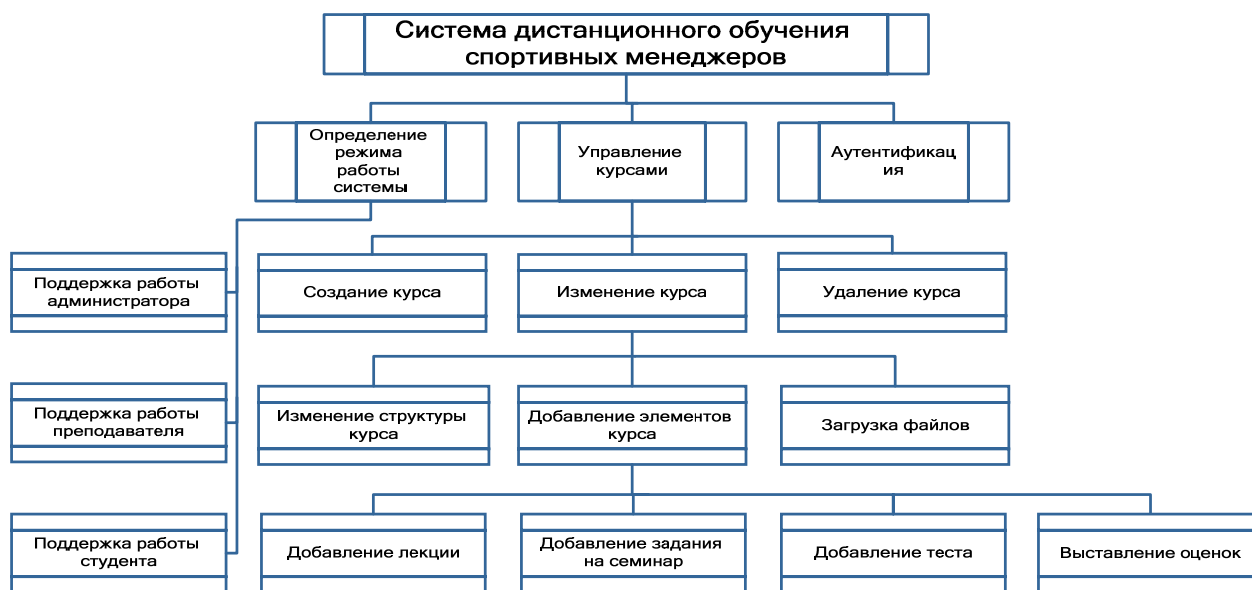
Третий этап заключался в разработке программно-методического обеспечения, под которым понимается совокупность программных средств учебного назначения (электронные учебные пособия, компьютерные обучающие программы, тестирующие программы и т. п.).

Программное средство, позволяющее дистанционно обучать спортивных менеджеров, предназначено для выполнения функций, представленных на рисунке.

Четвертый этап – проведение опытно-экспериментальных работ с предварительным анализом полученных результатов.

Заключительным этапом является анализ, обработка, обобщение и систематизация результатов эксперимента.

Практическая значимость заключается в разработке программы электронного курса "Исследование систем управления" и "Информационные технологии управления", в созда-



нии сети программного комплекса дистанционного образования, ресурсы которого используются в учебном процессе студентами, аспирантами, преподавателями физкультурных вузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интернет-обучение: технологии педагогического дизайна: Учебное пособие / М. В. Моисеева, Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. И. Нежурина / Под ред. М. В. Моисеевой. – М.: Издательский дом "Камерон", 2004. – 216 с.
2. Казанская, О. В. Проблемы создания программно-методического обеспечения дистанционного образования / О. В. Казанская // Проблемы высшего технического образования: Межвуз. сб. науч. тр. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – Вып. 15. – С. 4–6.
3. Кузин, В. В. Оптимизация системы управления отраслью физической культуры и спорта в России в рыноч-

ных условиях / В. В. Кузин // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 6. – С. 56–58.

4. Сячин, В. Д. Проблема дистанционного образования в физкультурных вузах = Problem of Remote Education in Highest Sports Education / В. Д. Сячин, М. А. Новоселов // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 12. – С. 26, 39–41.

5. Теория и практика дистанционного обучения: Учебное пособие / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Моисеева / Под ред. Е. С. Полат. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 416 с.

6. Федоров, А. И. Дистанционные образовательные технологии в системе подготовки специалистов по физической культуре и спорту / А. И. Федоров // http://www.naukapro.ru/konf_doc/r_8/056.htm

7. Chelladurai, P. Sport Management: Defining the field // European Journal for Sport Management. – 1994. – V. 1. – P. 7–21.

УДК 332.812

В. Я. Свинцов, П. Н. Садчиков МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИЙ В ВОСПРОИЗВОДСТВО ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Астраханский инженерно-строительный институт (buildinst@mail.ru)

В данной работе предложены модели, отражающие мотивации и экономические механизмы привлечения капитала в сферу воспроизводства жилищного фонда, накопление и объединение средств из бюджетных и внебюджетных источников

Ключевые слова: математическое программирование, задачи прогнозирования

V. J. Svincov, P. N. Sadchikov MODELLING OF STRUCTURE OF INVESTMENTS INTO HOUSING REPRODUCTION

In the given work the models of motivations and economic mechanisms of attraction of the capital in sphere of housing reproduction, accumulation and association of means from budgetary and off-budget sources are offered.

Mathematical programming, forecasting problems.

В результате накопления значительного "недоремонта" жилищного фонда его моральный и физический износ в отдельных субъектах Российской Федерации достиг критических размеров. Разработка моделей, отражающих мотивации и экономические механизмы привлечения капитала в сферу воспроизводства жилищного фонда, накопление и объединение средств из бюджетных и внебюджетных источников, на наш взгляд, это одни из радикальных методов в решении финансовых проблем по ликвидации ветхого и аварийного жилья и переселения граждан в новые квартиры.

В сложившейся ситуации воспроизводство жилищного фонда независимо от форм собственности должно находиться под постоянным контролем муниципальных органов. Инструментом для разработки финансового обоснования муниципальных и региональных программ по переселению граждан из ветхого и аварийного жилищного фонда (ВАЖФ) может послужить предлагаемая экономико-математическая модель оптимизации структуры инвестиций.

В качестве глобального критерия оптимальности рассматривается максимум числа семей, переселенных из ветхого и аварийного жилищного фонда в новые квартиры, определяемый как:

$$Y = F(X) / \mu P \rightarrow \max,$$

где P – социальная норма общей жилой площади на 1 человека ($\text{м}^2/\text{чел.}$); μ – региональный среднестатистический показатель численности семьи (чел./сем.); $F(X)$ – общая площадь нового строительства, идущая на погашение сноса объектов ветхого и аварийного жилищного фонда (м^2).

Локальной задачей формирования опорного плана решения задачи является нахождение такого варианта плана, когда при фиксированных объемах инвестиций будет достигнут максимум объема жилых площадей, воспроизводящих сносимые объекты ВАЖФ. Таким образом, целевую функцию выстраиваемой математической модели, позволяющей оптимизировать структуру инвестиций в воспроизводство ветхого и аварийного жилищного фонда, представим в виде:

$$F(X) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n x_{it} \rightarrow \max.$$

Опорный план решения данной задачи математического программирования представляется в виде матрицы

$$X = \left(\begin{array}{ccc|c} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{1T} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{2T} \\ \hline x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & x_{nT} \end{array} \right) = (x_{it}),$$

где x_{it} – объем жилой площади, введенной в эксплуатацию по i -му механизму в t -ом году планового периода (m^2).

Анализ различных схем финансирования жилищного строительства [2] показал: наиболее приемлемыми из них являются те, что предполагают долевое участие отдельных субъектов инвестиционной деятельности в реализации программных мероприятий. Механизмы привлечения внебюджетных средств в решение проблемы ветхого и аварийного жилья также предполагают финансирование проектов инвесторами в разных пропорциях.

Исходя из вышеизложенного, примем за $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ вектор долевого участия m инвесторов в финансировании мероприятий по i -му механизму, причем $\sum_{j=1}^m a_{ij} = 1$. Следова-

тельно, $A = \left(\begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{2m} \\ \hline a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & a_{nm} \end{array} \right) = (a_{ij})$ – мат-

рица распределения долей финансирования m инвесторов по n механизмам.

Транспонируя матрицу A и умножая полученный результат на матрицу X , определяем матрицу B – матрицу распределения объемов ввода нового жилья за счет средств отдельных инвесторов по годам горизонта планирования, то есть

$$B = A^T X = (b_{jt}).$$

Элемент b_{jt} определяет объем новой жилой площади, возведенной на средства j -го инвестора в году t (m^2).

Результатом произведения матрицы B на вектор удельной стоимости нового строительства по годам планового периода $K_{\text{жил}}$ (руб./ m^2) является вектор-столбец C объемов привлеченных финансовых средств по отдельным субъектам инвестиционной деятельности за весь период горизонта планирования (руб.):

$$C = B \cdot K_{\text{жил}},$$

$$\text{где } B = \left(\begin{array}{ccc|c} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{1T} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{2T} \\ \hline b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & b_{mT} \end{array} \right),$$

$$K_{\text{жил}} = (k_t) = \begin{pmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_T \end{pmatrix}, \quad C = (c_j) = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_m \end{pmatrix}.$$

Учитывая все предшествующие преобразования, получаем в итоге матричное уравнение:

$$C = (A^T \cdot X) \cdot K_{\text{жил}}.$$

Следовательно, оптимизируя целевую функцию $F(X)$ представленной задачи математического программирования, получим оптимальный объем финансовых вложений каждого отдельного участника инвестиционного проекта за весь период горизонта планирования.

Для определения оптимальной структуры привлекаемых средств отдельных субъектов инвестиций по годам планового периода достаточно найти произведения соответствующих элементов матрицы B и вектора $K_{\text{жил}}$:

$$c_j^t = b_{jt} \cdot k_t,$$

где $j=1..m, t=1..T$.

Тогда элементы вектора-столбца C представляются в виде суммы: $c_j = \sum_{t=1}^T c_j^t$.

Ограниченность инвестиционных и производственных ресурсов, учет потребностей населения и приоритетности зон сноса конкретного города приводит к необходимости внесения дополнительных граничных условий, накладываемых как на целевую функцию, так и на отдельные ее параметры. Они обусловлены реальным потенциалом отдельных субъектов инвестиционной деятельности, и, как следствие, выбором наиболее приемлемой совокупности механизмов привлечения финансовых ресурсов.

Согласно федеральной программе "Жилище", региональные и муниципальные целевые жилищные программы рассчитаны на условие софинансирования из бюджетов всех уровней. На данный момент эти пропорции устанавливаются из соотношения 30 процентов из федерального и 70 – из местных бюджетов. Следовательно, на целевую функцию модели накладывается дополнительное условие, связанное с ограниченностью средств, поступающих из федерального бюджета ($j=1$):

$$0,3 \cdot \sum_{j=1}^m c_j \geq c_1.$$

Средства местных бюджетов ($j=2..m_1$) также ограничены. В качестве исходного их значения следует принять величину заложенных средств на начало реализации целевой муниципальной программы из соответствующих

источников c_j^1 . Тогда второе дополнительное граничное условие примет вид:

$$k_t \cdot \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{it} \leq c_j^1 \frac{D_j^t}{D_j^1} + \sum_{\tau=\tau_0}^t E_j^\tau c_j^\tau,$$

где $t = 1 \dots T$.

В данном неравенстве введены следующие обозначения: D_j^t – доходная часть бюджета j в году t горизонта планирования (руб.); τ_0 – год начала отдачи капиталовложений; E_j^t – эффективность единицы капиталовложений в году t , направляемых на прирост объема инвестиций будущих периодов.

Для формирования граничных условий по возможным объемам привлечения финансовых средств из внебюджетных источников ($j = (m_1 + 1) \dots m$) обратимся к методике расчета величины экономического эффекта частного инвестора. Данный показатель определяется как разность между выручкой от реализации коммерческого жилья или других помещений, получаемых в результате воспроизводства, и затратами на комплексную реконструкцию:

$$\mathcal{E}_{\text{инв}} = D_{\text{инв}} - \mathcal{Z}_{\text{инв}},$$

где $D_{\text{инв}}$ – выручка от реализации дополнительной площади (руб.); $\mathcal{Z}_{\text{инв}}$ – затраты инвестора на комплексную реконструкцию (руб.).

В нашем случае объем выручки от реализации дополнительных площадей, получаемых в результате нового строительства, определяется по формуле

$$D_{\text{инв}} = \frac{1}{(1+q)^t} \left(\sum_{i=1}^n x_{it} (K_{\text{жип}}^{\text{рын}}(t) - k_t) + K_{\text{неж}}^{\text{рын}}(t) \cdot S_{\text{неж}}(t) \right),$$

где q – процентная или банковская учетная ставка (доли); $K_{\text{жип}}^{\text{рын}}(t)$ – удельная рыночная стоимость жилой площади в году t (руб./м²); $S_{\text{неж}}(t)$ – общая площадь помещений нежилого фонда в новом строительстве, реализованных в году t (м²); $K_{\text{неж}}^{\text{рын}}(t)$ – удельная рыночная стоимость нежилой площади в году t (руб./м²).

Затраты частного инвестора на комплексную реконструкцию зданий и территорий определяются по формуле

$$\mathcal{Z}_{\text{инв}} = \frac{1}{(1+q)^t} \sum_{i=1}^n (C_{\text{жил}} + C_{\text{сн}} + C_3)_{it},$$

где $C_{\text{жил}}$ – восстановительная стоимость жилищного строительства (руб.); $C_{\text{сн}}$ – затраты на проведение сноса (руб.); C_3 – стоимость земельного участка на территориях новых застроек (руб.).

Все участвующие в данной формуле параметры определяются согласно методике расчета потребного инвестиционного фонда.

При $\mathcal{E}_{\text{инв}} < 0$, то есть в случае превышения затрат инвестора над результатами, необходима разработка некоторого экономического механизма покрытия этого превышения за счет городского бюджета, средств владельцев квартир и других источников. Если $\mathcal{E}_{\text{инв}} > 0$, то с позиции инвестора участие в целевой жилищной программе является эффективным. Исходя из этого предположения, формулируем искомое ограничение на целевую функцию модели:

$$\sum_{i=1}^n x_{it} (K_{\text{жип}}^{\text{рын}}(t) - k_t) + K_{\text{неж}}^{\text{рын}}(t) \cdot S_{\text{неж}}(t) \geq \sum_{i=1}^n (C_{\text{жил}} + C_{\text{сн}} + C_3)_{it}$$

Исходя из вышеизложенного, модель оптимизации структуры инвестиций в воспроизводство ветхого и аварийного жилищного фонда принимает вид:

$$Y(X) = \frac{1}{\mu P} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n x_{it} \rightarrow \max,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq a_{ij} \leq 1; \quad i=1..n, \quad j=1..m \\ \sum_{j=1}^m a_{ij} = 1; \quad i=1..n \\ C = (A^T \cdot X) \cdot K_{\text{жил}}; \quad c_j = \sum_{t=1}^T c_j^t \\ 0,3 \cdot \sum_{j=1}^m c_j \geq c_1 \\ k_t \cdot \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{it} \leq c_j^1 \frac{D_j^t}{D_j^1} + \sum_{\tau=\tau_0}^t E_j^\tau c_j^\tau; \\ t=1..T, \quad j=2..m_1 \\ \sum_{i=1}^n x_{it} (K_{\text{жип}}^{\text{рын}}(t) - k_t) + K_{\text{неж}}^{\text{рын}}(t) \cdot S_{\text{неж}}(t) \geq \sum_{i=1}^n (C_{\text{жил}} + C_{\text{сн}} + C_3)_{it}; \\ t=1..T, \quad j=(m_1+1)..m \\ x_{it} \geq 0; \quad i=1..n, \quad t=1..T \end{array} \right.$$

При проведении численного эксперимента вводятся прогнозные значения некоторых переменных, описывающих как сам проект, так и результаты его появления на рынке жилья. Задача оптимального распределения инвестиционных потоков по годам реализации целевой программы переселения граждан из ветхого и аварийного жилья, соответствующая модели, представляет общую задачу линейного программирования. В результате ее решения согласно одному из алгоритмов симплекс-метода [1] получаем переменные x_{it} . Подставляя эти значения в ограничения модели, определяем

оптимальный объем финансовых вложений каждого отдельного участника инвестиционного проекта по периодам горизонта планирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Садчиков, П. Н. Оптимизация структуры инвестиций в ликвидацию ветхого и аварийного жилищного фонда / П. Н. Садчиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. № 9. – С. 21–23.
2. Садчиков, П. Н. Механизмы привлечения инвестиций в решение проблемы ветхого и аварийного жилищного фонда / П. Н. Садчиков // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2007. № 2. – С. 18–20.

УДК 371.6(063)

А. А. Халилова

СОВОКУПНАЯ СТОИМОСТЬ ВЛАДЕНИЯ В СВЕТЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Национальный банк Республики Дагестан Банка России, г. Махачкала (kh_mourad@rambler.ru)

Статья посвящена описанию методик оценки экономической эффективности работ в индустрии информационных технологий. Подробно рассмотрены методы использования концепции совокупной стоимости владения для решения поставленной задачи. Развитие этих методов позволит сформировать системный подход к управлению и развитию работ в области информационных технологий.

Ключевые слова: бюджетирование, информационные технологии, разработка информационных систем, расходы, методы оценки развития отрасли, риски

А. А. Khalilova

JOINT POSSESSION VALUE IN THE LIGHT OF TENDENCIES OF THE INFORMATION TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

The article is devoted to describing methods of the economic effectiveness evaluation of works in information technologies industry. The methods of use of the joint possession value conception for decision of given problem are considered in detail. The development of these methods will allow to form a system approach to control and development of works at the area of information technologies.

Budgeting, information technologies, developing of information systems, expenses, methods of the field development evaluation, risks

Концепция совокупной стоимости владения (ССВ) ИТ, выдвинутая Гартнер Групп в конце 80-х годов прошлого столетия, в настоящее время разработана для большинства информационных технологий, систем и платформ. ССВ, как инструмент бюджетирования, является ключевым количественным показателем информационных технологий и информационных систем (ИС) в компании, так как позволяет оценивать совокупные затраты на ИТ, анализировать их и соответственно управлять ими для достижения наилучшей отдачи от ИТ.

В основу модели ССВ положены две категории расходов (затрат): прямые (бюджетные) и косвенные.

Прямые расходы включают в себя следующие группы затрат:

- капитальные затраты (оборудование и программное обеспечение (ПО));
- расходы на управление ИТ;
- расходы на техническую поддержку ПС и ТС;
- расходы на разработку прикладного ПО внутренними силами;
- расходы на аутсорсинг;
- командировочные расходы;

- расходы на услуги связи;
- расходы на замену оборудования (при этом следует учитывать амортизацию оборудования);
- некоторые другие группы расходов.

Существуют отдельные методологии определения составляющих ССВ по некоторым выше указанным группам прямых расходов [1].

Наиболее трудоемкую для расчетов группу расходов составляют расходы на управление. Сюда входят, в том числе, и расходы на проектирование, управление проектами, администрирование сетей, преодоление чрезвычайных ситуаций, настройку систем и подсистем, управление контрактами на закупку и управление поставками. Расчеты на поддержку и разработку прикладного ПО тоже довольно трудоемки.

Косвенные расходы можно разделить на две группы источников возникновения.

Косвенные расходы первой группы связаны с непроизводительными затратами времени у пользователей (перерывы в работе) или даже потери в бизнесе компании в силу некачественного проектирования ИС. Как правило, косвенные расходы трудно определить напрямую.

Однако их следует учитывать при проектировании информационных систем и организации технической поддержки. Следует различать плановое время неработоспособности и сверхнормативное.

Природа второй группы косвенных расходов кроется в организационной стороне информационных технологий и состоит в том, что вследствие ненадлежащей поддержки со стороны штатных сотрудников информационных технологий их конечные пользователи внутри компании сами вынуждены заниматься вопросами восстановления работоспособности, самообучения и т. д., что также уменьшает производительное время их работы. Косвенные расходы находятся за рамками бюджетов на информационные технологии, однако они могут играть существенную роль в оценке решений по проектам. Косвенные расходы по первой группе "Неработоспособность системы" могут быть рассчитаны по методу определения производственных потерь. Косвенные расходы по второй группе "Непроизводительные усилия конечного пользователя, связанные с информационными технологиями" определяются с помощью экспериментальных и статистических исследований, включающих интервьюирование пользователей системы.

Взгляд на ССВ как лишь на инструмент бюджетирования приводит к предпочтению малозатратных решений, которые часто малополезны, исключают из рассмотрения возможные проектные риски, не позволяют провести полный учет внутренних затрат, что дает преимущество решениям с низкой начальной стоимостью и ограниченной пригодностью.

Поскольку существенная доля затрат приходится на управление, расчет действительно совокупной стоимости владения следует выполнять для комплекса "Объект – система управления" [2].

Создание информационной системы (ИС), как сложной системы, предполагает создание, в первую очередь, ее модели (архитектуры). Модель ИС влияет на ССВ через инфраструктуру, то есть решения по программному, техническому и организационному обеспечению. Обеспечению адекватности этих решений цели информатизации способствуют современные подходы и методы как, например, представление ИС как бизнес-системы, то есть процессный подход, и сервисная организация функционирования ИС [3].

Современные подходы к расчету ССВ предполагают понимание бизнес-процессов, бизнес-проблематики, оценивать ее в соответствии с

принципом "что ... если", с учетом уникальности технологического развития и традиций ведения бизнеса объекта информатизации. С этой точки зрения ССВ можно рассматривать как качество совместной работы бизнес-подразделений и ИТ-подразделения.

Вместе с тем в последние годы наблюдается [4]:

- повышение рейтинга и востребованности личностных качеств ИТ-специалистов, как основного ресурса развития ИТ;
- массовое использование лучших мировых практик в области ИТ-обслуживания (ITIL, ISO 20000, COBIT, методология ITSM и др.);
- трансформация ИТ-организаций из поставщиков ИТ-инфраструктуры в поставщиков ИТ-услуг, в равноправных партнеров по бизнесу предприятия.

Концепция IBM "Разработка по требованию бизнеса" обуславливает интеграцию ИТ и производства на уровень бизнес-процессов организации.

Другими словами, ИТ-индустрия приобретает черты самостоятельной отрасли. Такой статус ИТ требует сбалансированной программы ее развития [5]. При этом используются многомерные подходы к управлению оценкой и развитием ИТ, конечным результатом которых обычно является некоторый нормализованный показатель или скорректированный коэффициент ROI (Return on Investment – возврат инвестиций). Их можно разделить на три группы.

1. Многокритериальные методы:

Информационная экономика (Information Economics, IE) оценивает отдачу от инвестиций в ИТ на основании "взвешиваний" и "рейтингов"; прикладная информационная экономика (Applied Information Economics, AIE) вычисляет распределение вероятностей для ROI; совокупный экономический эффект (Total Economic Impact, TEI), рассчитывает диапазон с учетом реальных вариантов и рисков; совокупная оценка возможностей (Total Value of Opportunity, TVO), преобразует выгоды ИТ в итоговые бизнес-результаты по трем главным категориям: управление поставками, услуги, поддержки.

2. Стратегические структуры:

система сбалансированных показателей (Balanced Scorecard, BSC), имеет четыре уровня: финансовый, клиентский, бизнес-процессов, кадровый (повышение квалификации);

система показателей ИТ (IT Scorecard) выделяет четыре категории: степень удовлетворенности пользователей, эффективность и качество работы, финансовый вклад в бизнес, ориентация на перспективу.

3. Метод портфельного управления:

структура портфельного управления (проекты классифицируются по двум признакам влияния ИТ: на бизнес-процессы и на стратегию бизнеса);

инвестиционные секторы Росса и Бита (проекты классифицируются по технологической сфере и стратегической ориентации);

пирамидальная структура портфеля инвестиций: основание – инвестиции в инфраструктуру, тело – деловые проекты, вершина – информационные (поддержка принятия информационных решений) и стратегические (ориентированные на требования рынка) проекты.

Управление портфелем (ИТ-активами) – это суть программы развития ИТ. Портфельный подход обеспечивает гибкость финансовых методов оценки ИТ-инвестиций в увязке с общей бизнес-стратегией. Очень важно, что при этом создается возможность включить в этот процесс руководителей бизнес-подразделений, финансового подразделения и высшего ранга.

Оценка отдачи ИТ предполагает наличие в программе развития трех основных наборов инструментов:

- модели затрат и выгод;
- инструменты финансового анализа, такие как внутренняя норма прибыли (Internal Rate of Return, IRR), чистая приведенная стоимость (Net Present Value, NPV), справедливая цена опционов (Real Options Valuation, ROV);
- инструменты управления портфелем и проектом.

Модель развития ИТ должна систематически совершенствоваться, в том числе через самооценку, анализ динамики изменений, ограничений и т. д. Это предполагает также использование различных методов, средств, приемов оптимизации. Среди них представляется уместным упомянуть такие, которые способствуют реализации основного критерия выбора модели ИТ-минимизации ССВ системой.

1. Централизация производства массовых вычислений (коллективная обработка), предполагающая:

- стандартизацию и унификацию программно-технических комплексов (ПТК);
- снижение затрат на приобретение и ввод в действие ПТК;
- централизацию управления ресурсами;
- упрощение процесса поддержки и уменьшение стоимости затрат на сопровождение ПТК и их эксплуатацию;

- повышение надежности и устойчивости функционирования ПТК;

- снижение системно-технических рисков;
- снижение стоимости обработки одного документа;

- снижение потребности в квалифицированных кадрах (количественно);

- сокращение численности персонала, в том числе ИТ-подразделений.

Этот метод позволяет повысить коэффициент полезного действия ПТК (для децентрализованной обработки информации он, как правило, не превышает 15 %) за счет:

перехода от статического распределения ресурсов к динамическому;

виртуализации серверов и использования систем терминальной обработки (эффективность традиционного использования серверов составляет 5–15 %. Виртуализация позволяет поднять ее до 85 % и выше) и др.

Архитектурные преобразования ИС при переходе на коллективную обработку позволяют уменьшить ССВ не менее чем в 2 раза.

2. Минимальная (разумная) достаточность ресурсов. Этот принцип может иметь место как в сочетании с другими методами, так и отдельно. Он предполагает:

- систематический мониторинг состояния программно-технических средств и приведение их характеристик в максимальное соответствие выполняемым функциям (требованиям решаемых задач). Это достигается, в частности, перераспределением технических средств по АРМам (при вводе в эксплуатацию новых задач, модернизации задач, изменении технологии), модернизацией технических средств (вместо установки новых), расширением информационного пространства (свободной памяти) путем удаления лишних (для данного АРМа) инструментальных программных средств из стандартной конфигурации операционной системы, систематической чисткой баз данных и т. д.;

- повышение производительности труда ИТ-персонала за счет повышения квалификации и интенсификации (функций) и, как следствие, более эффективное определение соотношения "своими силами или аутсорсинг";

- внедрение новых, более прогрессивных технологий обработки информации, в том числе электронного документооборота;

- организацию ведомственной связи;

- использование энергосберегающих технологий;

- усиление режима экономии за счет нормирования и контроля расходования комплекующих и расходных материалов, интенсификации командировочных заданий, использования методов дистанционного обучения и др.;

- оптимизацию транспортного обслуживания (минимизация затрат на перевозки, непроизводственные и непроизводительные поездки, простой водительского состава);

- решение социальных вопросов персонала, минимизация непроизводительных потерь рабочего времени для урегулирования личных проблем и др.

Известно, что ССВ ИТ состоит из плановых затрат и стоимости рисков (бизнес-рисков, проектных и технических рисков). Естественно, риски могут появиться в процессе жизненного цикла ИТ, то есть носят динамический характер.

Из изложенного следует вывод, что, несмотря на наличие различных методик оценки экономических показателей ИТ, роль ССВ остается значительной. Более того, она возрастает вместе с ролью ИТ в целом. ССВ из категории

статической превращается в динамическую, имеющую значимость на всем жизненном цикле ИТ.

Это обуславливает необходимость систематизации имеющихся разработок по ССВ, их развития в свете изложенного выше нового взгляда на ССВ и представления цельного системного метода ее расчета, что представляет самостоятельный научный и практический интерес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Intelligent Enterprise / №2, 2006.
2. Щетинин, И. Стоимость владения и системы управления / И. Щетинин // Intelligent Enterprise / № 9, 2005.
3. Халилов, А. И. Методы моделирования и оптимизации корпоративных информационных систем / А. И. Халилов, А. А. Халилова // Материалы IV республиканской НПК "Дагинформ-2005" / ДНЦ РАН, Махачкала, 2006.
4. Колесов, А. Формирование российского ИТ-сообщества заказчиков / А. Колесов // PC Week / № 48, 2006.
5. Макишиа, М. Создание сбалансированной программы развития ИТ / М. Макишиа // Открытые системы / № 1, 2007.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 004.89

А. М. Дворянкин, Е. В. Сенин, И. Г. Жукова, М. Б. Сипливая

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАССУЖДЕНИЙ ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ И РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Волгоградский государственный технический университет (esenin@licard.ru)

В статье рассмотрена возможность интеграции технологий искусственного интеллекта для интеллектуальной поддержки процесса инженерного анализа. В качестве общей модели знаний для данной предметной области предложено использование онтологий.

Ключевые слова: рассуждения на основе прецедентов, рассуждения на основе правил онтологии

A. M. Dvoryankin, E. V. Senin, I. G. Joukova, M. B. Siplivaya

INTEGRATION CASE-BASED AND RULE-BASED REASONING TECHNIQUES FOR INTELLIGENT SUPPORT OF ENGINEERING ANALYSIS

In this paper, the opportunity of artificial intelligence technologies integration for engineering analysis are considered. As the general model of knowledge for the engineering analysis domain, ontologies are offered.

Case-based reasoning, rules-based reasoning, ontologies

Эффективность инженерного анализа в значительной степени зависит от качества и вида информации, которая используется для принятия соответствующих решений на всех его этапах (препроцессинг, процессинг и постпроцессинг) [1]. Для решения задач инженерного анализа, как правило, используются как алгоритмические (численные), так и эвристические знания, основанные на опыте и интуиции инженера-расчетчика. Для получения эффективного решения необходимо исследовать решаемую задачу с различных аспектов – структурного, физического, функционального, поведенческого и т. п. Такой подход позволяет получать адекватные решения в процессе проведения инженерного анализа в соответствии с заданными целями, а также оценивать результаты решения задачи.

Особенно важно учитывать эти аспекты на начальном этапе инженерного анализа (препроцессинге) при выполнении формализации инженерной задачи и построении расчетной модели исследуемого объекта, которая в дальнейшем будет использоваться на последующих стадиях инженерного анализа. Ошибки на этом этапе наиболее значимы и могут привести в принципе к принятию неверного решения. Поэтому для эффективности всего процесса инженерного анализа наиболее важен этап построения модели исследуемого объекта. Однако информация, которая используется для поддержки начальных этапов инженерного анализа, и в частности, для этапа формализации инженерной задачи, как правило, носит непол-

ный, неточный и неоднородный характер, при этом она может быть как общей, так и специализированной, поэтому необходимо создание эффективных методов обработки и использования такой информации в инженерном анализе.

Инструментальные средства, направленные на интеллектуальную поддержку принятия решений на различных этапах инженерного анализа, должны включать в себя возможность проведения как стандартного количественного (численного), так и качественного анализа. Это позволит учесть различные аспекты анализа объектов, а в ряде случаев вообще отказаться от проведения численного инженерного анализа (например, в случае, когда состояние или поведение объекта проводимого инженерного анализа недостижимо при заданных начальных параметрах в принципе). В свою очередь, это может позволить переформулировать или определить решаемую задачу в терминах предметной области (например, задать другие входные данные или ввести соответствующие условия или ограничения), ввести необходимые изменения в модель анализа и получить необходимое решение.

Эффективными средствами поддержки принятия решений в инженерном анализе являются модели и методы искусственного интеллекта и разработка на их основе интеллектуальной системы поддержки инженерного анализа [2]. Такая система должна поддерживать наиболее эффективные на данный момент для решения рассматриваемой задачи технологии искусственного интеллекта – качественные

рассуждения, рассуждения по прецедентам и модель представления знаний в виде онтологии. Интеграция данных технологий может позволить получить новое качество получаемых решений, так как позволит, с одной стороны, учесть сильные стороны этих технологий, с другой – компенсировать имеющиеся в технологиях недостатки.

Основными моделями и методами искусственного интеллекта, которые используются при интеллектуальной поддержке инженерного анализа, и в частности, на этапе построения модели объекта инженерного анализа, являются рассуждения по прецедентам – CBR (case based reasoning) и рассуждения на основе правил – RBR (rule-based reasoning) [3, 4]. Причем необходимо отметить, что данные технологии являются альтернативными друг другу.

Технология RBR обладает набором определенных эвристик, которые используются для формирования статической базы знаний, в которой хранятся так называемые *общие* знания, в дальнейшем используемые для решения задач. При этом знания определены в виде правил или аксиом, которые позволяют выводить новые следствия из начального набора данных. Также имеется некоторый механизм логического вывода, реализующий процесс поиска оптимального решения. Механизм логического вывода может использовать вывод от фактов к цели (прямой вывод), вывод от цели к фактам (обратный вывод) или их комбинацию.

Основными проблемами технологии RBR является неспособность к обучению на основе существующего опыта, что могло бы быть ценным при решении задач инженерного анализа, так как позволило бы учесть предыдущий опыт в решении аналогичных инженерных задач, и трудности, имеющиеся в процессе извлечения и формализации как экспертных знаний, так и существующего опыта решения инженерных задач из различных источников.

Технология CBR направлена на формализацию и автоматизацию решения задач на основе аналогии с ранее успешно решенными задачами. Преимущество технологии CBR состоит в том, что она улучшает работу, делая ее более эффективной, за счет использования опыта прежних решений подобных ситуаций, и приспособлявая их соответствующим образом к новым проблемам. Таким образом, при использовании технологии CBR не решают новые проблемы с "чистого" листа, а используют накопленный опыт. Причем CBR становятся более компетентными при их функционировании

в течение продолжительного времени. В результате получаются лучшие решения, так как накапливается большое количество прецедентов – случаев, а вероятность появления ошибки уменьшается (процесс обучения).

CBR являются хорошим средством для управления практическими экспертными или так называемыми *специализированными* знаниями. Таким образом, можно сказать, что правила представляют собой общее знание о предметной области, тогда как прецеденты представляют собой специализированные знания.

Основная проблема CBR заключается в том, что технология не может быть применена, если нет доступного опыта – накопленных прецедентов. Также имеется проблема, связанная с поиском наиболее близких к заданному запросу прецедентов за счет крайней ограниченности доступных процедур логического вывода, что в свою очередь затрудняет реализацию процедур адаптации существующих в базе знаний прецедентов.

Решение этих проблем возможно за счет объединения и интеграции рассуждений по прецедентам с рассуждениями на основе правил, которые позволят извлечь первоначальные (общие) знания из предметной области и эффективно их представить, а использование модели представления знаний в виде онтологии позволит создать единое поле знаний в предметной области, и, в частности, в инженерном анализе.

Онтологии являются наиболее широко применяющимся в настоящее время формализмом для построения тезауруса и представления знаний о понятиях и отношениях в некоторой предметной области. Со структурной точки зрения, онтология представляет собой ориентированный маркированный граф общего вида. С точки зрения языкового моделирования, элементы онтологии фактически представляют собой ключевые слова в некоторой предметной области (концепты и экземпляры – общие и конкретные понятия, роли – отношения), при этом онтология обладает основными свойствами семантической сети (например, путь на графе онтологии может быть интерпретирован как фраза на естественном языке). Онтологии представляют собой средства для эффективного представления знаний о предметной области. Помимо этого они позволяют решать задачи структуризации и классификации знаний.

Таким образом, технологии CBR и RBR при интеграции взаимно дополняют друг друга, избавляясь от недостатков, присущих каждому из

методов по отдельности, а использование онтологии позволяет унифицировать и эффективно представить состав, структуру и отношения в исследуемой предметной области.

Можно выделить три основных способа технологии рассуждений на основе прецедентов и технологии рассуждений на основе правил [4].

Первый способ включает подходы, в которых компонент на основе правил преобладает в процессе вывода, тогда как компонент на основе прецедентов играет вспомогательную роль. Подходы, принадлежащие этой категории, обычно сосредотачиваются на компоненте на основе правил и вызывают компонент на основе прецедентов только тогда, когда правила не способны иметь дело со специализированными (или нетипичными) ситуациями. Такие подходы называют *подходами с доминирующими правилами (rule-dominant approaches)*.

Второй способ включает подходы, в которых сбалансирована роль интегрированных компонентов, что означает, что ни один из интегрированных компонентов не играет вспомогательную роль, оба подхода равны. Такие подходы называются *сбалансированными подходами (balanced approaches)*.

Третий способ включает подходы, в которых компонент на основе прецедентов играет более важную роль, а компонент на основе правил вспомогательный. В этой парадигме правила исполняют роль поддержки рассуждений на основе прецедентов, что представляется наиболее эффективным в случае, когда библиотека прецедентов содержит ограниченное число этих случаев. Такие подходы называют *подходами с доминирующими прецедентами (case-dominant approaches)*.

Необходимо отметить, что данная классификация носит достаточно условный характер, так как шаблон вывода на основе доминирующих правил или доминирующих прецедентов может быть как статическим и предопределенным, так и динамическим, создаваемым в процессе решения задачи, где порядок вызова компонентов относителен.

Подходы с доминирующими правилами обычно вызывают сначала компонент на основе правил и потом компонент на основе прецедентов, если возникают трудности в процессе получения вывода.

Подходы с доминирующими прецедентами, напротив, сосредотачиваются на прецедентном

компоненте и вызывают компонент на основе правил только тогда, когда необходима помощь, чтобы найти или улучшить решение, предложенное компонентом на основе прецедентов. Сбалансированные подходы, используют "смешанную" парадигму, где порядок вызова интегрированных компонентов предварительно не установлен, а обычно в течение вывода один компонент динамически дополняет другой и наоборот.

Цель интеграции методов заключается в том, чтобы получить гибридные модели представления знаний и логического вывода, которые увеличивают положительные аспекты интегрированного формализма и одновременно уменьшают отрицательные стороны подходов.

Также методы интеграции принято разделять на две основных подгруппы – методы, улучшающие эффективность, и методы, улучшающие точность [4].

Для первого типа методов интеграции характерна зависимость друг от друга прецедентов и правил – одна схема представления получается из другой (то есть, правила получают из прецедентов или наоборот), при этом эффективность интегрированной схемы превышает эффективность, которая была бы достигнута применением отдельно каждого из методов.

Второй тип использует подходы, в которых две схемы представления являются независимыми, и их интеграция приводит к улучшенной точности полученного решения по сравнению с каждой схемой представления, работающей индивидуально.

Увеличение точности также может быть достигнуто за счет применения онтологий на этапе извлечения правил из предметной области. В общем случае, БЗ прецедентов может не содержать все необходимые знания для корректного решения новой задачи. Реализация БЗ в виде онтологии позволяет формализовать общие знания предметной области для их использования при решении инженерных задач. А дополнение БЗ набором правил на соответствующем языке, например, OWL-DL, позволит учесть специализированные знания, существующие в предметной области. Благодаря интеграции общих и специализированных знаний можно исключить недопустимые сочетания параметров, учесть особенности предметной области и доопределить прецедент, что позволит получать более эффективные модели прецедентов для дальнейшего анализа, а в некоторых

случаях поможет ответить на вопрос о целесообразности дальнейшего проведения расчета уже на начальном этапе инженерного анализа.

Таким образом, интеграция современных моделей и методов искусственного интеллекта – CBR, RBR и онтологий позволит повысить эффективность процесса инженерного анализа за счет решения следующих задач:

- формализация предметной области инженерного анализа;
- формализация модели объекта инженерного анализа;
- определение параметров прецедента;
- определение параметров, используемых для правил адаптации;

УДК 681.3

А. М. Дворянкин, М. Б. Сипливая, И. Г. Жукова, А. С. Капыш, А. Е. Кульцов

ИНТЕГРАЦИЯ РАССУЖДЕНИЙ ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ И ОНТОЛОГИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В ОБЛАСТИ КОНТАКТНОЙ МЕХАНИКИ¹

Волгоградский государственный технический университет (dvam@vstu.ru, siplivaya@vstu.ru)

В статье представлена концепция интеграции рассуждений по прецедентам и онтологии в интеллектуальной системе поддержки инженерного анализа в области контактной механики. Разработанные алгоритмы поиска, адаптации и оценки прецедентов реализованы в прототипе автоматизированной системы интеллектуальной поддержки инженерного анализа на примере решения контактных задач по МКЭ (jISFEA).

Ключевые слова: интеллектуальная поддержка, конечно-элементный анализ, рассуждения по прецедентам, контактные задачи, онтология

A. M. Dvoriankin, M. B. Siplivaya, I. G. Zhukova, A. S. Kapysh, A. E. Kultsov

INTEGRATION OF CASE BASED REASONING AND ONTOLOGY IN INTELLIGENT SYSTEM FOR SUPPORT OF ENGINEERING ANALYSIS IN CONTACT MECHANICS

In this paper the concept of integration of CBR and ontology in the knowledge-based system for intelligent support of the preprocessing stage of engineering analysis in the contact mechanics domain is presented. CBR reasoning algorithms including case retrieval algorithms, case adaptation algorithms and case revising and retaining algorithms were constructed within the framework of the intelligent support of engineering analysis. The research prototype of the jISFEA automated knowledge-based system for intelligent support of engineering analysis was designed and developed using the proposed models and algorithms.

Intelligent support, contact mechanics, ontology

Введение. Современный инженерный анализ очень сложен и использует различные численные методы. Хотя эти методы и весьма эффективны для решения сложных инженерных задач, их применение инженерами затруднено, так как процесс инженерного анализа включает в себя ряд неалгоритмических задач, решение которых основано на знаниях и опыте инженера и значительно влияет на точность и адекватность результатов анализа. Современные средства автоматизации инженерного анализа эффективно реализуют вычислительные задачи, но фактически не обеспечивают поддержку при решении неалгоритмических задач, которые выполняются инженерами на основе его собственного опыта. Таким образом, время проведения и стоимость инженерного анализа возрастают, и требуются высококлассные специалисты для его проведения. Для решения задачи обеспечения поддержки инженера при решении неалгоритмических задач инженерно-

• определение поведения объекта в соответствии с целью анализа;

• определение параметров и/или ограничений для достижения тех или иных поведений объекта инженерного анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сипливая, М. Б. Организация интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе инженерного анализа / М. Б. Сипливая, И. Г. Жукова, Р. Ю. Сливин // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. № 2(17) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – С. 58–61 (Сер. Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии. Вып. 2).

2. Pisan, Y. Using qualitative representations in controlling engineering problem solving. Qualitative Reasoning Workshop, 1996.

го анализа была сформулирована концепция интеллектуальной поддержки конечно-элементного (КЭ) анализа в контактной механике [1]. Согласно этой концепции, методология рассуждений по прецедентам (РПП) на основе онтологической базы знаний была выбрана как наиболее релевантная технология ИИ для интеллектуальной поддержки инженерного анализа. Процесс РПП может быть схематически представлен в виде цикла. В работе [2] приведено описание типичного процесса РПП, который состоит из следующих этапов: формирование прецедента новой задачи (прецедента-запроса), поиск наиболее похожих прецедентов в БД прецедентов, повторное использование решений найденных прецедентов (прецедентов-источников) и их адаптация к новой задаче, проверка предлагаемого решения на адекватность и сохранение нового решения в БД прецедентов.

Разработанная концепция поддержки инженерного анализа предполагает использование базы знаний в виде онтологии на всех этапах

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

РПП, что позволяет более эффективно решать задачи, основанные на знаниях, возникающие в процессе РПП (задачи поиска, адаптации и оценки прецедентов). Для реализации процесса РПП, основанного на онтологии как модели представления прецедентов, необходимо разработать специфические алгоритмы поиска, адаптации и оценки прецедентов, так как они напрямую зависят от вида модели представления прецедента. Следующие алгоритмы были разработаны или модифицированы для реализации цикла РПП на основе предложенной модели представления прецедента:

- алгоритмы поиска прецедентов;
 - общий алгоритм определения меры близости прецедентов;
 - алгоритм определения меры близости значений свойств на основе иерархии классов онтологии (CBS алгоритм);
 - алгоритм определения максимального сопоставления для структурных компонентов на основе ролей онтологии (SBS алгоритм);
- алгоритмы адаптации;
 - алгоритм адаптации решения для контактных пар;
 - алгоритм адаптации решения для прецедента в целом;
- алгоритм оценки и сохранения прецедентов.

Алгоритмы поиска прецедентов

Для поиска прецедентов были разработаны алгоритмы CBS и SBS, основанные на модели представления прецедента в виде онтологии. Эти алгоритмы используются для вычисления меры близости по всем аспектам описания прецедента. Алгоритм CBS определяет меру бли-

зости между двумя экземплярами онтологии на основе их расположения в иерархии классов онтологии. Алгоритм SBS определяет меру близости на основе сравнения подграфов онтологии, сформированных одинаковыми отношениями онтологии (ролями). Для вычисления общей меры близости между двумя прецедентами необходимо неоднократно вычислять меру близости между различными экземплярами онтологии. Для этого используются оба алгоритма, как CBS, так и SBS:

$$S(i_1, i_2) = \frac{k_1 \cdot CBS(i_1, i_2) + k_2 \cdot SBS(i_1, i_2)}{k_1 + k_2}, \quad (1)$$

где $S(i_1, i_2)$ – общая мера близости между экземплярами i_1 и i_2 ; k_1, k_2 – весовые коэффициенты; $CBS(i_1, i_2)$ – мера близости между экземплярами i_1 и i_2 , вычисленная по алгоритму CBS; $SBS(i_1, i_2)$ – мера близости между экземплярами i_1 и i_2 , вычисленная по алгоритму SBS.

В предлагаемой модели представления прецедента один экземпляр может принадлежать одновременно нескольким классам значений свойств. В связи с этим, при применении классического CBS-алгоритма [3] к экземпляру, который относится к нескольким классам с различным уровнем глубины в иерархии классов онтологии, будет получено некорректное значение меры близости. Поэтому был разработан модифицированный CBS-алгоритм, основанный на определении отдельных векторов принадлежности для каждого свойства, определении меры близости отдельно по каждому свойству и определении общей меры близости по всем свойствам как взвешенной суммы мер близостей по каждому свойству. Блок-схема модифицированного CBS-алгоритма представлена на рис. 1.

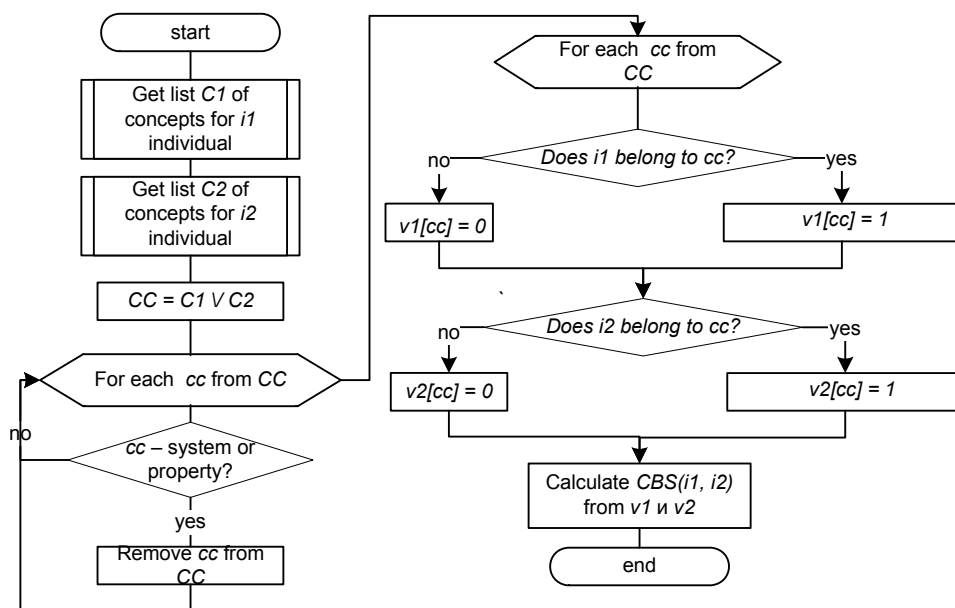


Рис. 1. Блок-схема модифицированного CBS-алгоритма

БД прецедентов содержит два различных типа прецедентов – прецеденты решения типовых контактных задач и прецеденты решения конкретных механизмов, что позволяет выполнять более точную адаптацию прецедентов.

Чтобы учесть разницу в описании различных типов прецедентов, был разработан модифицированный SBS-алгоритм. Главным отличием в описании различных типов прецедентов является усеченное описание геометрии для прецедентов решения типовых контактных пар, поэтому основная идея модифицированного алгоритма заключается в определении максимальной проекции элементов подграфа описания одного прецедента на другой и исключении из рассмотрения несопоставленных элементов описания. Такой подход позволяет определять адекватную оценку меры близости не только между различными типами прецедентов, но и между прецедентами с разным числом геометрических элементов. При этом модифицированный алгоритм отличается от базового [3] только на этапе составления М-списка сравниваемых вершин.

Алгоритм адаптации прецедентов

Для адаптации решения к прецеденту-запросу применялась генерирующая адаптация [4], которая позволяла использовать формализованные знания предметной области о зависимостях между описанием прецедента и его решением.

Решение прецедента состоит из четырех аспектов: описание процедуры КЭ моделирования каждой контактной пары (КП), описание общей процедуры расчета КЭ модели, типы КЭ для всех частей модели, модели материалов для всех частей КЭ модели. Параметры процедуры КЭ моделирования КП относятся к решению только для контактных пар, остальные компоненты относятся к решению для всего прецедента. Адаптация прецедента включает в себя адаптацию решения для контактных пар и адаптацию решения для прецедента в целом. Общая адаптация решения для контактных пар описывается следующей последовательностью процедур:

1. Начальное сопоставление контактных пар прецедентов-источников контактным параметрам прецедента-запроса.

2. Доопределение формальных параметров контактных пар:

- вывод значений формальных свойств на онтологии;

- копирование значений формальных свойств из прецедентов-источников.

3. Адаптация решения контактных пар:

- копирование параметров решения из прецедентов-источников, значение близости для которых больше порогового значения;

- вывод параметров решения на онтологии;

- копирование параметров решения из прецедентов-источников, значение близости для которых больше порогового значения.

Тип модели материала может быть указан пользователем на этапе формирования прецедента новой задачи или скопирован из прецедента-источника на этапе адаптации. Тип используемого конечного элемента зависит от решения КП, используемой модели материала и типа САЕ-системы, используемой для расчетов. Общая схема адаптации решения прецедента приведена на рис. 2.

Оценка и сохранение прецедента

На этапе оценки прецедента оцениваются непротиворечивость и полнота его решения, а также определяется необходимость его сохранения в БД прецедентов. Непротиворечивость решения прецедента проверяется с использованием правил описательной логики (ОЛ) онтологии. Проверка нового решения осуществляется путем выполнения стандартных процедур вывода на онтологии – "проверка таксономии" и "определение выведенных типов". Если какой-либо экземпляр решения был определен как экземпляр одного из запрещенных классов, то решение прецедента является недопустимым и определяется причина недопустимости решения. Решение о необходимости сохранения нового прецедента принимается пользователем, но система может дать совет о возможности сохранения прецедента. Сохранение нового прецедента имеет смысл в двух случаях: решение прецедента непротиворечиво и полностью определено; прецедент из БД, ближайший к рассматриваемому, имеет меру близости ниже установленного порогового значения. В первом случае сохранение нового прецедента расширяет положительный опыт решения контактных задач и повышает эффективность процесса РПП. Во втором случае сохранение нового типа прецедента (нового, так как похожие прецеденты отсутствуют в БД) позволит решать в будущем новый класс задач и значительно улучшит эффективность процесса РПП.

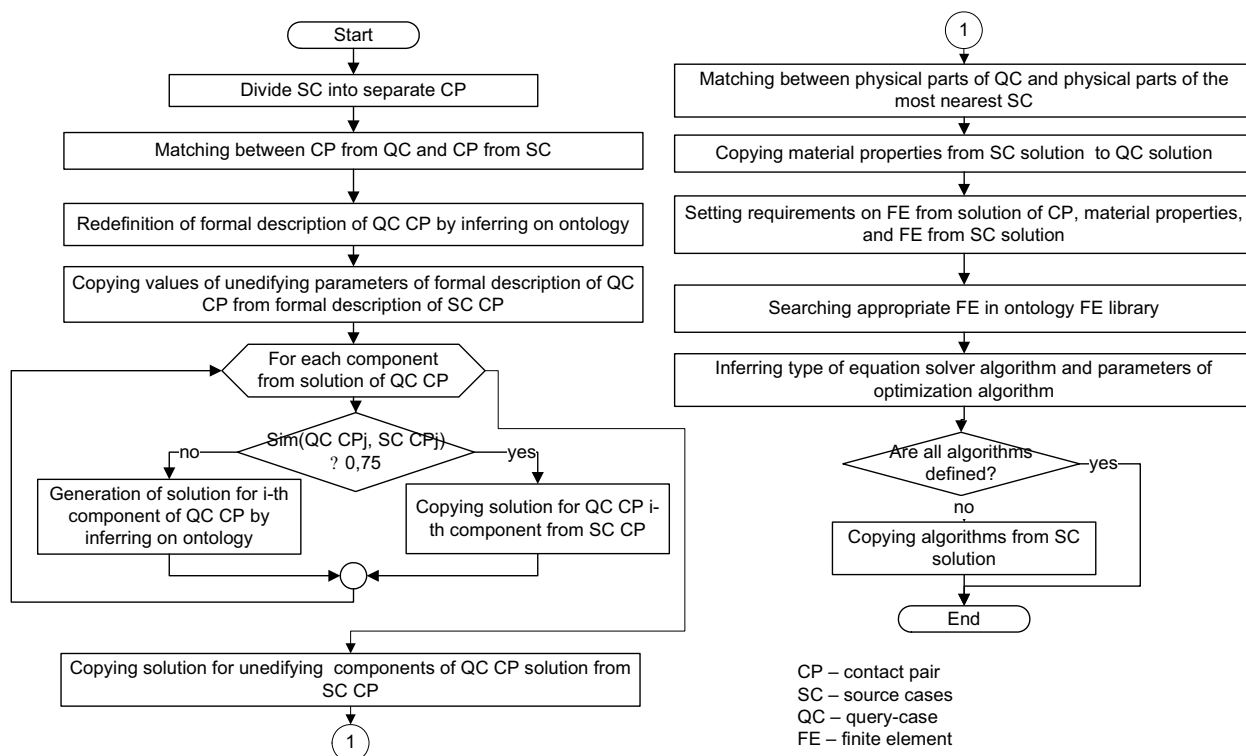


Рис. 2. Алгоритм адаптации решения прецедента

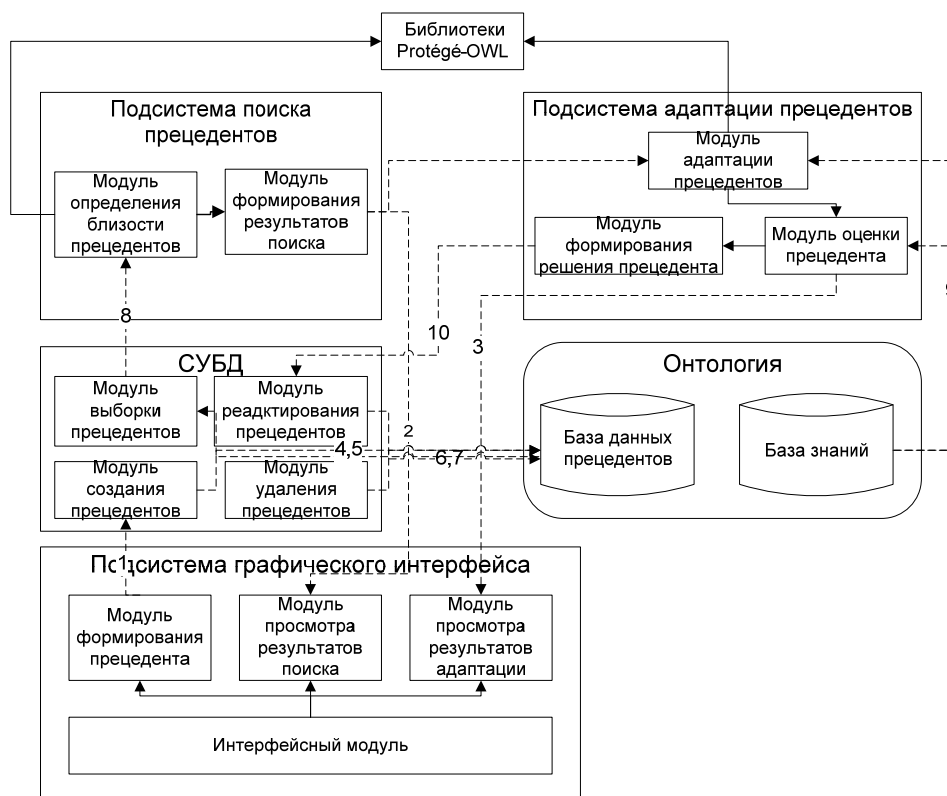


Рис. 3. Архитектура системы jISFEA:

1 – формальное описание объекта анализа; 2 – результаты извлечения прецедентов; 3 – результаты адаптации прецедентов; 4 – запрос на выборку прецедента; 5, 6 – запрос на изменение прецедента; 7 – запрос на удаление прецедента; 8 – описание прецедента; 9 – правила в предметной области анализа; 10 – описание адаптированного прецедента

Система интеллектуальной поддержки КЭ анализа контактных задач

Разработанные алгоритмы поиска, адаптации и оценки прецедентов реализованы в прототипе автоматизированной системы интеллектуальной поддержки инженерного анализа на примере решения контактных задач по МКЭ (jISFEA). Прототип спроектирован с использованием принципов объектно-ориентированного подхода и реализован с использованием технологии программирования Java2 SE, которая позволяет создавать кросс-платформенные приложения и облегчает доступ к приложению через сеть. Кроме этого, существуют свободно распространяемые библиотеки доступа к онтологиям, реализованные на Java.

Система имеет трехуровневую архитектуру "Данные–Алгоритмы–Интерфейс", которая обеспечивает легкое масштабирование системы и позволяет использовать различные реализации уровней при создании исследовательских прототипов системы или полнофункциональных приложений. В частности, предусмотрены различные реализации уровня доступа к дан-

ным для работы с файлом онтологии или реляционной БД, а также варианты реализации интерфейсного уровня для локального приложения с использованием оконных форм и сетевого доступа с использованием апплетов Java. Реализация сетевого доступа к системе позволяет обеспечить доступ к базе знаний системы через Интернет без установки программного обеспечения на клиентском компьютере. Архитектура системы приведена на рис. 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Intelligent support of engineering analysis using ontology and case-based reasoning / Wriggers P., Siplivaya M., Joukova I., Slivin R. - Engineering Application of Artificial Intelligence, № 20: p. 709–720, 2007.
2. Aamodt, A. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches/ A. Aamodt, E. Plaza// Communications. – 1994. – № 7. – С. 39–59.
3. Gonzales-Calero, P. Applying DLs for retrieval in case-based reasoning/ P. Gonzales-Calero, B. Diaz-Agudo, M. Gomez-Albarran// Applied Intelligence. – 2004, – № 22. – С. 125–134.
4. A taxonomy of compositional adaptation / P. K. McKinley, S. M. Sadjadi, E. P. Kasten, B. H. C. Cheng. – Madrid: Springer, 2002. – 34 с.

УДК 681.3

А. М. Дворянкин, М. Б. Сипливая, И. Г. Жукова, А. С. Капыш, А. Е. Кульцов РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ И СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В ОБЛАСТИ КОНТАКТНОЙ МЕХАНИКИ¹

Волгоградский государственный технический университет (dvam@vstu.ru, siplivaya@vstu.ru)

Представляемая статья посвящена проблеме представления знаний для рассуждений по прецедентам - системы интеллектуальной поддержки инженерного анализа в области решения задач контактной механики методом конечных элементов. Разработана модель представления прецедента на основе онтологической модели, которая позволяет эффективно реализовать процесс рассуждений по прецедентам и обеспечить его семантическую интероперабельность.

Ключевые слова: рассуждения по прецедентам, модель представления прецедента, онтология, интеллектуальная система

А. М. Dvoriankin, M. B. Siplivaya, I. G. Zhukova, A. E. Kultsov, A. S. Kapyshev DEVELOPMENT OF CASE REPRESENTATION MODEL AND ONTOLOGICAL KNOWLEDGE BASE FOR INTELLIGENT SYSTEM FOR SUPPORT OF ENGINEERING ANALYSIS IN CONTACT MECHANICS

This paper deals with the problem of knowledge representation for CBR-based system. An ontological model for knowledge representation of physical systems and engineering analysis cases was designed. The knowledge representation model is formally represented by the OWL DL ontology. The developed case representation model permits on the basis of ontological representation of domain knowledge to realize a CBR process effectively and to provide semantic interoperability of case-based reasoning.

Ontology, CBR-based system, CBR process

Актуальной проблемой автоматизации инженерного анализа является разработка систем, основанных на знаниях. В настоящее время в системах данного класса используются различные методы и технологии искусственного интеллекта (ИИ), например, рассуждения по прецедентам (РПП), рассуждения на основе правил, рассуждения, основанные на моделях и их комбинации. При этом встают проблемы приобретения и представления знаний в области инженерного анализа. Это особенно актуально для систем, построенных на основе РПП, так

как в этом случае модель представления знаний определяет все основные элементы процесса РПП: модель представления и способ хранения прецедентов, алгоритмы поиска, адаптации и оценки прецедентов.

В современных системах, реализующих процесс РПП, основной тенденцией является использование онтологии в качестве модели представления знаний, а также поддержка РПП на основе онтологии. При реализации такого подхода возникают задачи интеграции РПП и онтологии.

Представляемая статья посвящена проблеме представления знаний для РПП – системы ин-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

теллектуальной поддержки инженерного анализа в области решения задач контактной механики методом конечных элементов (КЭ). В работе [1] было проведено исследование процесса инженерного анализа и сформулирована концепция интеллектуальной поддержки конечно-элементного анализа в контактной механике.

Технология РПП была выбрана вследствие следующих ее достоинств: возможности представления специализированных знаний, естественности представления, модульности, простоты извлечения знаний, самообновляемости, возможности обработки ошибочных и неполных входных данных [2].

Исследование существующих подходов реализации РПП [3, 4, 5 и т. д.], включая модели представления прецедента, алгоритмы поиска и адаптации прецедентов, показало, что они лишь частично удовлетворяют требованиям предметной области. Поэтому была сформулирована задача разработки соответствующей модели представления знаний для реализации РПП в рамках интеллектуальной поддержки инженерного анализа [1].

Был проведен анализ предметной области задач контактной механики и сформулированы требования к модели представления знаний [1], которая должна удовлетворять следующим критериям:

- возможность представления структурированных объектов;
- возможность логического моделирования;
- возможность языкового моделирования.

На основе сформулированных критериев был проведен анализ различных моделей представления знаний и сделан вывод, что единственной моделью, удовлетворяющей всем критериям, является онтология, так как она синтезирует в себе возможности классических моделей представления знаний. Онтология представляет собой развитие идеи семантических сетей (языковое моделирование), реализует ряд черт, характерных для фреймовой модели (структурное представление) и представляет развитый аппарат логического описания элементов модели (логическое моделирование).

В работе [6] приведено описание типового процесса РПП. Он является циклическим и состоит из следующих этапов: извлечение наиболее похожих прецедентов из БД прецедентов, повторное использование решения извлеченных прецедентов, проверка предлагаемого решения на адекватность и сохранение нового решения в БД прецедентов. Таким образом, сначала новой проблеме, формализованной в виде нового прецедента, сопоставляется один или несколько прецедентов из БД прецедентов,

после чего решение сопоставленных прецедентов используется для решения нового прецедента. Если сопоставленные прецеденты не достаточно похожи на новый прецедент, то в ходе проверки новое решение может быть модифицировано (адаптировано для новой задачи). Если новое решение прецедента подходит для решения нового прецедента, то прецедент вместе с решением сохраняется в БД прецедентов.

Целью применения РПП является освобождение от необходимости использовать явно формализованные знания при решении интеллектуальных задач, поэтому поддержка РПП с помощью онтологий может быть интерпретирована как отступление от базовых принципов РПП. Однако, это не совсем корректно, так как применение онтологий позволяет сделать РПП более точным и расширить круг решаемых задач. В общем случае БД прецедентов не содержит все необходимые знания для корректного решения новой задачи, но онтологии позволяют формализовать общие знания предметной области для их использования при решении задач. Также применение онтологий позволяет достигнуть возможности семантического взаимодействия между описаниями прецедентов из различных источников. Онтологии позволяют задать основу для описания прецедента, которая используется для извлечения прецедентов. Также общие знания в предметной области необходимы на этапе адаптации прецедентов.

Существует несколько вариантов реализации интеграции онтологии и РПП:

онтология описывает общие понятия и правила предметной области;

онтология описывает общие понятия и правила предметной области, а также модель представления прецедента;

онтология описывает общие понятия и правила предметной области, модель представления прецедента, а также содержит БД прецедентов.

Было решено использовать третий вариант, так как он позволяет использовать онтологию для поддержки всех стадий РПП:

- онтология определяет модель представления прецедента и набор параметров описания прецедента с набором их возможных значений. Онтология содержит информацию о возможных целях и особых параметрах анализа для различных типов рассматриваемых механизмов. Онтология задает основу для описания прецедентов и может быть использована как база знаний для подсистемы автоматизированного извлечения прецедентов из текстового и графического описания задачи;

- если пользователь не полностью определил описание задачи, то онтология может быть

использована на стадии извлечения для доопределения прецедентов. Также алгоритм определения меры близости прецедентов сильно зависит от модели представления прецедентов, которая определяется онтологией;

- онтология используется на стадии адаптации для принятия решения об альтернативных значениях параметров, если алгоритм адаптации предложит несколько альтернативных вариантов;

- онтология содержит правила, которые могут быть использованы на этапе проверки предлагаемого решения. Эти правила опреде-

ляют недопустимые комбинации значений параметров для различных аспектов описания прецедента.

Общая схема интеграции РПП и онтологии представлена на рис. 1. Онтология как модель представления прецедента описывает его как набор экземпляров классов и отношений между ними. Как база знаний в предметной области она описывает знания как правила описательной логики (ОЛ) с использованием процедур вывода. Как БД прецедентов онтология хранит прецеденты как часть знаний предметной области.

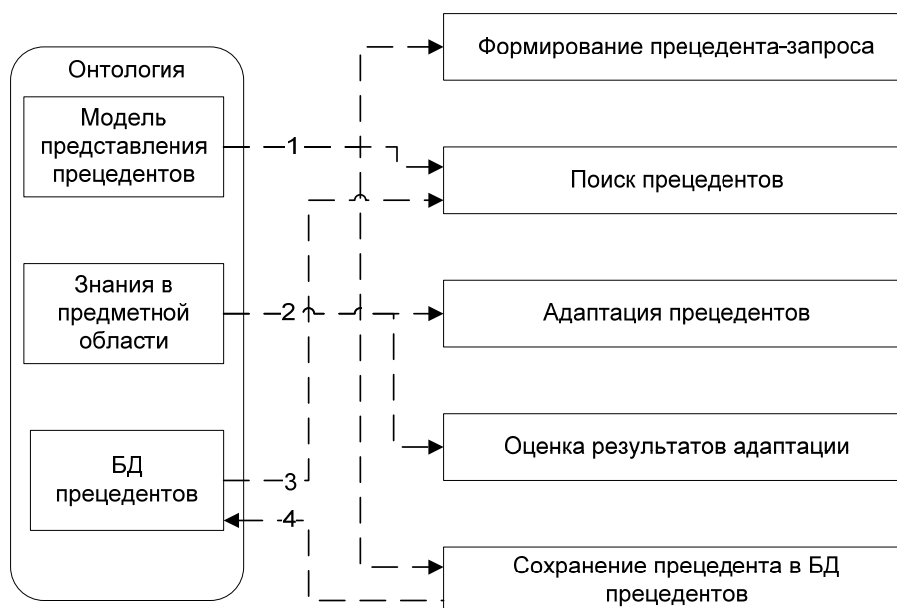


Рис. 1. Схема интеграции процесса РПП и онтологии:

1 – описание модели представления прецедентов; 2 – формализованные правила в предметной области;
3 – прецедент из БД прецедентов; 4 – прецедент новой решенной задачи

Существует множество моделей представления прецедентов. Касательно предметной области инженерного анализа наиболее применимыми являются текстовая [7] и структурная [3] модели представления прецедента. Структурные модели делятся на модели "параметр-значение" (хеш-таблица), объектно-ориентированную и графовую. Применительно к рассматриваемой задаче была выбрана структурная объектно-ориентированная модель представления прецедента, так как прецедент содержит дополнительные знания в предметной области для получения удовлетворительного решения. Такая модель также позволяет оценивать качество нового прецедента перед добавлением его в БД прецедентов, что позволяет существенно снизить стоимость обслуживания БД. Главным

недостатком такого подхода является необходимость больших затрат на разработку такой модели.

Описание прецедента на верхнем уровне состоит из двух частей:

$$\text{Case} = \{P, S(P)\}, \quad (1)$$

где P – описание задачи (индекс прецедента); $S(P)$ – описание решения.

Описание задачи состоит из шести дескрипторов, которые отражают главные аспекты описания задачи:

$$P = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6\}, \quad (2)$$

где d_i – дескриптор, который определяет один из аспектов описания прецедента, дескриптор может иметь сложную структуру; d_1 – цель

проведения анализа (множество строк); d_2 – название САЕ-системы проведения анализа (строка); d_3 – особые параметры анализа (набор пар "параметр-значение"); d_4 – тип механизма (классификация); d_5 – структура объекта анализа – описание геометрии, способа нагружения и контактных пар (семантическая сеть); d_6 – описание формальных параметров контактных пар (набор пар "параметр-значение").

Существует несколько особых случаев описания формальных параметров контактной пары. В зависимости от уровня компетентности пользователя, они могут быть определены полностью или лишь частично. В последнем случае необходимо доопределить пропущенные параметры. Для этого могут быть использованы как общие знания предметной области, так и прецеденты из БД прецедентов.

Описание решения состоит из четырех дескрипторов:

$$S(P) = \{D_1, D_2, D_3, D_4\}, \quad (3)$$

где D_i – дескриптор, который определяет один из аспектов решения, дескриптор может иметь сложную структуру; D_1 – описание параметров моделирования контактного взаимодействия (набор пар "параметр-значение"); D_2 – общее описание процедуры КЭ расчета (набор пар "параметр-значение"); D_3 – тип КЭ для всех частей КЭ модели (строка); D_4 – модель материала для всех частей КЭ модели (строка).

Структура индекса прецедента представлена на рис. 2. Были выделены три основных аспекта описания прецедента. Пользователь имеет возможность определить важность каждого аспекта на этапе извлечения прецедентов.

Описание прецедента является набором экземпляров классов онтологии. Каждому дескриптору описания соответствует один или несколько экземпляров. Они взаимно соединены объективными свойствами (двунаправленное отношение), таким образом, описание прецедента представляет собой полностью соединенный

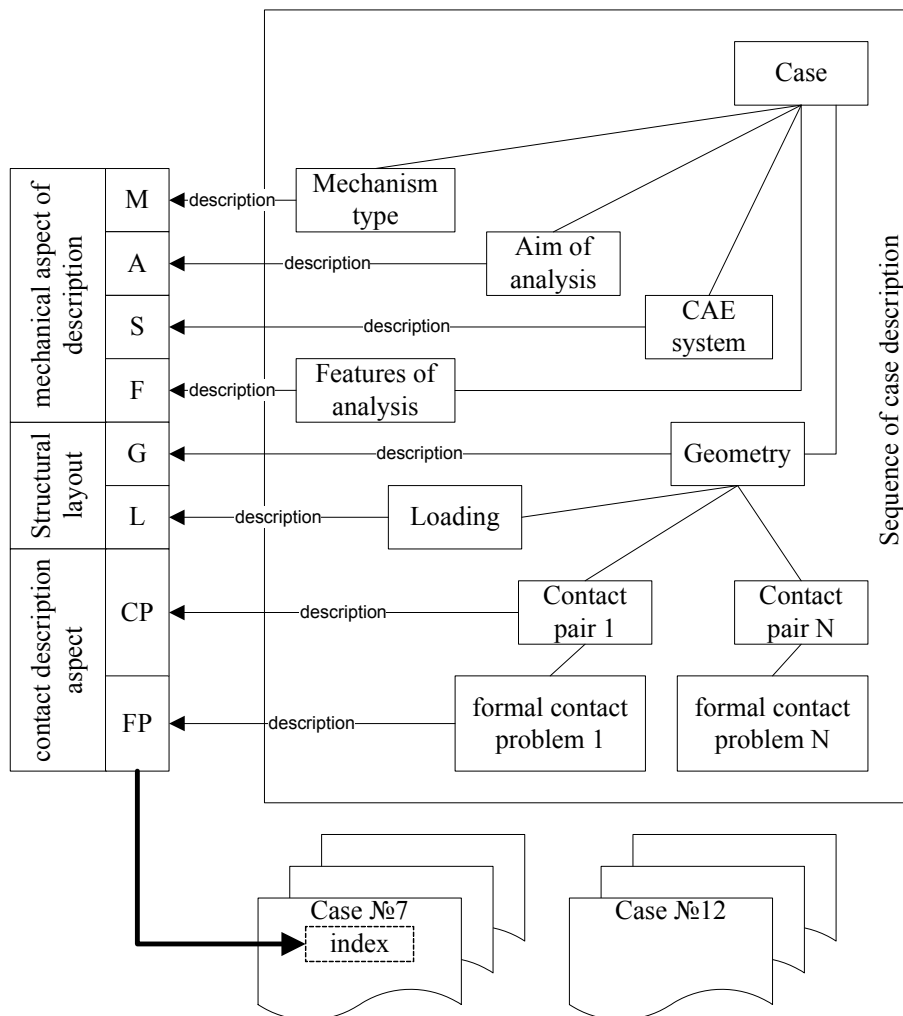


Рис. 2. Структура индекса прецедента

граф, в котором описание конкретного прецедента задается положением вершин графа в иерархии классов онтологии.

Кроме общих концептов предметной области онтология содержит набор правил. По типу формализуемых знаний предметной области правила делятся на:

отношения между описаниями прецедента на различных уровнях. Например, для совпадающих контактных поверхностей без большого проскальзывания допустимо использовать КЭ представление контакта "узел-к-узлу";

негативные правила, определяющие недопустимые комбинации значений описаний прецедента на различных уровнях. Например, нельзя использовать метод штрафных жесткостей для расчета контактных пар с большим проскальзыванием между контактирующими поверхностями.

Таким образом, разработанная концепция интеграции РПП и онтологии и модель представления прецедента на основе онтологиче-

ской модели позволяет эффективно реализовать процесс РПП и обеспечить его семантическую интероперабельность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Wriggers P., Siplivaya M., Joukova I., Slivin R.* Intelligent support of engineering analysis using ontology and case-based reasoning. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 20: 709–720, 2007.
2. *Prentzas, J.* Categorizing approaches combining rule-based and case-based reasoning / J. Prentzas, I. Hatzilygeroudis // *Expert systems with applications*, 2006.
3. *Bartsch-Spurl, B., Lenz, M. and Hubner, A.* Case-based reasoning - Survey and future directions. // *XPS-99*, Wurzburg, Germany, 1999.
4. *Bogaerts, S., Leake, D.* Facilitating CBR for Incompletely-Described Cases: Distance Metrics for Partial Problem Descriptions, Lindley Hall, 2004.
5. *Broad, A.* Case-Based Reasoning. CS3411 essay, Department of Computer Science, University of Manchester, Manchester, UK, 1998.
6. *Aamodt, A.* Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches/ A. Aamodt, E. Plaza // *Communications*. – 1994. – № 7. – С. 39–59.
7. *Bruninghaus, S., Ashley, K.* Reasoning with textual cases, ICCBR2005, 2005.

УДК 528.5–523.8

И. А. Коптелова

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИОРИТЕТНОСТИ КРИТЕРИЕВ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Волгоградский государственный технический университет (shilina@yandex.ru)

В данной статье приведено решение задачи обоснованного выбора компонентов при проектировании измерительных приборов. Статья содержит анализ математических моделей элементов оптико-электронных приборов. На основе проведенного анализа выбраны уравнения функциональной связи между физическими величинами, позволяющие более обоснованно определять приоритеты при выборе критериев и с большей достоверностью проводить операции отсека вариантов с худшими техническими характеристиками.

Ключевые слова: оптико-электронный прибор, оптимизация, концептуальное проектирование, приоритетность, морфологический синтез, критерии, фотоприемник, фоторезистор, фотоумножитель, болометр, функциональная связь.

I. A. Koptelova

OPTIMIZATION OF PRIORITY CRITERIA FOR MORPHOLOGICAL SYNTHESIS OF OPTOELECTRONIC DEVICES

This paper describes the solution for selecting components when designing measuring instruments. The paper contains analysis of mathematical models of elements for optoelectronic devices. Based on the carried out analysis, equations of functional relation between physical values were selected that enable more sound selection of priorities when choosing criteria and better reliability when cutting off variants having worse characteristics.

Optoelectronic device, optimization, conceptual design, priority, morphological synthesis, criteria, light detector, light resistor, secondary emission photocell, bolometer, functional relation

Проблемы проектирования оптико-электронных приборов

При проектировании измерительных приборов часто возникает задача обоснованного выбора их компонентов. Это обусловлено тем, что для приборостроения в настоящее время промышленными предприятиями и фирмами выпускается довольно большое количество различных типов элементов. Задача проектирования в этом случае заключается в генерации множества альтернативных технических решений из известных элементов и выбор наиболее оптимального. В качестве метода концептуального проектирования измерительных приборов целесообразно использовать морфологический

подход [1, 2]. При морфологическом синтезе возникает необходимость решения задачи "преодоления проклятия размерности" морфологических множеств. Так, например, с помощью морфологического синтеза оптико-электронных измерительных приборов были получены варианты технических решений с кардинальным числом $2 \cdot 10^{27}$ [1]. Количество признаков в этой задаче было больше 50, а число значений колебалось в пределах 2–10. Для обоснованного выбора наиболее оптимальных вариантов из большого количества необходим организованный отсев "нежизнеспособных" вариантов.

Для организованного отсева необходимо ранжирование классификационных признаков и

критериев технических решений для конкретной решаемой задачи. Операция ранжирования может быть выполнена с помощью метода парного сравнения [2]. Основной проблемой парного сравнения двух сложных объектов является количественная оценка большего влияния одного из объектов на достижение некоторой заданной цели, чем второго. Необходимо отметить, что сама затея с представлением результата сравнения в виде цифр является искусственной, поскольку невозможно точно провести сравнение объектов. Чтобы представить результат сравнения двух объектов в виде цифр, требуется глубокое понимание обоих объектов и в особенности того, в какой степени их свойства влияют на достижение рассматриваемой цели. Источником суждений является опрос экспертов, знакомых со сравниваемыми объектами, с целями и с их взаимосвязью. Сами суждения указывают на относительную важность одного объекта по сравнению с другим с точки зрения достижения каждой из указанных целей.

Одной из основных проблем составления матриц парного сравнения является повышение ее согласованности. Очевидно, что если использовать группы экспертов, которым поручить независимое сравнение каждой пары объектов, то это позволит повысить согласованность матриц. Однако довольно сложно организовать группу экспертов из специалистов в определенной области техники.

Некоторые характеристики технических систем могут быть между собой связаны некоторыми функциональными зависимостями. В зависимости от функциональной связи по одной характеристике можно определить другую. Эта особенность технических систем может быть использована при ранжировании критериев, по которым отсеваются и выбираются технические решения, и тем самым повышается согласованность матриц парного сравнения. Задача определения функциональных связей между характеристиками проектируемого прибора может быть определена по математическим моделям его элементов. Наиболее просто могут быть получены уравнения функциональной связи между характеристиками элементов опто-электронных приборов, поскольку практически для всех оптоэлектронных устройств разработаны математические модели. Таким образом, при ранжировании критериев необходимо учитывать функциональную связь между характеристиками, выбранными в качестве критериев. Необходимо отметить, что для измерительных устройств согласно стандартам имеется перечень обязательных технических характеристик, например, погрешность измерения, быстродействие и т. д.

При проектировании измерительных опто-электронных приборов одной из неформализованных операций является выбор фотоприемников, информация о которых содержится в объемных справочниках. Поэтому и была разработана методика ранжирования основных характеристик фотоприемников по уравнениям функциональной связи.

Уравнения функциональной связи между физическими величинами фотоприемников

Фоторезисторы. Уравнение преобразования потока излучения Φ в электрический ток $I_{\phi m}$ имеет следующий вид [3, 4]

$$I_{\phi m} = CU_{\phi}^{\gamma} \Phi^{\alpha}, \quad (1)$$

где C – постоянная, определяемая свойствами материала и конструкцией фоторезистора; γ и α – коэффициенты нелинейности вольт-амперной и световой характеристик.

Среднее и дифференциальное значения чувствительности фоторезистора определяются уравнениями [3, 4]

$$S_0 = CU_{\phi}^{\gamma} \Phi^{\alpha-1}; \quad (2)$$

$$S_d = \alpha CU_{\phi}^{\gamma} \Phi^{\alpha-1}, \quad (3)$$

из которых следует, что чувствительность фоторезистора зависит в большей степени от напряжения питания.

Фотодиоды. Уравнения преобразования фотодиода, которое получено теоретически из теории фотогальванического эффекта, имеет вид [3, 4]:

$$I_{\phi} = S_0 \Phi - I_s (e^{\frac{-qU_{\phi}}{kA\Theta}} - 1), \quad (4)$$

где $S_0 \Phi$ – информационная составляющая тока, $I_T = I_s (e^{\frac{-qU_{\phi}}{kA\Theta}} - 1)$, где I_T – темновой ток "утечки" через p - n -переход, I_s – ток насыщения, то есть значение тока, к которому стремится темновой ток при $U_{\phi} \rightarrow \infty$, A – коэффициент, зависящий от материала фотоприемника и имеющий значение от 1 до 4, Θ – температура (K), $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot k$ – элементарный заряд, $k = 1,4 \cdot 10^{-23}$ Дж · град⁻¹.

В зависимости от полярности напряжения на p - n -переходе различают два режима работы фотодиода: фотогальванический (управляемый источник электрической энергии) и фотодиодный (управляемое сопротивление).

Зависимость напряжения холостого хода от потока излучения на фотодиоде в фотогальваническом режиме имеет вид:

$$U_{xx} = \frac{kA\Theta}{q} \ln(S_0 \Phi / I_s + 1). \quad (5)$$

Эта зависимость линейна при очень малых значениях потока.

На спектральную чувствительность фотодиода значительно влияет температура фоточувствительного слоя.

Вольтовые чувствительности фотодиода определяются уравнениями [3, 4] в фотодиодном режиме:

$$S_{U_{\max}} = S_I I_S / U_i; \quad (6)$$

в фотогальваническом режиме:

$$S_{U_{\max}} = R_0 S_I \frac{1}{I_0 / I_S + 1} \quad (7)$$

где I_S – темновой ток; R_0 – сопротивление p - n -перехода при нулевом напряжении $R_0 = kT / eI_S$.

Фотоумножители. Зависимость изменения коэффициента усиления M от изменения напряжения питания определяется уравнением [3, 4]

$$\frac{\Delta M}{M} = (0,7 \div 1,0) \cdot n \cdot \left(\frac{\Delta U_i}{U_i} \right), \quad (8)$$

где n – число каскадов.

Болометр. Принцип действия болометра основан на изменении электрического сопротивления полупроводника или металла под действием падающего на него потока излучения при изменении его температуры. Основные параметры болометров – интегральная чувствительность, постоянная времени и пороговый поток. При работе болометра с усилителем максимальная интегральная чувствительность при $R_H = R$ определяется выражением

$$S_V = \frac{1}{4} \cdot \frac{\alpha_T}{\sigma_T} U_n, \quad (9)$$

где U_n – напряжение питания; $\alpha_T = 1/\Theta$ – температурный коэффициент сопротивления; σ_T – полная термическая проводимость, Θ – температура проводника.

Пороговые параметры фотоприемников

Одним из основных параметров фотоприемников является порог чувствительности, поскольку он определяет минимальный регистрируемый поток излучения [3, 4].

Порог чувствительности оптико-электронного прибора определяет его дальность действия, то есть наибольшее расстояние до излучающего объекта, при котором падающий на входной зрачок преобразователя поток излучения от объекта соответствует порогу чувствительности, и разрешающую способность, характеризующую наименьшим углом между двумя точечными источниками излучения, кото-

рые могут быть отдельно обнаружены прибором. Порог чувствительности прибора зависит от внутренних шумов фотоприемника.

Виды шумов фотоприемника. Возникновение шума фотоприемника происходит по внешним и внутренним причинам: возникновение тепла, тока фотоприемника, фотонный характер излучения и т. д. Так как шумы (флуктуации) – процессы случайные, их описывают такими характеристиками, как математическое ожидание (средний уровень шума), среднеквадратичное значение (дисперсия). Распределение шума по спектру определяется спектральной плотностью шума (дисперсией).

Ток шума приемника оптического излучения I_0 это среднеквадратичное значение флуктуации тока, протекающего через фотоприемник в указанной полосе частот, а напряжение шума U_0 – среднеквадратичное значение флуктуации напряжения на заданной нагрузке в цепи фотоприемника в указанной полосе частот [3, 4].

Радиационный (фотонный) шум возникает из-за флуктуации потока квантов, падающих на фотоприемник, и флуктуаций потока квантов, излучаемых самим фотоприемником в пространство, так как его температура отлична от абсолютного нуля.

Дисперсия флуктуаций потоков излучения фона и приемника определяется выражением

$$\Delta \bar{\Phi}_{\text{р.ш}}^2 = \Delta \bar{\Phi}_{\text{ф}}^2 + \Delta \bar{\Phi}_{\text{п.и}}^2 = 8k\sigma A \alpha_T \Delta f (\varepsilon_{\text{Тф}} T_{\text{ф}}^5 + T_{\text{п.и}}^5), \quad (10)$$

где $\alpha_T = \varepsilon_{\text{Тн}}$ – коэффициент поглощения излучения фотоприемником; $\varepsilon_{\text{Тф}}$ – коэффициент теплового излучения фона; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж · К⁻¹ – постоянная Больцмана; $T_{\text{ф}}$ – температура фона; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт · м⁻² · К⁻⁴ – постоянная Стефана-Больцмана; $T_{\text{п.и}}$ – температура приемника; Δf – полоса частот; A – площадь фотоприемника.

Дисперсия напряжения радиационного шума с учетом интегральной чувствительности ПОИ к излучению фона $S_{\text{инт.ф}}$ и к излучению самого приемника $S_{\text{инт.п.и}}$ будет равна

$$\bar{U}_p^2 = S_{\text{инт.ф}}^2 \Delta \bar{\Phi}_{\text{ф}}^2 + S_{\text{инт.п.и}}^2 \Delta \bar{\Phi}_{\text{п.и}}^2. \quad (11)$$

Радиационный шум имеет равномерный спектр (белый шум).

Дисперсии напряжения и тока теплового шума, вызванного хаотическим тепловым движением свободных электронов в приемнике, определяются по формуле Найквиста:

$$\overline{U}_T^2 = 4kTR\Delta f; \quad \overline{I}_T^2 = 4kTR^{-1}\Delta f, \quad (12)$$

где R – сопротивление приемника (для фотодиода сопротивление базы R_6); Δf – полоса частот.

Дисперсии напряжения и тока дробового шума, причиной которого является поток частиц, флуктуирующих во времени, определяются по формуле Шоттки:

$$\overline{I}_{др}^2 = 2eI_0\Delta f; \quad \overline{U}_{др}^2 = 2eI_0R_n^2\Delta f, \quad (13)$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ А·с – заряд электрона; I_0 – среднее значение тока в приемнике; Δf – полоса частот; R_n – сопротивление нагрузки.

Дисперсию тока дробового шума у лавинных фотодиодов на основе собственных полупроводников определяют по формуле:

$$\overline{I}_{др}^2 = 2eI_0M^3\Delta f, \quad (14)$$

где M – коэффициент умножения тока лавинных фотодиодов.

Генерационно-рекомбинационный шум наблюдается у полупроводниковых приемников и вызывается флуктуацией числа носителей и временем их жизни. Дисперсия напряжения генерационно-рекомбинационного шума для фоторезисторов на основе собственной проводимости определяется по формуле

$$\overline{U}_{гр}^2 = 4U_n^2 \frac{R_n^2 R_\phi^2}{(R_T + R_n)} \frac{\tau_n \Delta f}{n\nu} \frac{1}{1 + (2\pi f \tau_n)^2}, \quad (15)$$

где U_n – напряжение питания, В; R_ϕ – темновое сопротивление фоторезистора, Ом; R_n – сопротивление нагрузки, Ом; τ_n – время жизни носителей, с; n – концентрация носителей, $1/\text{см}^3$; ν – объем фотослоя, см^3 ; Δf – полоса частот, Гц; f – частота модуляции потока излучения, Гц.

Шум мерцания (фликкер-эффект) возникает у фотоэлементов из-за непостоянства чувствительности фотокатода во времени. Выражение дисперсии шума мерцания имеет следующий вид

$$\overline{I}_M^2 = 2eI_0[1 + BI_0/(Af)], \quad (16)$$

где B – постоянная, зависящая от фотокатода; A – площадь фотокатода; f – частота модуляции потока излучения, Гц.

Этот шум проявляется на низких частотах ($f < 100$ Гц) и может превышать значение дробового шума на порядок.

Токовый шум (избыточный, $1/f$ – шум) зависит от состояния поверхности и качества контактов, технологии изготовления фоточувствительного слоя и токов утечки. Дисперсия напряжения от токового шума на фотоприемнике определяется выражением

$$\overline{U}_{тк}^2 = B \cdot R^2 I_0^2 \Delta f / f_M, \quad (17)$$

где B – коэффициент, зависящий от типа фотоприемника (для сернисто-свинцовых фоторезисторов $B = 10^{-11} \div 10^{-12}$); R – сопротивление приемника, Ом; I_0 – среднее значение тока в цепи приемника, А.

На частотах, меньших 100 Гц, токовый шум у приемников может превышать другие виды шумов на порядок и более, но с увеличением частоты (свыше 100 Гц) он резко падает.

При расчете общего шума фотоприемника считают, что шум некоррелирован, поэтому дисперсия суммарного напряжения шумов

$$\overline{U}_{ш}^2 = \overline{U}_p^2 + \overline{U}_T^2 + \overline{U}_{др}^2 + \overline{U}_{гр}^2 + \dots \quad (18)$$

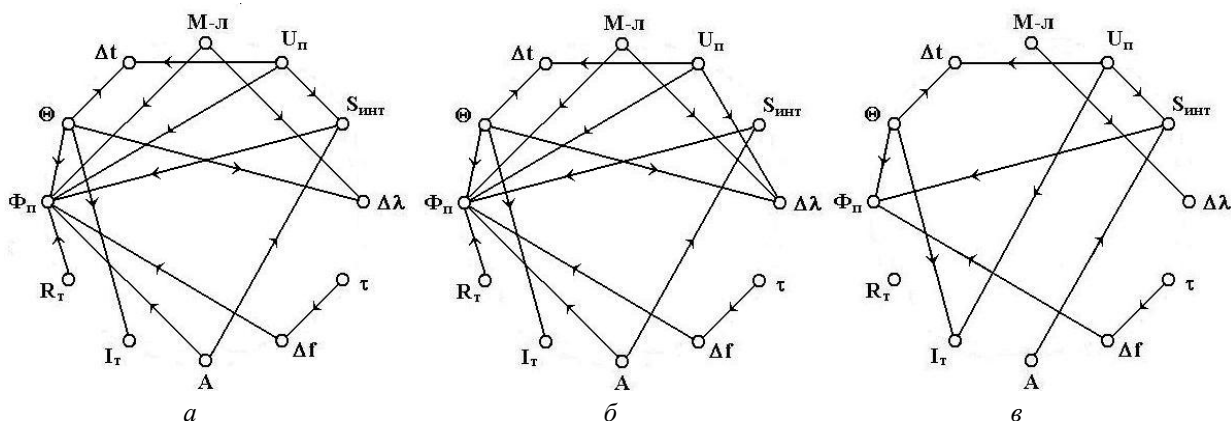
Порог чувствительности – это минимальное значение измеряемой величины. При расчетах порога чувствительности все составляющие шумов приводятся к входу фотоприемника.

$$\Phi_i = \sqrt{\overline{U}_{ш}^2} / S_U, \quad (19)$$

где S_U – чувствительность фотоприемника по напряжению.

Графическое отображение функциональных связей. На начальном этапе проектирования на основе анализа различных источников информации выявляются основные эксплуатационные характеристики прибора. Для уменьшения общего числа характеристик до числа наиболее существенных исследуется их функциональная связь. На основе анализа математических моделей были выбраны уравнения функциональной связи между основными параметрами фотоприемников, которые представлены в таблицах справочников. На рисунке представлены уравнения связи в виде графов для основных широко используемых фотоприемников: фотосопротивления, фотодиода и фотомножителя.

Приведенные на рисунке граф-схемы позволяют обоснованно задавать и выбирать значения параметров, поскольку, выбрав диапазон одного параметра, диапазон выбора другого,



Граф-схемы функциональных связей между параметрами фотоприемников:

a – фотосопротивления; *б* – фотодиода; *в* – фотоумножителя. Приведенные обозначения: М-л – материал; $U_{\text{п}}$ – напряжение питания; $S_{\text{инт}}$ – интегральная чувствительность; $\Delta\lambda$ – полоса чувствительности; τ – постоянная времени; Δf – полоса частоты модуляции; A – площадь фотоприемника; $I_{\text{т}}$ – темновой ток; $R_{\text{т}}$ – темновое сопротивление; $\Phi_{\text{п}}$ – порог чувствительности; Θ – температура; Δt – промежуток времени между отказами

функционально связанного с ним, ограничен. Так, например, постоянная времени τ связана однозначной зависимостью с полосой частоты модуляции Δf , а именно $\Delta f = 0,3/\tau$ и поэтому вместо двух параметров достаточно одного.

Выводы. На основе проведенного анализа математических моделей элементов ОЭП выбраны уравнения функциональной связи между физическими величинами, позволяющие более обоснованно определять приоритеты при выборе критериев и с большей достоверностью проводить операции отсеечения "нежизнеспособных" вариантов и вариантов с худшими техническими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Одрин, В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989. – 312 с.
2. Шилин, А. Н. Морфологический синтез оптико-электронных систем измерения размеров нагретых деталей / А. Н. Шилин, И. А. Шилина // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 3. – С. 51–61.
3. Ишанин, Г. Г. Приемники излучения оптических и оптико-электронных приборов / Г. Г. Ишанин. – Л. : Машиностроение, 1986. – 175 с.
4. Ишанин, Г. Г. Источники и приемники излучения / Г. Г. Ишанин, Э. Д. Панков, А. Л. Андреев, Г. В. Польшиков. – СПб. : Политехника, 1991. – 240 с.

УДК 658.512.2: 66.02

М. А. Цыканова, Л. Н. Бутенко

ПРОЦЕДУРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЧАСТНЫХ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ФОНДА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (tsykanova-marina@yandex.ru, butenko@vstu.ru)

В данной статье рассмотрены процедуры получения частных эвристических приемов: интерпретация обобщенных эвристических приемов и принцип инверсии. Интерпретация состоит из процедуры выбора эвристического приема на основании обобщенных критериев иерархической структуры и конкретизации приема при определенных условиях. Представлена модель интерпретации обобщенных эвристических приемов.

Ключевые слова: объектно-ориентированный фонд, частный эвристический прием, обобщенный эвристический прием, интерпретация, эвристическая избыточность, принцип инверсии, выбор, конкретизация, модель интерпретации.

M. A. Tsykanova, L. N. Butenko

PROCEDURES RECEPTION OF PRIVATE HEURISTIC RECEPTIONS OF OBJECT-ORIENTED FUND FOR DESIGNING EQUIPMENT OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL SYSTEMS

In this article procedures reception of private heuristic receptions are considered: interpretation of the generalized heuristic receptions and the principle of inversion. Interpretation consists of procedure choice of heuristic reception on the basis of the generalized criteria as a hierarchical structure and concrete definition of reception under certain conditions. The model of interpretation is presented as generalized heuristic receptions.

Object-oriented fund, private heuristic reception, generalized heuristic reception, interpretation, heuristic redundancy, principle of inversion, a choice, a concrete definition, model of interpretation.

Формирование объектно-ориентированного фонда эвристических приемов для проектирования аппаратов химико-технологических систем в работе [1] помогло выявить следующую

проблему – определение возможных процедур интеллектуальной обработки обобщенных фондов с целью получения частных эвристик. Каждый специалист, благодаря приобретенным на-

выкам и природным способностям, использует свои процедуры при создании индивидуального фонда эвристических приемов, но в литературе не описаны приемы их получения, которые позволяют облегчить процесс интерпретации межотраслевого фонда относительно других уровней иерархии описания химико-технологической системы. Они могут быть использованы проектировщиками при формировании индивидуальных фондов.

В работе [2] представлены следующие рекомендации по формированию индивидуального фонда эвристических приемов:

- выбор из межотраслевого фонда наиболее подходящих эвристических приемов с учетом специфики решаемых задач;
- подбор для каждого эвристического приема примеров решения творческих инженерных задач из своей области или функционально близких областей;
- разбор и анализ последних решенных задач и запатентованных технических решений в своей области и функционально близких областях;
- изучение конструктивной эволюции технического объекта для выявления и формулировки эффективных эвристических приемов, ориентированных на интересующий класс изделий или технологий;
- изучение ретроспективной цепочки конструктивной эволюции прототипа по патентным описаниям для решения конкретной творческой инженерной задачи;
- обобщение опыта (формулировка новых эвристических приемов на основе решенной задачи или возможности ее использования как примера).

В качестве информационной базы при формулировке частных эвристических приемов предлагается использовать межотраслевой фонд.

При формировании объектно-ориентированного фонда необходимо подбирать к частным эвристическим приемам примеры решения творческих инженерных задач. Это позволит подтвердить правильность интерпретации, расширить и дополнить эвристический прием.

Ценным источником информации для объектно-ориентированного фонда являются новейшие достижения науки, новые материалы и технологии, последние решенные задачи и запатентованные технические решения в своей и функционально близких областях.

Рекомендации "изучение конструктивной эволюции технического объекта" и "изучение ретроспективной цепочки конструктивной эволюции прототипа по патентным описаниям" могут быть использованы при решении конкретных творческих инженерных задач.

При формировании объектно-ориентированного фонда [1] применялся межотраслевой фонд [3], в котором для каждого обобщенного эвристического приема подобраны примеры использования их при решении конкретных инженерных задач из разных областей. При формулировке частных эвристических приемов применялась процедура – интерпретация обобщенного эвристического приема относительно уровня иерархии описания химико-технологических аппаратов. Интерпретация межотраслевого фонда применительно к химической технологии привела нас к интересному вопросу – что представляет собой частный эвристический прием. Это не простое следствие из обобщенного эвристического приема, а сложное, многообразное соединение эвристических приемов.

При формулировке частных эвристических приемов применение одного обобщенного приема недостаточно, необходимо знание всего межотраслевого фонда. Отобранный эвристический прием интерпретируется с учетом специфики уровня иерархии описания химико-технологических систем, а затем усиливается за счет применения других эвристических приемов. В этом проявляется сильное свойство межотраслевого фонда – эвристическая избыточность. Причем для усиления могут применяться не только обобщенные, но и частные эвристические приемы. Например, эвристический прием – "компенсировать нежелательную форму объекта (элемента) сложением с объектом (элементом) обратной формы" мы интерпретировали для уровня иерархии химико-технологический аппарат следующим образом – "оградить элемент, в котором проходит реакция, другим элементом – оболочкой". Данный прием необходимо обогатить и расширить. Применение эвристических приемов из различных групп межотраслевого фонда позволило получить следующий прием – "использовать оболочку из специального материала и (или) с внешней стороны подвергать какому-либо воздействию (физическому, электрическому, магнитному). Использовать оболочку в качестве носителя реагента, инициатора, катализатора. Применить постепенное или мгновенное разрушение оболочки". В дальнейшем по мере его усиления нельзя будет вывести строгой связи и сказать точно, из какого обобщенного эвристического приема был получен частный. Таким образом, частный эвристический прием представляет собой результат синтеза множества обобщенных и частных эвристических приемов.

При формулировке частных эвристических приемов в работе [1] применялся также принцип инверсии [4]. Он позволяет внести наи-

большую новизну в изменяемый объект, вернуть на 180 градусов саму идею, подход. Например, инверсия предполагает возможную замену подвижной части неподвижной, отказ от симметрии в пользу асимметрии, переход от растяжения к сжатию. Известны различные виды инверсии [4]: функциональная; структурная; инверсия формы; параметрическая; инверсные связи; инверсия пространства; инверсия времени.

Прием инверсии представляет собой уникальное средство и может быть использован в качестве возможной процедуры получения частных эвристических приемов. Данный прием может использоваться как составная процедура обобщенного эвристического приема "провести дробление традиционно целого объекта на меньшие однородные элементы, выполняющие аналогичные функции, инверсия приема". Возможно использование инверсии как самостоятельной процедуры. Эвристический прием "использовать свойства объекта (элемента) изменять свою форму под действием нагрузки" был интерпретирован следующим образом: "применить непрерывное или импульсное воздействие нагрузки на объект для придания ему определенной формы в необходимый момент времени". В данном случае использование приема инверсии времени позволило получить два варианта (непрерывное, импульсное) воздействия нагрузки на объект. Это существенным образом расширяет зону поиска и повышает вероятность нахождения улучшенного технического решения.

В качестве модели синтеза частных эвристических приемов предлагается использовать продукционную модель, как наиболее полно и адекватно отражающую структуру и учитывающую специфику предметной области. Модель реализуется продукционными правилами, которые представляют собой набор (I, Q, P, A→B, N) следующих компонент [5]: I – имя (или порядковый номер) правила; Q – область применения правила; P – предусловие применения правила; A→B – ядро правила ("если A, то B"), где A и B, соответственно, либо посылка и заключение, либо ситуация и действие; N – постусловие применения правила.

Процедура получения частных эвристических приемов путем интерпретации обобщенных эвристических приемов нами представлена в следующем виде:

(I): Q, B(M, P, Π), K(A, Z)

I – интерпретация обобщенных эвристических приемов; Q – проектирование процессов и аппаратов различных предметных областей (частный случай – проектирование аппаратов химико-технологических систем); B – выбор обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда; M – межотраслевой фонд эвристических приемов; P – критерии выбора обобщенного эвристического приема; Π – правила выбора обобщенного эвристического приема из межотраслевого фонда; K – конкретизация эвристического приема с учетом специфики предметной области; A – обобщенный эвристический прием; Z – условия конкретизации обобщенного эвристического приема.

Таким образом, сформулированы процедуры получения частных эвристических приемов путем интерпретации обобщенных эвристических приемов, а также применения принципа инверсии. В работе представлена модель интерпретации обобщенных эвристических приемов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что интерпретация представляет собой сложный когнитивный процесс, специфический способ познания предметной области. Данный процесс состоит из когнитивных процедур выбора эвристического приема на основании обобщенных критериев иерархической структуры и конкретизации приема при определенных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыканова, М. А. Объектно-ориентированный фонд эвристических приемов для проектирования аппаратов химико-технологических систем / М. А. Цыканова, Л. Н. Бутенко // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. № 2(28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 58–60 (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 2).
2. Основы выявления патентоспособных технических решений [Электронный ресурс]. – [2007]. – Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by/students/material/researches/glava19-20.htm>.
3. Межотраслевой фонд эвристических приемов. – [2007]. – Режим доступа: <http://doc.unicor.ru/tm/>.
4. Введение в теорию решения изобретательских задач. – [2007]. – Режим доступа: http://www.trizminsk.org/e/23110_22.htm.
5. Продукционные системы: понятия продукции и системы продукции, способ функционирования продукционной системы. – [2007]. – Режим доступа: http://osu.tpu.ru/GOSY/ES/es_6.htm.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.77

Р. Г. Герейханов

СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ УРОВНЯ ДОСТУПА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Национальный банк Республики Дагестан Банка России, г. Махачкала (gerauf@mail.ru)

В статье рассматриваются средства и механизмы обеспечения отказоустойчивости и распределения нагрузки на маршрутизаторах в распределенных компьютерных сетях. Подробно описан механизм использования виртуального маршрутизатора, который фактически представляет собой группу из нескольких физических маршрутизаторов, и сетевые протоколы работы с виртуальными маршрутизаторами на базе протокола IP для решения задачи обеспечения отказоустойчивости уровня доступа компьютерных сетей.

Ключевые слова: компьютерные сети, маршрутизация, протоколы передачи данных, виртуальный маршрутизатор, «горячее» резервирование оборудования

R. G. Gereykhonov

THE MEANS OF ACCESS LEVEL FAIL-SAFETY MAINTENANCE OF COMPUTER NETWORKS

The means and the mechanism of fail-safety and load sharing maintenance at the routers of distributed computer networks are considered in the article. The mechanism of virtual router use, represented by the group of physical routers, and network protocols for working with virtual routers, based on IP, for decision of the problem of access level fail-safety maintenance of computer networks are described in detail.

Computer networks, routing, protocols of data transfer, virtual router, hot standby equipment duplication

Распределенные компьютерные сети имеют сложную инфраструктуру и состоят из множества сегментов, сетевую связность которых обеспечивают маршрутизаторы (routers). Одним из условий качественного и непрерывного функционирования сетей является высокая отказоустойчивость маршрутизаторов. Надежным способом обеспечения этого условия является "горячее" резервирование оборудования, когда в случае сбоев, перегрузок или выхода из строя основных маршрутизаторов выполнение их функций автоматически берут на себя резервные. При этом необходимо решить задачу взаимодействия маршрутизаторов в целях своевременного обнаружения нештатных ситуаций и восстановления полной работоспособности сети в кратчайшее время. В то же время применение резервного оборудования создает избыточность, и желательно, по возможности, максимально полно использовать имеющиеся вычислительные ресурсы.

Рассмотрим современные средства, используемые для решения описанных проблем в сегментах уровня доступа локальных сетей, на базе наиболее распространенного сетевого протокола IP.

Анализ существующих средств

Главная задача маршрутизатора заключается в оптимальном продвижении (forwarding) трафика от отправителя до получателя, в зависимости от адреса последнего. При взаимодействии сетевых устройств (хостов) из разных сегментов сети трафик от передающего хоста направляется на ближайший (first-hop) маршрутизатор, который в зависимости от текущей таблицы маршрутизации осуществляет его дальнейшее продвижение (рис. 1).

При возникновении нештатных ситуаций, например, если ближайший маршрутизатор вышел из строя, хосты сегмента теряют связь с остальными сегментами сети, и при наличии

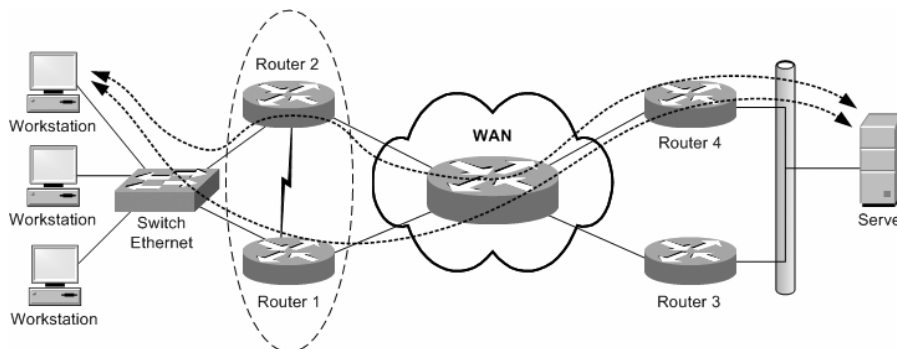


Рис. 1. Взаимодействие хостов из разных сегментов по альтернативным маршрутам

резервного маршрутизатора, должны начать использовать его для взаимодействия с хостами других сегментов. В случае существования альтернативных маршрутизаторов в сегменте на всех хостах должны функционировать механизмы, позволяющие:

- определять ближайший маршрутизатор;
- обнаруживать неисправности маршрутизаторов;
- автоматически переключаться на использование альтернативного маршрутизатора в случае выхода из строя основного.

Рассмотрим существующие способы решения этих задач.

Первый способ заключается в использовании на хостах динамических протоколов маршрутизации (RIP [1], OSPF [2], EIGRP [3]). Взаимодействуя с маршрутизаторами при помощи протоколов маршрутизации, хосты будут информированы обо всех доступных маршрутизаторах и альтернативных сетевых маршрутах. Очевидно, что данный способ сложен для реализации и совершенно непрактичен в силу следующих причин:

необходимо существование реализаций протоколов маршрутизации для различных платформ;

требуются большие административные усилия для управления и конфигурирования дополнительного программного обеспечения на всех хостах сегмента;

увеличивается служебный трафик от каждого хоста;

требуются дополнительные вычислительные ресурсы на каждом хосте;

медленная реакция некоторых протоколов маршрутизации на возникновение сбойных ситуаций.

Второй способ заключается в использовании расширения протокола управления сообщениями Интернет (Internet Control Message Protocol, ICMP), определяющего сообщения обнаружения маршрутизаторов (*ICMP Router Discovery Messages, IRDM*) [4]. В этом случае хосты получают необходимую информацию, прослушивая периодические IRDM-объявления от маршрутизаторов, или могут запросить доступные маршрутизаторы, отправив IRDM-запрос.

Данному способу присущи следующие недостатки:

необходимо существование реализаций IRDM-клиентов для различных платформ;

требуются административные усилия для конфигурирования дополнительного программного обеспечения на всех хостах сегмента;

увеличивается служебный трафик от каждого хоста;

медленная реакция на возникновение нестандартных ситуаций.

Третий способ заключается в использовании протокола динамической конфигурации хоста (*Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP*) [5], и состоит в том, что адреса маршрутизаторов определяются централизованно на сервере и выдаются хостам в конфигурационном сообщении. Однако главной задачей DHCP является определение механизма автоматической конфигурации хостов, и соответственно этот способ не позволяет обнаруживать сбойные ситуации и осуществлять автоматическую реконфигурацию, а, следовательно, не решает проблему обеспечения отказоустойчивости.

Четвертый способ заключается в использовании хостами в качестве ближайшего маршрутизатора – виртуального маршрутизатора, который фактически представляет собой группу из нескольких физических маршрутизаторов. Этот способ лишен всех перечисленных недостатков первых трех способов, поскольку механизмы обеспечения отказоустойчивости работают на маршрутизаторах и функционируют прозрачно для хостов. Рассмотрим наиболее распространенные средства, основанные на данном способе.

Протокол горячего резерва маршрутизатора (*Hot Standby Router Protocol, HSRP*) был разработан компанией Cisco Systems [6]. Он определяет следующий механизм обеспечения отказоустойчивости. Два или более маршрутизатора, подключенных к одному сегменту сети, объединяются в группу, которая представляет собой виртуальный маршрутизатор с виртуальным IP-адресом. Хосты сегмента сети используют этот виртуальный маршрутизатор в качестве ближайшего маршрутизатора (шлюза по умолчанию). Виртуальному маршрутизатору назначается виртуальный MAC-адрес (0000.0c07.acNN¹, где NN – номер группы от 0 до 255), для того чтобы обеспечить взаимодействие на канальном уровне.

Обмен данными между маршрутизаторами по HSRP осуществляется по групповому адресу 224.0.0.2². Пакеты HSRP инкапсулируются в

¹ Адрес для Ethernet сетей.

² Все маршрутизаторы сегмента.

протокол транспортного уровня UDP и передаются на порт 1985. Пакет HSRP содержит следующие поля: версия протокола, тип сообщения, текущее состояние, интервал отклика, интервал задержки, приоритет, номер группы, данные для аутентификации, виртуальный IP-адрес.

В результате обмена пакетами HSRP один из маршрутизаторов группы выбирается *активным* (*active*), второй переводится в состоя-

ние *горячего резерва* (*standby*), а остальные переводятся в состояние *прослушивания* (*listen*) (рис. 2).

Только активный маршрутизатор осуществляет продвижение данных и откликается на виртуальный IP-адрес. Чтобы мосты и коммутаторы локальной сети "знали", где располагается получатель виртуального MAC-адреса, активный маршрутизатор использует его при рассылке сообщений отклика HSRP.

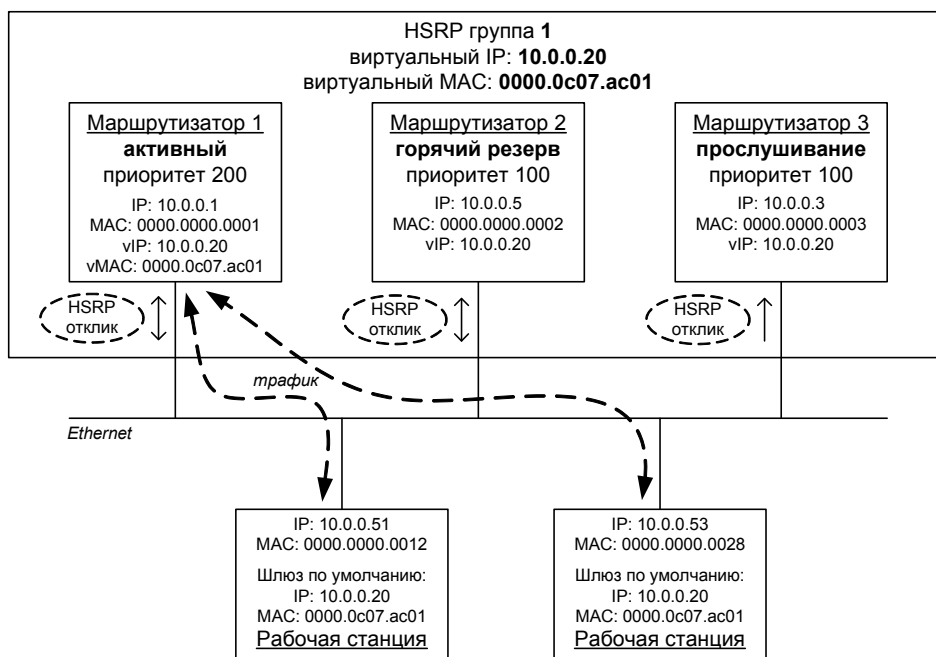


Рис. 2. Взаимодействие маршрутизаторов по HSRP

В случае, если активный маршрутизатор становится недоступным, то маршрутизатор, находящийся в горячем резерве, становится активным. В случае если маршрутизатор, находящийся в горячем резерве становится недоступным или активным, то вместо него выбирается один из маршрутизаторов, находящихся в состоянии прослушивания (рис. 3).

В целях обнаружения и определения доступности маршрутизаторов, поддерживающих HSRP, а также обеспечения механизма определения состояний, каждый маршрутизатор отправляет с определенным интервалом¹ времени сообщение *отклика* (*hello*) HSRP. Чтобы минимизировать HSRP трафик после определения состояний всех маршрутизаторов, сообщения отклика рассылают только активный маршрутизатор и маршрутизатор, находящийся в горячем резерве. Если в течение определенного ин-

тервала² времени сообщение отклика не было получено от маршрутизатора, то он считается недоступным и осуществляется процедура переопределения состояний остальных маршрутизаторов. Таким образом, интервал отклика и интервал задержки определяют скорость реакции на возникновение нештатных ситуаций в работе маршрутизаторов группы. Чтобы обеспечить единые значения³ этих интервалов, существует возможность определить их только для активного маршрутизатора, а остальные будут использовать значения, передаваемые активным маршрутизатором в пакетах HSRP.

Критерием для определения состояний маршрутизаторов являются значение приоритета⁴ и IP-адрес интерфейса маршрутизатора, подключенного к сегменту сети. Чем больше

¹ Интервал отклика (hello time).

² Интервал задержки (hold time).

³ Рекомендованное значение для интервала отклика 3 секунды, а для интервала задержки – 10 секунд.

⁴ Допустимый диапазон значений 0-255.

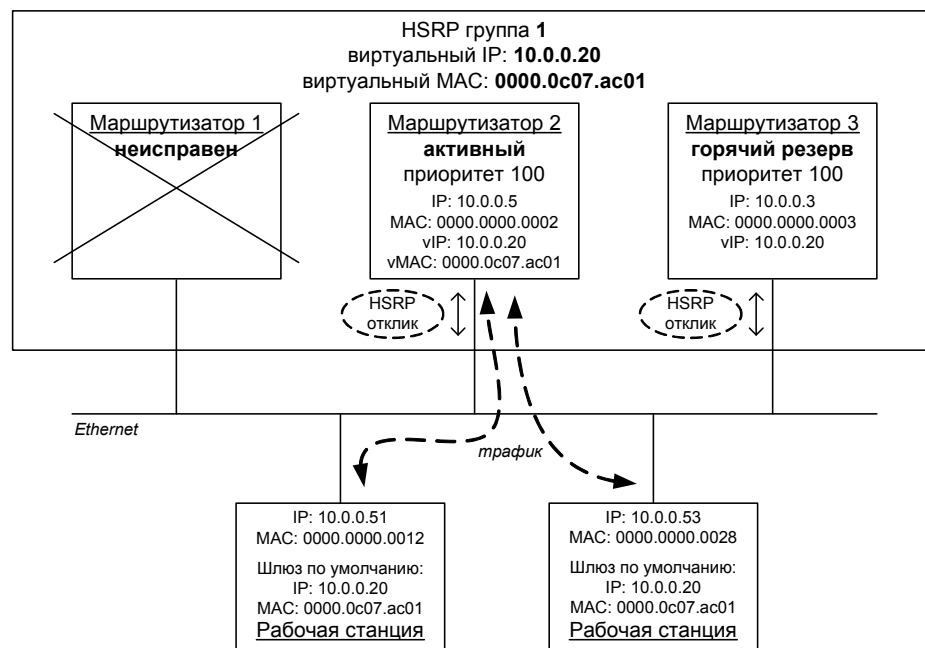


Рис. 3. Реакция на выход из строя оборудования при использовании HSRP

значение приоритета, тем выше приоритет маршрутизатора. В случае равенства значений приоритета, более приоритетным является маршрутизатор с большим IP-адресом. Маршрутизатор с наивысшим приоритетом выбирается активным, а второй по приоритетности переводится в состояние горячего резерва.

Следует заметить, что для одного сегмента сети можно определить несколько независимых групп HSRP на каждом маршрутизаторе, которые будут отождествлять разные виртуальные маршрутизаторы. Это позволяет распределить нагрузку между несколькими маршрутизаторами. Например, в одной группе при помощи значений приоритета активным назначается один маршрутизатор, а во второй группе другой. Однако для того, чтобы трафик продвигался двумя маршрутизаторами одновременно, необходимо распределить виртуальные маршрутизаторы между хостами сегмента, что вызывает значительные административные неудобства.

В [6] описана первая версия HSRP, однако в настоящее время существует еще и вторая версия HSRPv2 [7]. Механизм функционирования второй версии HSRPv2 не отличается от механизма первой. Отличия второй версии HSRPv2 от первой состоят в следующем:

- обмен данными осуществляется по специальному групповому адресу 224.0.0.102;

- максимальное количество групп для одного сегмента сети увеличено до 4096 (0–4095);

- в качестве виртуальных MAC-адресов используются 0000.0c9f.fNNN, где NNN – номер группы;

- в структуру пакета HSRPv2 добавлено поле физического MAC-адреса интерфейса, с которого отправляется пакет, для того, чтобы упростить идентификацию активного маршрутизатора;

- для измерения интервалов времени используются миллисекунды;

- структура пакета HSRPv2 имеет формат TLV (type-length-value).

В качестве альтернативы собственническому протоколу Cisco HSRP был разработан *протокол избыточности виртуального маршрутизатора (Virtual Router Redundancy Protocol, VRRP)*, который определен в стандартах IETF [8, 9]. Алгоритм работы VRRP аналогичен HSRP за исключением небольших функциональных различий и несколько иной используемой терминологии.

Основные отличия VRRP от HSRP состоят в следующем:

- обмен данными осуществляется по специальному групповому адресу 224.0.0.18;

- VRRP работает поверх протокола IPv4 и имеет собственный номер протокола – IANA 112;

- допустимый диапазон значений приоритета 1–254;
- в качестве виртуальных MAC-адресов используются 0000.5e00.01NN, где NN – номер группы;
- маршрутизатор группы, осуществляющий продвижение данных, называется *мастером (master)*, а остальные – *дублерами (backups)*;
- VRRP объявления (*advertisements*) рассылаются только мастер-маршрутизатором (интервал по умолчанию 1 секунда);
- мастер-маршрутизатор считается недоступным, если от него не поступало объявлений в течение трех интервалов.

Позднее разработчиками команды OpenBSD был разработан *протокол избыточности общего адреса (Common Address Redundancy Protocol, CARP)* [10], который является свободной и безопасной альтернативой HSRP и VRRP. Поддержка CARP была включена в операционные системы FreeBSD и NetBSD. CARP позволяет выделить группу хостов в сегменте сети и назначить ей один IP-адрес. В пределах этой группы один из хостов назначается главным, а остальные резервными. Главный хост отвечает на ARP-запросы определения назначенного IP-адреса и обрабатывает трафик, передаваемый на этот адрес. Каждый хост одновременно может принадлежать нескольким группам. CARP поддерживает распределение нагрузки таким образом, что когда хосты, объединенные в CARP-группу, принимают ARP-запрос, используется IP-адрес отправителя для определения, какой из хостов будет отвечать на этот запрос.

Протокол распределения нагрузки шлюза. При существовании избыточности сетевого оборудования и каналов связи во многих случаях имеет смысл распределить нагрузку по имеющимся ресурсам таким образом, чтобы наряду с отказоустойчивостью обеспечивалась максимальная производительность. Распределение нагрузки по нескольким маршрутизаторам можно организовать при помощи рассмотренных выше протоколов HSRP и VRRP. При использовании нескольких групп (виртуальных маршрутизаторов) в одном сегменте можно распределить продвижение трафика между несколькими физическими маршрутизаторами. Для этого необходимо разделить множество хостов сегмента сети на логические группы и переконфигурировать их таким образом, чтобы хосты разных групп использовали разные вир-

туальные маршрутизаторы. Очевидно, что для осуществления этого потребуется либо дополнительное административное вмешательство, как в конфигурацию маршрутизаторов, так и в конфигурацию всех хостов сегмента сети, либо использование дополнительного интеллектуального сетевого программного обеспечения.

В целях обеспечения отказоустойчивости и автоматизации механизма распределения нагрузки, компанией Cisco Systems был разработан *протокол распределения нагрузки шлюза (Gateway Load Balancing Protocol, GLBP)* [11, 12], основанный на HSRP. Главное отличие GLBP от HSRP заключается в том, что в одной группе маршрутизаторов, отождествляющей один виртуальный маршрутизатор, продвижение трафика могут осуществлять *одновременно* несколько (от одного до четырех¹) маршрутизаторов. Рассмотрим терминологию и механизм функционирования GLBP.

Маршрутизаторы группы, осуществляющие продвижение трафика, называются *активными виртуальными форвардерами (Active Virtual Forwarder, AVF)*, каждому из которых назначается виртуальный MAC-адрес (0007.b4NN.NNRR, где NNNN – номер группы от 0 до 1023, RR – номер экземпляра виртуального форвардера) для того, чтобы обеспечить взаимодействие на канальном уровне. Обмен данными по GLBP осуществляется по групповому адресу 224.0.0.102. Пакеты GLBP инкапсулируются в протокол UDP и передаются на порт 3222. Структура пакета GLBP имеет формат TLV.

В группе выбирается один *активный виртуальный шлюз (Active Virtual Gateway, AVG)*, который в ответ на ARP-запросы хостов для определения MAC-адреса, соответствующего виртуальному IP-адресу (виртуальному маршрутизатору), выдает (в зависимости от используемого способа распределения нагрузки) разные виртуальные MAC-адреса, соответствующие разным AVF. Таким образом, AVG осуществляет распределение нагрузки между AVF, и продвижение трафика от разных хостов сегмента сети осуществляют разные маршрутизаторы. AVG также отвечает за назначение виртуальных MAC-адресов соответствующим AVF (рис. 4).

¹ Данное ограничение является чисто практическим, теоретический максимум для текущей версии протокола составляет 255.

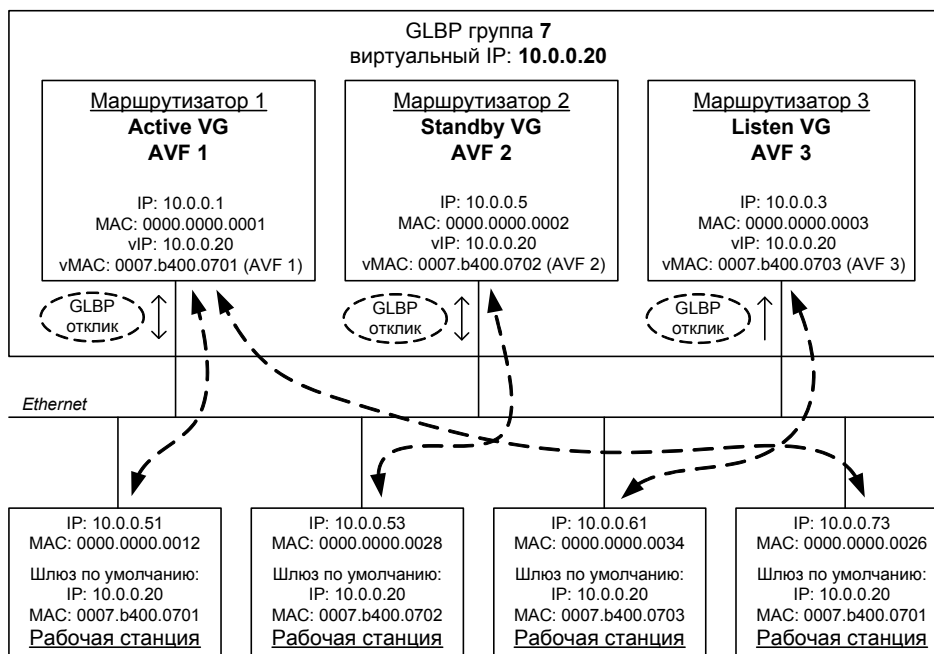


Рис. 4. Взаимодействие маршрутизаторов по GLBP

Отказоустойчивость AVG обеспечивается также, как в HSRP:

- выбирается один виртуальный шлюз горячего резерва (Standby VG);
- в случае, если AVG становится недоступным, то виртуальный шлюз горячего резерва становится AVG;
- в случае, если виртуальный шлюз горячего резерва становится недоступным или актив-

ным, то вместо него выбирается наиболее приоритетный из маршрутизаторов, находящихся в состоянии прослушивания (рис. 5).

Отказоустойчивость AVF обеспечивается следующим образом. Каждый виртуальный форвардер, получивший виртуальный MAC-адрес от AVG, становится активным (AVF) и называется *первичным виртуальным форвардером* (Primary Virtual Forwarder, PVF) для соот-

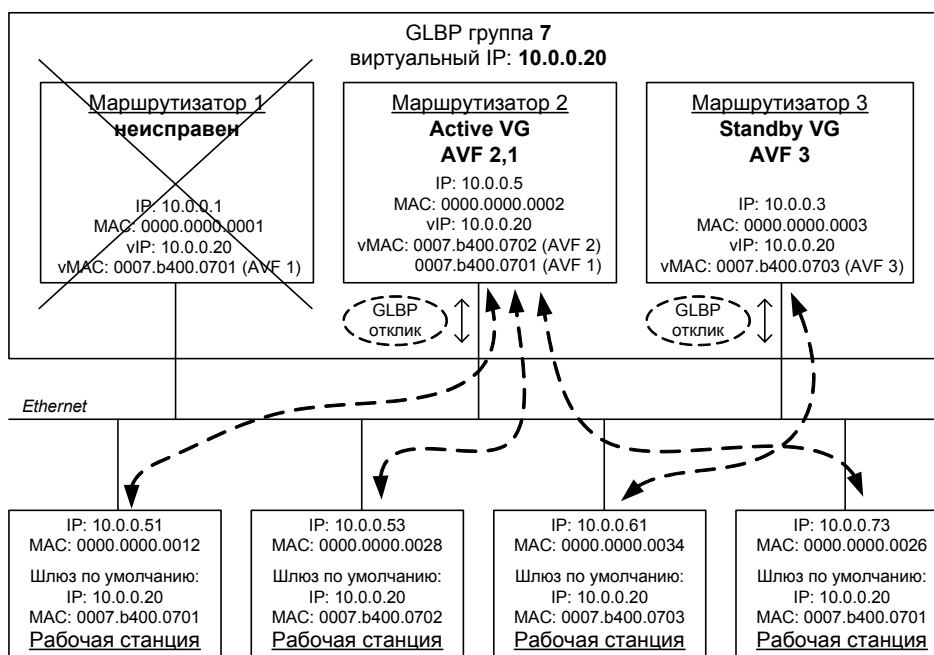


Рис. 5. Реакция на выход из строя оборудования при использовании GLBP

ветствующего экземпляра виртуального форвардера, а все остальные маршрутизаторы группы переводятся в состояние прослушивания и являются *вторичными виртуальными форвардерами* (*Secondary Virtual Forwarder*) для этого экземпляра. Если в течение интервала задержки (hold time) сообщение отклика GLBP не было получено от AVF, то он считается недоступным и его функции по продвижению трафика начинает выполнять наиболее приоритетный из SVF. Таким образом, этот SVF становится AVF для соответствующего экземпляра виртуального форвардера и откликается на назначенный этому экземпляру виртуальный MAC-адрес (рис. 5).

В GLBP используются два дополнительных интервала, которые необходимы для обеспечения прозрачности работы виртуального маршрутизатора в случаях отказа AVF:

- интервал перенаправления (redirect time). В течение этого интервала AVG продолжает выдавать на ARP-запросы хостов виртуальный MAC-адрес недоступного виртуального форвардера;

- вторичный интервал задержки (secondary hold time). В течение этого интервала SVF, выполняющий функции недоступного виртуального форвардера, продолжает откликаться на его виртуальный MAC-адрес. По истечении этого интервала недоступный экземпляр виртуального форвардера удаляется.

Предусмотрены следующие способы распределения нагрузки между несколькими AVF:

- *циклический* (round-robin) – когда виртуальные MAC-адреса каждого AVF выдаются на ARP-запросы по очереди;

- *хост-ориентированный* (host dependant) – когда в ответ на ARP-запрос экземпляр AVF определяется в зависимости от хоста, отправившего запрос. Для одного и того же хоста всегда будет выдаваться один и тот же виртуальный MAC-адрес, то есть будет использоваться один и тот же AVF;

- *взвешенный* (weighted) – когда каждому маршрутизатору назначается определенный вес, и частота использования конкретного AVF зависит от отношения его веса к суммарному весу всех AVF (чем больше вес, тем чаще используется).

З а к л ю ч е н и е. Рассмотренные средства и механизмы обеспечения отказоустойчивости и распределения нагрузки используются на граничных маршрутизаторах, подключенных к сегментам уровня доступа локальной сети, в которых присутствуют конечные устройства сети. На магистральных и промежуточных маршрутизаторах отказоустойчивость и распределение нагрузки на сетевом уровне осуществляется при помощи современных протоколов и методов маршрутизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Malkin, G. RIP Version 2 / RFC 2453. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc2453.txt>.
2. Moy, J. OSPF Version 2 / RFC 2328. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.
3. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol. Document ID: 16406 / Cisco Systems, Inc. – <http://www.cisco.com>.
4. Deering, S. ICMP Router Discovery Messages / RFC 1256. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc1256.txt>.
5. Droms, R. Dynamic Host Configuration Protocol / RFC 2131. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc2131.txt>.
6. Li, T., Cole, B., Morton, P., Li, D. Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP) / RFC 2281. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc2281.txt>.
7. Hot Standby Router Protocol Version 2 / Cisco Systems, Inc. – <http://www.cisco.com>.
8. Knight S., Weaver D., Whipple D., Hinden R., Mitzel D., Hunt P., Higginson P., Shand M., Lindem A. Virtual Router Redundancy Protocol / RFC 2338. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc2338.txt>.
9. Hinden, R. Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) / RFC 3768. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc3768.txt>.
10. Common Address Redundancy Protocol. – <http://www.openbsd.org>.
11. GLBP – Gateway Load Balancing Protocol / Cisco Systems, Inc. – <http://www.cisco.com>.
12. Gateway Load Balancing Protocol Overview. White Paper / Cisco Systems, Inc. – <http://www.cisco.com>.

УДК 629.73

А. А. Фролов, С. В. Гирич, В. П. Заярный

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН СВЧ-ДИАПАЗОНА

Волгоградский государственный технический университет (zvp2000@mail.ru)

Получены результаты исследования широкополосных коротких антенн на основе антенн Вивальди, выполненных в виде симметричной щелевой линии передачи с шириной раскрытия, изменяющейся по экспоненциальному закону. Проведён анализ диаграмм направленности, полученных для одиночного излучателя, изучено влияние его геометрических параметров на форму диаграмм направленности и широкополосность.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты (СВЧ), волноведущая структура, диаграмма направленности, излучатель, фазированная антенная решетка, плавниковая линия

A. A. Frolov, S. V. Girich, V. P. Zaiarniy

CHARACTERISTICS OF MICROWAVE BAND ANTENNAS MODELING

The results research of broadband short antennas include antenna vivaldi, made as symmetrical transmission slotline with exponential law changing aperture width are found. The analysis of directional diagram was getting for radiating element, and influence it's geometrics on the directional diagram configuration and broadband response was researched.

Microwave Band (MWB), Waveguiding Structure, Directional Diagram, Radiating Element, Phased Antenna Array, Fin Line

Перспективным и актуальным в настоящее время является решение проблемы получения, передачи и обработки больших объемов информации в режиме реального времени на больших расстояниях. Эффективным путем решения подобных задач является применение широкополосных радиотехнических средств сверхвысоких и крайне высоких частот. Важнейшим функциональным блоком у подобных радиотехнических средств, требующим повышения широкополосности, являются антенны и антенные системы, изучение характеристик которых с применением математического моделирования имеет принципиальное значение при разработке их новых образцов.

Решение подобных задач возможно на основе антенных систем (решеток), например, состоящих из излучающих элементов типа антенн Вивальди [1, 2]. Основным свойством этих антенн является их широкополосность и возможность создания на их основе компактных и практических конструкций.

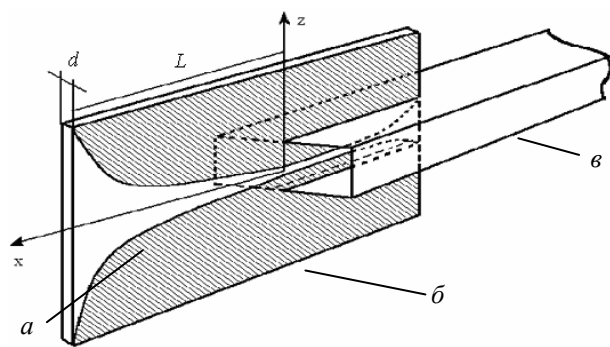


Рис. 1. Внешний вид исследовавшейся антенны Вивальди: *a* – диэлектрическая подложка; *b* – металлическая фольга; *в* – волновод

Исследовавшиеся образцы антенн Вивальди (рис. 1) представляли собой диэлектрические подложки *a* толщиной *d*, покрытые металлической фольгой *b*. С целью исключения влияния подложки на характеристики антенны, для ее изготовления выбирался материал, имеющий диэлектрическую проницаемость ϵ близкую к единице. Закон изменения формы раскрыва антенны был принят экспоненциальным:

$$z = \pm 0,125 \cdot \exp(0,052 \cdot x), \quad (1)$$

где *x* и *z* – текущие координаты направляющей структуры антенны, мм.

Построение строгих электродинамических моделей антенн, подобных исследовавшимся (на нерегулярных линиях) в общем случае является сложной задачей. Однако если положить, что в направляющей структуре распространяется только один тип волны (*E* или *H*), что справедливо для не изменяющегося поперечного сечения щели, то в этом случае можно

использовать подход для расчета параметров симметричной щелевой линии [2]. В нашем случае изменение поперечного сечения вдоль направляющей структуры антенны является плавным, поэтому была произведена его регуляризация для конечного числа участков, что позволило применить для них известные модельные представления и по их суммарному вкладу рассчитать диаграмму направленности (ДН) всей антенны.

Направляющая структура антенны, состоящая из участков регулярных щелевых антенн с постоянной шириной раскрыва, показана на рис. 2. Для такой ступенчатой аппроксимации нерегулярной структуры предполагается, что шаг увеличения ширины щели много меньше четверти длины волны излучения:

$$w_n - w_{n-1} = w_{n+1} - w_n = \Delta w \ll \frac{\lambda_0}{4}, \quad (2)$$

где w_n – ширина щели *n*-го регулярного участка направляющей структуры антенны, λ_0 – длина волны электромагнитных колебаний на входе антенны.

Исследовавшиеся антенны являются короткими, максимальная длина регулярных участков бралась $\lambda_0 / 8$.

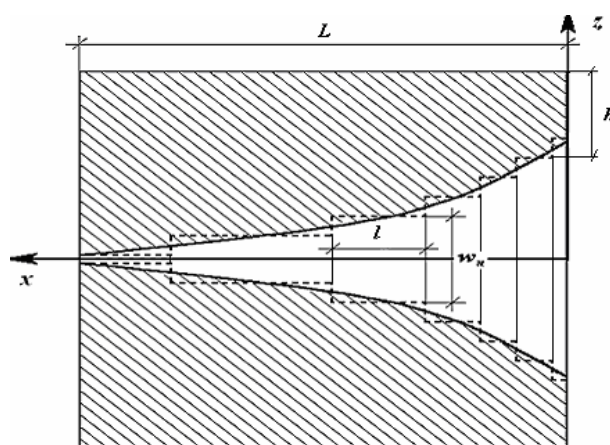


Рис. 2. Аппроксимация расширяющейся направляющей структуры антенны регулярными участками

При моделировании ДН антенн для указанных выше их параметров, в основу модельных представлений были положены следующие рассуждения. Связь переносимой мощности в щели *P* с электромагнитным полем в линии вдоль оси *x* $E_x(0)$ и ее волновым сопротивлением на данной частоте Z_ϵ определяется выражением:

$$P = \frac{|E_x(0)|^2}{Z_\epsilon}. \quad (3)$$

Как показано в [1, 2], поперечная компонента электрической напряженности электромагнитного поля для i -го регулярного участка антенны (рис. 2) будет определяться следующим выражением:

$$E_x^i(x', z') = e^{jk_x^i z'} \left(\frac{2\sqrt{Z_a^i}}{\pi w^i} \right) \sum_{n=1}^{M_x^i} \frac{a_n^i T_{2(n-1)} \left(\frac{2x'}{w^i} \right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x'}{w^i} \right)^2}} \equiv e^{jk_x^i z'} E_a^i(x'), \quad (4)$$

$$\text{где } E_a^i(x') = \left(\frac{2\sqrt{Z_a^i}}{\pi w^i} \right) \sum_{n=1}^{M_x^i} \frac{a_n^i T_{2(n-1)} \left(\frac{2x'}{w^i} \right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x'}{w^i} \right)^2}}. \quad (5)$$

Здесь x' , z' – текущие координаты поля, w – ширина щели соответствующего участка антенны; k_x^i – волновой вектор вдоль оси x ; a_n^i – амплитуды базисных функций для соответ-

ствующих участков антенны; T – полином Чебышева; M – количество гармоник поля для полинома Чебышева.

Для расчета поля по формуле (4) необходимо выразить все коэффициенты a_n^i через a_1^i . При этом полагаем, что $a_1^i = 1$, так как в нашем случае имеет место задача на собственные значения, а не на возбуждение.

Результирующее поле в дальней зоне будет определяться суммарным вкладом в излучение, вносимым каждым регулярным участком:

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N E_n(\theta, \varphi),$$

где $E_n(\theta, \varphi)$ – вклад n -го регулярного участка направляющей структуры антенны в поле дальней зоны.

Расчетные формулы для нахождения электрической составляющей напряженности электромагнитного поля в E - и H -плоскостях в данном случае будут иметь вид соответственно:

$$E_\theta^i(\theta) = E_a^i(k_0 w^i \cos \theta) \sqrt{\frac{2}{\sin \theta}} \left[e^{-jk_0 L c^i} \left\{ \frac{F^*(u_h^i) - F^*(u_l^i)}{\sqrt{c^i - \sin \theta}} \right\} + \Gamma e^{jk_0 L c^i} \left\{ \frac{F^*(\bar{u}_h^i) - F^*(\bar{u}_l^i)}{\sqrt{c^i + \sin \theta}} \right\} \right]; \quad (6)$$

$$E_\theta^i(\varphi) = E_a^i(0) \left[\frac{e^{-jk_0 L c^i}}{(c^i + \cos \varphi)} \left\{ \sin \varphi \left[F(p_h^i) e^{jv_h^i} - F(p_l^i) e^{jv_l^i} \right] + \sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) \sqrt{2(c^i - 1)} \left[F(q_h^i) - F(q_l^i) \right] \right\} - \right. \\ \left. - \Gamma \frac{e^{jk_0 L c^i}}{(c^i - \cos \varphi)} \left\{ \sin \varphi \left[F(p_h^i) e^{j\bar{v}_h^i} - F(p_l^i) e^{j\bar{v}_l^i} \right] - \sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) \sqrt{2(c^i + 1)} \left[F(\bar{q}_h^i) - F(\bar{q}_l^i) \right] \right\} \right], \quad (7)$$

где Γ – гамма-функция, x_l^i и x_h^i – нижняя и верхняя координаты i -го участка; $F(\bullet)$ – интеграл Френеля, определяемый соотношением:

$$F(v) = \int_0^v \frac{e^{-jt}}{\sqrt{2\pi t}} dt,$$

первый множитель в (6) и (7), определяемый выражением:

$$E_a^i(\bullet) = \sqrt{Z_0} J_0(\bullet),$$

где $J_0(\bullet)$ – функция Бесселя.

Остальные компоненты, входящие в (6), (7), определяются выражениями:

$$\begin{aligned} c^i &= (\lambda_0 / \lambda')_i; & k_0 &= 2\pi / \lambda_0; \\ u_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i - \sin \theta); & \bar{u}_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i + \sin \theta); \\ v_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i + \cos \varphi); & \bar{v}_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i - \cos \varphi); \\ q_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i - 1); & \bar{q}_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (c^i + 1); \\ p_{h,l}^i &= k_0 x_{h,l}^i (1 + \cos \varphi). \end{aligned}$$

где λ' – длина волны в пределах соответствующего регулярного участка антенны.

Для расчетов за основу бралась антенна, направляющая структура которой определялась выражением (1) и имевшая $L = 30$ мм. Рассчитанные по приведенным выше соотношениям ДН исследуемых антенн в плоскостях E и H , приведены на рис. 3.

Для аналогичных антенн Вивальди с такими же параметрами на частоте 10 ГГц производилось измерение ДН опытным путем. Сравнительный анализ опытных данных и результатов моделирования показал, что имевшие при этом место расхождения ДН не превышали 6 %. Наилучшим образом результаты совпадают в случае, когда значение $\Delta w = \lambda_0 / 8$ (при этом расхождения не превышали значения 1 %). Это свидетельствует об адекватности полученных

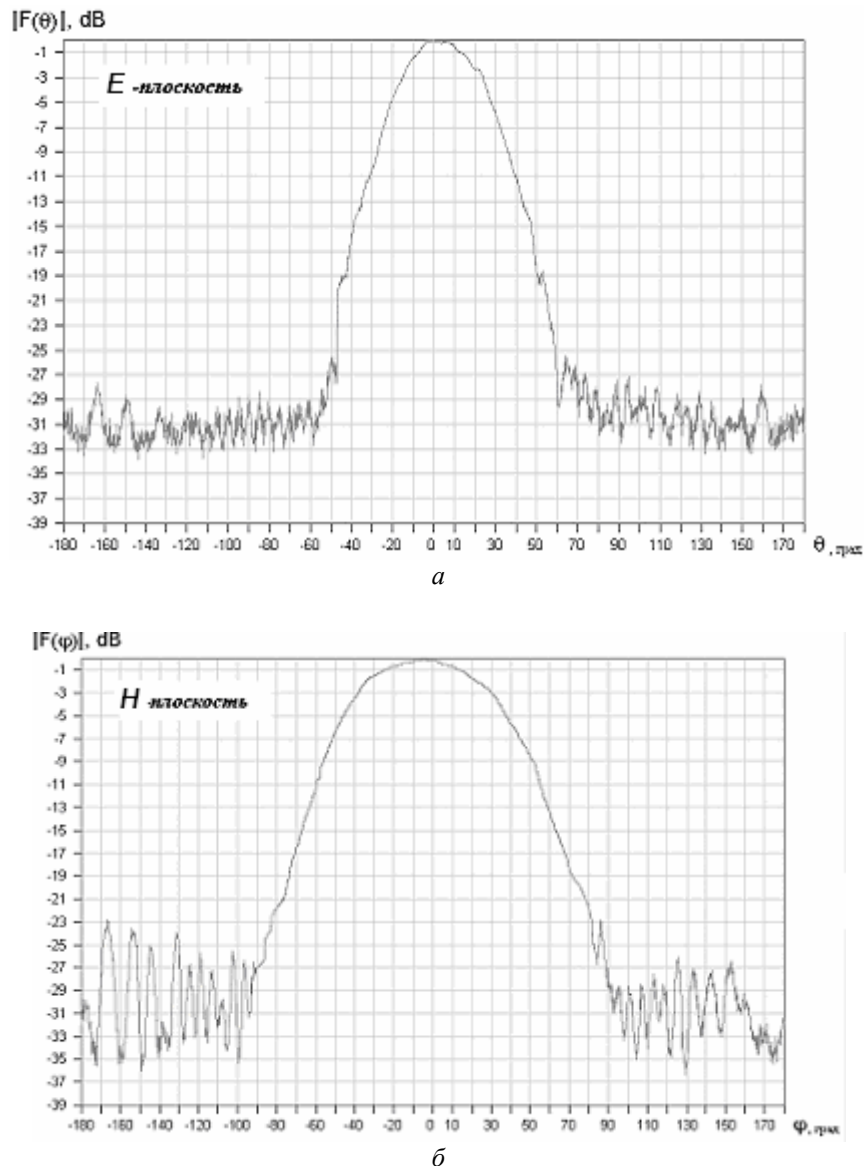


Рис. 3. Диаграммы направленности антенны Вивальди на частоте 10 ГГц:
а – в плоскости E ; б – в плоскости H

модельных представлений и возможности их использования для моделирования ДН подобных антенн с другими параметрами, а также ДН более сложных антенных систем (решеток) на их основе.

В [6] показано, что корректное использование приведенных выше модельных представлений уместно только в случае, когда длина направляющих структур антенны Вивальди не превышает длину излучаемой волны (то есть $L \leq \lambda$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bhat, B., Koul, S. // Analysis, design and applications of fin lines: Artech House. 1987.
2. Janaswamy, R., Schaubert, D. // Analysis of the tapered slot antenna. IEEE Trans. AP. 1987. V. 35. P. 1058–1065.
3. Гирич, С. В. Короткие антенны поверхностной волны на симметричной щелевой линии передачи / С. В. Гирич, А. А. Фролов, Ю. А. Домаев // Физика и технические приложения волновых процессов; Тезисы докладов и сообщений / Под. ред. В. А. Неганова и Г. П. Ярового. – II международная научно-техническая конференция, Самара. – 2003.

УДК 519.688

Р. Р. Шарипов, В. П. Заярный
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ПЕРЕДАВАЕМОЙ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет (james1401@yandex.ru, zvp2000@mail.ru)

В данной статье для сокрытия используются речевые образы в качестве контейнеров для хранения информации. Используется вейвлет-преобразование с использованием вейвлета Хаара в качестве порождающего вейвлета. Загрузка сигнала производится с помощью обратного, а извлечение с помощью прямого преобразования.

Ключевые слова: защита информации, вейвлет-преобразование.

R. R. Sharipov, V. P. Zayarny

ABOUT AN OPPORTUNITY OF USE OF SPEECH SIGNALS FOR PROTECTION OF THE TRANSMITTED
DIGITAL INFORMATION

In given paper for concealment the speech images are used as containers for a storage of the information. The Wavelet Transform with use Haar wavelet as generative wavelet is used. The loading of a signal is made with the help opposite, and extraction with the help of direct transformation.

Protection of the information, Wavelet Transform

В современных условиях интенсивное проникновение информационных технологий в такие сферы, как промышленность, бизнес, торговля и другие предполагает решение проблемы обеспечения надежной защиты передаваемой и принимаемой информации от несанкционированного доступа. С этой целью прибегают либо к ограничению доступа к передаваемой информации, либо скрывается сам факт существования передаваемой информации. Возможно использование и того, и другого. При реализации второго способа известны, например, методы обеспечения защиты информации с использованием визуальных образов (изображений) в качестве контейнеров для передачи информации. Целью данной работы является изучение возможности использования речевых образов (сигналов) в качестве подобных контейнеров.

Для решения поставленной задачи воспользуемся одним из многих (около 50) вейвлет-преобразований – преобразованием Хаара. Оно подробно описано в литературе [1, 2]. Это преобразование в отличие от других вейвлет-преобразований обладает высоким быстродействием и относительной простотой. Суть его в следующем. Пусть имеем произвольный оцифрованный аналоговый сигнал, представленный в компьютере в виде соответствующего массива из N отсчетов:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i$$

Каждый из этих отсчетов можно разложить по схеме, представленной на рис. 1 (в общем случае – многоуровневой). В этой схеме $V^{(j)}$ – элементы низкочастотной составляющей исходного сигнала на j -том уровне разложения; $W^{(j)}$ – вейвлет-коэффициенты исходного сигнала на j -том уровне разложения.

Указанные элементы разложения определяются следующим образом:

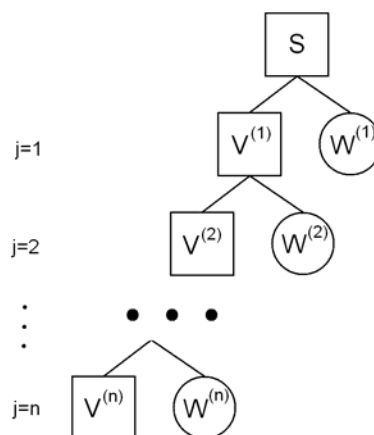


Рис. 1. Схема разложения сигнала до уровня $j=n$

$$V_k^{(j)} = \frac{V_{2i}^{(j-1)} + V_{2i+1}^{(j-1)}}{2}, \quad (1)$$

$$W_k^{(j)} = \frac{V_{2i}^{(j-1)} - V_{2i+1}^{(j-1)}}{2}, \quad (2)$$

где i, k – порядковые номера элементов разложения и вейвлет-коэффициентов для уровней разложения соответственно.

Произведенное выше преобразование исходного сигнала есть прямое вейвлет-преобразование. Обратное вейвлет-преобразование, в соответствии с [1, 2], заключается в определении отсчетов исходного сигнала S по известным значениям элементов V_i и W_i согласно формулам:

$$V_{2i}^{(j-1)} = V_i^{(j)} + W_i^{(j)}; \quad (3)$$

$$V_{2i+1}^{(j-1)} = V_i^{(j)} - W_i^{(j)}; \quad (4)$$

В нашем случае, для реализации предлагаемого способа обеспечения защиты передаваемой информации достаточно произвести одноуровневое вейвлет-преобразование. При этом в формулах (1)–(4) $V_i^{(0)} = S_i$. Идея предлагаемого подхода заключается в следующем. Пусть имеем речевой сигнал (сигнал-контейнер) $S_p =$

$= \sum_{i=0}^N S_{pi}$ и передаваемый сигнал, для которого

необходимо обеспечить защиту от несанкционированного доступа при его передаче адресату

$S_I = \sum_{i=0}^N S_{Ii}$. При этом амплитудный диапазон

изменения передаваемого сигнала S_I берется порядка 10^{-5} от диапазона изменения основного сигнала. Вводимая оцифрованная информация представляет собой звуковой файл в формате wav. Структура этого формата устроена таким образом, что для каждого отсчета выделяется 4 байта, то есть информация представляется 32-разрядными значениями. Следовательно, каждый отсчет может принимать значения от 0 до 4,294,967,295, а 10^{-5} от этого диапазона соответственно от 0 до 42,949. Такой диапазон позволяет хранить речевой сигнал, не говоря уже об изображениях (для которых, как известно, вполне достаточно диапазона от 0 до 255 на каждую из трех составляющих) и тексте, для которого требуется значительно меньший диапазон. Изначально в процессе эксперимента сигнал-контейнер и полезный сигнал представляли собой 32-разрядные речевые сигналы, равные по амплитуде. Затем полезный сигнал уменьшался по амплитуде до 10^{-5} от исходного и загружался в контейнер. Проведенный эксперимент показал, что подобное уменьшение амплитуды речевого сигнала практически не сказывается на его информативности. После расшифровки полезный сигнал усиливался до исходного значения амплитуды.

В формулах обратного вейвлет-преобразования (3), (4) за низкочастотную составляющую берутся отсчеты сигнала-контейнера S_{pi} , а за вейвлет-коэффициенты – отсчеты сигнала S_{Ii} , то есть $V_i = S_{pi}$; $W_i = S_{Ii}$.

Таким образом, для загрузки контейнера используется обратное вейвлет-преобразование, при этом формулы (3) и (4) для случая одноуровневого преобразования будут иметь вид:

$$V_{2i}^{(0)} = S_{2i} = V_i^{(1)} + W_i^{(1)};$$

$$V_{2i+1}^{(0)} = S_{2i+1} = V_i^{(1)} - W_i^{(1)}.$$

После передачи загруженного контейнера по линиям цифровой связи на приемной стороне производится выделение передаваемого сигнала (изъятие из контейнера) с применением прямого вейвлет-преобразования. В этом случае формулы (1) и (2) примут вид:

$$V_k = \frac{S_{2i} + S_{2i+1}}{2}, \quad W_k = \frac{S_{2i} - S_{2i+1}}{2}.$$

Иллюстрация этого процесса в виде схемы приведена на рис. 2.

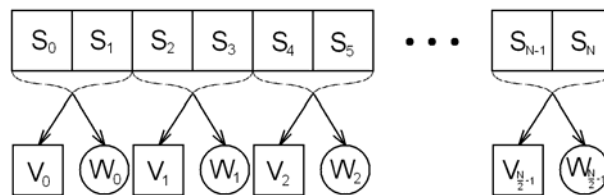


Рис. 2. Выделение передаваемого сигнала из загруженного контейнера

Видно, что количество отсчетов передаваемого сигнала при восстановлении примерно в два раза меньше, чем в исходном. Следовательно, на передающей стороне изначально предполагается, что частота дискретизации передаваемого сигнала S_I не менее чем в два раза выше частоты дискретизации, рассчитанной по теореме Котельникова [3], что без труда реализуется современными средствами оцифровки аналогового сигнала. Следует отметить, что дополнительную информацию (частота дискретизации и пр.) также можно загрузить в сигнал-контейнер вместе с полезным сигналом и использовать эту информацию при восстановлении полезного сигнала.

Приведенные преобразования положены в основу алгоритма, практическая реализация которого успешно осуществлена, и подтверждает принципиальную возможность использования данного подхода для защиты передаваемой цифровой информации от несанкционированного доступа. Спектральный анализ речевого сигнала для случаев пустого и загруженного контейнеров с применением быстрого преобразования Фурье [3] показал, что спектр сигнала остается в пределах 20 кГц, и искажение после загрузки контейнера не превышает 10^{-2} %. Такой уровень искажения фактически не воспринимается человеческим ухом.

Степень защищенности передаваемого сигнала при таком подходе можно существенно повысить, если использовать многоуровневое преобразование ($j > 1$), а также производя загрузку контейнера в процессе передачи речевого сигнала в течение длительного времени, в реальном масштабе времени. Степень защиты информации можно кардинально повысить, используя файл-ключ, создаваемый в ходе работы программы, передавая его либо по параллельному каналу, либо загружая в контейнер вместе с сигналом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Переберин, А. В.* Многомасштабные методы синтеза и анализа изображений: Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук, 2002. 138 с.

2. *Воробьев, В. И.* Теория и практика вейвлет-преобразования / В. И. Воробьев, В. Г. Грибунин. – СПб.: ВУС, 1999.

3. *Баскаков, С. И.* Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. М.: Высшая школа, 1988.

УДК 621.3.082.534

А. Н. Шилин, М. И. Гонжал

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Волгоградский государственный технический университет (eltech@vstu.ru, mikegonzhal@gmail.com)

При проектировании оптико-электронных измерительных приборов часто возникает задача обоснованного выбора из различных вариантов схемы включения фотоприемника, обеспечивающей необходимую точность преобразования оптического сигнала. Характеристики преобразования большинства фотоприемников нелинейны. В статье приводится методика расчета фотоэлектрических цепей, позволяющая еще на начальной стадии проектирования оценить погрешности измерений.

Ключевые слова: оптико-электронные измерительные приборы, фотоприемник, фотоэлектрическая цепь

A. N. Shilin, M. I. Gonzhal

MODELLING OF NONLINEAR PHOTO-ELECTRIC CHAINS

In the design of opto-electronic measuring instruments often it is need to solve the task of valid choice from a variety of options to coupling photodetector that provides the necessary accuracy of the optical signal conversion. Characteristics of the transformation of most photodetectors are nonlinear. The article provides a methodology for calculating the PV chain, allowing to assess the measurement error even at initial design stage.

Optiko-electronic measuring devices, photodetector, photo-electric chain

При проектировании оптико-электронных измерительных приборов часто возникает задача обоснованного выбора из различных вариантов схемы включения фотоприемника, обеспечивающей необходимую точность преобразования оптического сигнала. Для фоторезисторов можно выделить следующие основные схемы: деления напряжения, мостовую, дифференциальную, трансформаторную и импульсную.

Уравнение преобразования фоторезистора, связывающее фототок I_Φ с напряжением U_Φ и световым потоком Φ , падающим на фоторезистор имеет следующий вид [1]:

$$I_\Phi = CU_\Phi^\gamma \Phi^\alpha \quad (1)$$

где C – коэффициент, определяемый свойствами материала и конструкцией фоторезистора; γ и α коэффициенты нелинейности вольт-амперной и световой характеристик.

В связи с тем, что $\alpha \neq 1$, световая характеристика фоторезисторов имеет существенную нелинейность, аналитический расчет вышеуказанных схем затруднен.

Например, для схемы деления напряжений необходимо совместно решать уравнение (1) и уравнение нагрузочной прямой (2):

$$U_{\Phi n} = U_{ист} - I_\Phi R_n, \quad (2)$$

где $U_{\Phi n}$ – напряжение на фотоприемнике; $U_{ист}$ – напряжение источника питания; I_Φ – ток в цепи фотоприемника; R_n – сопротивление нагрузки.

В связи с этим при расчете целесообразно применять численные методы решения нелинейных уравнений. Одним из таких методов является метод секущих, позволяющий находить кратные корни уравнения и имеющий вы-

сокую скорость сходимости по сравнению с другими методами.

Нелинейность световых характеристик фоторезисторов является существенным недостатком, ограничивающим область их применения. Если для проектируемого прибора в качестве фотоприемника по основным параметрам наиболее подходит фоторезистор или другой фотоприемник с нелинейной характеристикой, то необходимо выбирать участок характеристики с минимальной нелинейностью. В этом случае будет получен наибольший эффект при коррекции мультипликативной составляющей погрешности.

Линейность световой характеристики обычно оценивается коэффициентом линейности k_λ , определяемым соотношением [1]

$$k_\lambda = \frac{I_{\Phi 1}/I_{\Phi 2}}{E_1/E_2}, \quad (3)$$

где $I_{\Phi 1}$ и $I_{\Phi 2}$ – фототок в цепи; E_1 и E_2 – соответствующие значения освещенности, которые выбираются таким образом, чтобы их значения отличались в 3 раза [1].

На рис. 2 показаны световые характеристики $I_\Phi(\Phi)$ схемы деления напряжения при различных значениях сопротивления R_n , построенные с применением метода секущих и нормированием единичного значения.

По результатам проведенного моделирования нелинейность характеристики увеличивается с ростом сопротивления нагрузки, а расчетные данные позволяют выбирать участок, на котором обеспечивается заданная точность измерений. Однако недостатком является необходимость корректировки параметров схемы для выхода на рабочую точку.

В тех случаях, когда схема включения фотоприемника значительно сложнее, целесообразно при расчетах и выводе соотношений использовать метод эквивалентного генератора, позволяющий привести схему к такому виду, когда ток в искомой ветви I будет определяться соотношением:

$$I = \frac{U_{xx}}{R_{вх} + R_{н}}, \quad (4)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода на выходе активного двухполюсника; $R_{вх}$ – входное сопротивление пассивного двухполюсника; $R_{н}$ – сопротивление нагрузки в искомой ветви.

Таким образом, методика расчета схем становится единообразной, что позволяет сравнивать результаты и прогнозировать точность.

Для примера рассмотрим мостовую схему, реализующую метод неуравновешенного моста (рис. 1, а) [2]. Сущность метода заключается в том, что после подачи на фоторезистор измеряемого светового потока о его величине судят только по изменению тока в диагонали.

Воспользуемся методом эквивалентного генератора и перейдем к схеме активного двухполюсника (рис. 1, б).

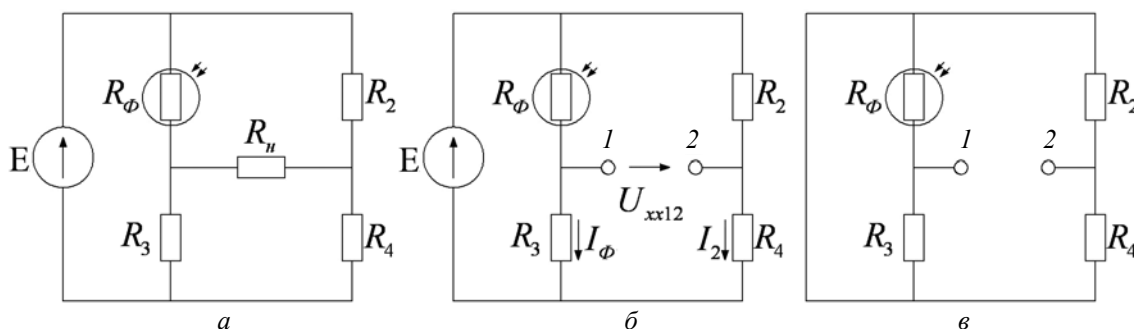


Рис. 1. Мостовая схема

Напряжение холостого хода на зажимах 1 и 2 определяются соотношением:

$$U_{xx12} = I_{\phi} R_3 - I_2 R_4 = I_{\phi} R_3 - R_4 \frac{U_{ист}}{R_2 + R_4} \quad (5)$$

Напряжение на фоторезисторе в этом случае будет равно:

$$U_{\phi} = U_{ист} - I_{\phi} R_3 \quad (6)$$

Для определения значения I_{ϕ} необходимо

совместно с уравнением (6) решить уравнение (1), для этого используем метод секущих.

Входное сопротивление $R_{вх}$ определим как сопротивление пассивного двухполюсника (рис. 1, в) относительно зажимов 1 и 2.

$$R_{вх} = \frac{R_{\phi} R_3}{R_{\phi} + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \quad (7)$$

Учитывая, что $R_{\phi} = (U_{ист} - I_{\phi} R_3) / I_{\phi}$ получим:

$$I_{12} = \frac{U_{\phi\phi12}}{R_{\phi\phi} + R_1} = \frac{I_{\phi} R_3 - R_4 U_{ист} / (R_2 + R_4)}{\left(R_3 (U_{ист} - I_{\phi} R_3) / I_{\phi} \right) / \left((U_{ист} - I_{\phi} R_3) / I_{\phi} + R_3 \right) + R_2 R_4 / (R_2 + R_4) + R_{н}}. \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет определить значение тока в диагонали I_{12} , а поскольку I_{ϕ} зависит от величины потока Φ , то функция $I_{12}(\Phi)$ является световой характеристикой схемы.

Поскольку схема обеспечивает возможность выхода на рабочую точку, а на малом участке световой характеристики значение k_{λ} стремится к единице, мостовую схему целесообразно использовать при измерениях малых световых потоков, сопровождаемых относительно большим фоном.

На рис. 2 представлена световая характеристика мостовой схемы. Для функции $I_{12}(\Phi)$, используя выражение (3) можно определить k_{λ} . Номиналы сопротивлений R_2, R_3, R_4, R_1 следует выбирать таким образом, чтобы на заданном участке изменения светового потока $|1 - k_{\lambda}| \rightarrow 0$.

Таким образом, при проектировании опико-электронных преобразователей целесообразно еще на ранних стадиях применять методики расчета фотоэлектрических цепей, позволяющих оценить погрешности измерений.

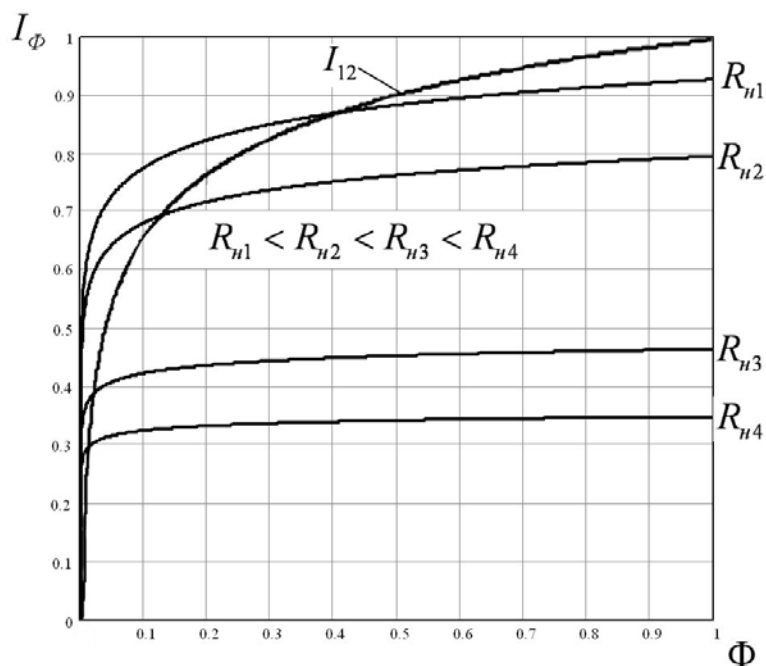


Рис. 2. Световые характеристики схемы деления напряжений и мостовой схемы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет фотоэлектрических цепей: под ред. С. Ф. Корндорфа. – М.: Энергия, 1967.
2. Теория и расчет оптико-электронных приборов:

Учебник для студентов вузов / Ю. Г. Якушенков. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Логос, 1999 – 480 с.

3. Шилин, А. Н. Цифровой прибор для контроля коэффициента пропускания стекол наземного транспорта / А. Н. Шилин, М. И. Гонжал // Приборы. – 2005. – № 7. – С. 16–19.

УДК 621.3.011.7

А. Н. Шилин, О. А. Крутякова

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАТОРНО-ДИСКРЕТНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Волгоградский государственный технический университет (eltech@vstu.ru)

В статье проведено исследование максимальных погрешностей численного моделирования динамического звена с помощью методов z-форм и операторно-дискретного метода. Наименьшую погрешность моделирования имеет операторно-дискретный метод, который позволяет получать разностные уравнения непосредственно по электрическим схемам замещения и может быть использован при модернизации аналоговых систем управления.

Ключевые слова: численное моделирование электрических систем, z-преобразование, операторно-дискретный метод.

A. N. Shilin, O. A. Krutyakova

RESEARCH OF AN OPERATIONAL-DISCRETE METHOD OF THE ELECTRIC CIRCUITS ANALYSIS

This article is devoted to research of the maximal errors of dynamic parts numerical modeling using methods z-forms and an operational-discrete method. The operational-discrete method, which allows receiving difference equations directly from electric equivalent circuits, has the least error of modeling and can be used at modernization of analog control systems.

Numerical modeling of electric systems, z-transformation, an operationally-discrete method.

Введение. Одной из современных и важных проблем анализа информационно-измерительных и управляющих систем является задача моделирования процесса преобразования сигналов в системах. Сложность проблемы заключается в том, что информационно-измерительные и управляющие системы в большинстве своем являются гибридными, поскольку содержат аналоговые и цифровые блоки. Поэтому необходимо построение алгоритмов цифрового моделирования совместной работы цифровых и аналоговых элементов систем. Таким образом, необходим метод моделирования гибридных

систем, использующий общий язык для всех блоков (аналоговых и цифровых).

Теоретической основой компьютерного моделирования импульсных и цифровых систем автоматического управления, электрических цепей с коммутирующими устройствами и различных полупроводниковых преобразователей является z-преобразование (преобразование Лорана) [1–2]. Наиболее важным свойством z-преобразования является возможность нахождения оригинала функции способом, не связанным с вычислением полюсов дробной рациональной функции изображения.

Если известно изображение выходного сигнала устройства в виде

$$F_{\text{вых}}(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_h z^{-h}}, \quad (1)$$

то для определения оригинала может быть использовано одностороннее разложение изображения искомой функции в ряд Лорана

$$F_{\text{вых}}(z) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n z^{-n}, \quad (2)$$

где $c_n = f_{\text{вых}}[n]$ – коэффициенты ряда Лорана, равные значениям функции оригинала в тактовые моменты времени.

Для определения коэффициентов ряда или значений оригинала функции в тактовые моменты времени используются выражения, полученные из алгоритма деления полиномов числителя и знаменателя (2):

$$f[0] = \frac{a_0}{b_0}; \quad f[n] = \frac{1}{b_0} (a_n - b_n f[0] - b_{n-1} f[1] - \dots - b_1 f[n-1]), n \geq 1. \quad (3)$$

Если $n > h$ и $n > m$, то в этой формуле (3) все коэффициенты b_i при $i > h$ и a_n отсутствуют и формула (3) примет следующий вид:

$$f[n] = -\frac{1}{b_0} (b_h f[n-h] + b_{h-1} f[n-h+1] + \dots + b_1 f[n-1]). \quad (4)$$

Если известна импульсная передаточная функция устройства

$$W(z) = \frac{U_{\text{вых}}(z)}{U_{\text{вх}}(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_h z^{-h}}, \quad (5)$$

то для нахождения отклика на входное воздействие в тактовые моменты времени может быть использовано разностное уравнение

$$u_{\text{вых}}[n] = \sum_{k=0}^m a_k u_{\text{вх}}[n-k] - \sum_{k=1}^h b_k u_{\text{вых}}[n-k], \quad (6)$$

коэффициенты которого определяются непосредственно по уравнению, то есть без вычислительных операций.

При моделировании аналоговых систем широко используются метод z -форм, который основан на преобразовании непрерывной передаточной функции в дискретную с помощью уравнения перехода $z = e^{pT}$. В методе z -форм используются различные способы аппроксимаций при разложении в ряд функции $z = e^{pT}$:

$$z = e^{pT} \approx 1 + pT \quad (\text{прямая разность или метод Эйлера}),$$

$$z = e^{pT} \approx 1/(1 - pT) \quad (\text{обратная разность}),$$

$$z = e^{pT} \approx \frac{1 + pT/2}{1 - pT/2} \quad (\text{метод трапеций}).$$

На основе уравнений этих способов аппроксимации получены формулы для перехода от непрерывной передаточной функции $W(p)$ к дискретной передаточной функции $W(z)$, а именно

$$p = \frac{z-1}{T}; \quad p = \frac{1-z^{-1}}{T}; \quad p = \frac{2}{T} \left[\frac{z-1}{z+1} \right].$$

Основным свойством z -преобразования является его инвариантность к интервалу квантования T .

На основе метода z -форм разработан операторно-рекуррентный метод [2], который позволяет эффективно решать довольно широкий круг задач: линейных, нелинейных, дискретных, непрерывных, с переменными параметрами и изменяющейся структурой, с параметрическими обратными связями, со звеньями запаздывания. Однако этому методу присущ недостаток – в качестве исходной информации для определения изображений используются математические уравнения. В то же время на практике в качестве основных математических моделей электромеханических и электронных устройств широко используются их схемы замещения. Поэтому для удобства моделирования динамических свойств электрических и электронных устройств разработан операторно-дискретный метод, позволяющий получать разностные уравнения непосредственно по электрическим схемам [3]. Этот метод наиболее прост и удобен в использовании образовательного процесса.

Операторно-дискретный метод

Электрическая ветвь, содержащая все основные элементы (рис.1), электрическое состояние, а именно напряжение между узлами a и b определяется дифференциальным уравнением:

$$u_{ab} = iR + L \frac{di}{dt} + u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt - e(t). \quad (7)$$

Для возможности использования z -преобразования уравнение (8) было предварительно дискретизировано

$$u_{ab}[n] = i[n]R + L \frac{(i[n+1] - i[n])}{T} + u_c(0) + \frac{T}{C} \sum_{n=0}^{\infty} i[n] - e[n]. \quad (9)$$

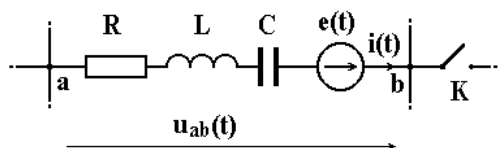


Рис. 1. Схема участка электрической цепи с последовательным соединением элементов

В результате выполнения операции прямого z -преобразования уравнения (8) был получен закон Ома в операторно-дискретной форме для ветви

$$I(z) = \frac{U_{ab}(z) + \frac{Lzi(0)}{T} - \frac{u_c(0)z}{z-1} + E(z)}{R + L\frac{z-1}{T} + \frac{zT}{(z-1)C}} \quad (10)$$

С введением обозначений членов в выражении (9) закон Ома приобрел более компактный вид

$$I(z) = \frac{U_{ab}(z) + E(z) + E_{en}(z)}{Z(z)}, \quad (11)$$

где $Z(z) = R + L\frac{z-1}{T} + \frac{zT}{(z-1)C}$ – операторно-дискретное сопротивление ветви;

$E_{Ai}(z) = \frac{Lzi(0)}{T} - \frac{u_c(0)z}{z-1}$ – изображение внутренних источников ЭДС, введение которых обусловлено запасом энергии в реактивных элементах цепи.

В соответствии с формулой (9) на рис. 2 изображена схема замещения участка цепи. Оригинал функции $I(z)$ может быть получен с помощью выражений (3) и (4).

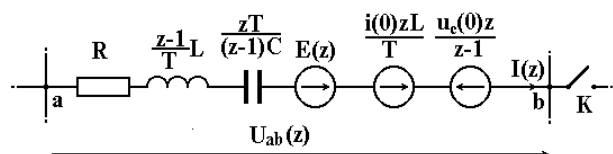


Рис. 2. Схема замещения участка электрической цепи с последовательным соединением элементов

Для разработки методик численного моделирования было проведено исследование максимальных погрешностей численного моделирования переходных функций с помощью метода z -форм и операторно-дискретного метода. В качестве объекта исследования было использовано колебательное звено второго порядка, поскольку наибольшие погрешности возникают при моделировании колебательных звеньев. Уравнения второго порядка часто используются для приближенного описания звеньев систем автоматического управления и электротехнических устройств. Обычно реальные динамические системы характеризуются парой доминирующих полюсов, а остальные находятся дале-

ко слева, то влияние последних на передаточную функцию незначительно и поэтому в этом случае переходный процесс приближенно можно описать уравнением второго порядка. Такое исследование обладает большой общностью, поскольку дифференциальное уравнение второго порядка и классический метод его решения достаточно известны из курсов математики, механики и электротехники.

Передаточная функция колебательного звена второго порядка имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1}, \quad (12)$$

где k – передаточный коэффициент; ξ – относительный коэффициент затухания ($0 < \xi < 1$ – для колебательного режима); T_0 – постоянная времени.

Поскольку операторно-дискретный метод в качестве исходной информации использует электрические схемы, то исследование погрешностей проведем на примере четырехполюсной схемы, для которой с помощью операторно-дискретного метода получена дискретная схема замещения (рис. 3).

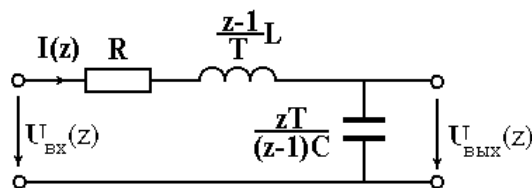


Рис. 3. Схема замещения дискретной модели

Схеме замещения, изображенной на рис. 3, соответствует импульсная передаточная функция:

$$W(z) = \frac{1}{(z-1)^2 LC + \frac{z-1}{zT} RC + 1}, \quad (13)$$

Выполнив математические преобразования и введя замену $c = T/T_0$, $\xi = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$, получим:

$$W(z) = \frac{zc^2}{z^2 + z(c^2 + 2\xi c - 2) + 1 - 2\xi c}. \quad (14)$$

С помощью различных способов аппроксимации z -форм, таких как прямая разность, обратная разность и метод трапеций и уравнения (12) были получены выражения передаточных функций и проведено исследование максимальных погрешностей численного моделирования в зависимости от относительного периода дискретизации c при различных значениях ξ , которые представлены на рис. 4.

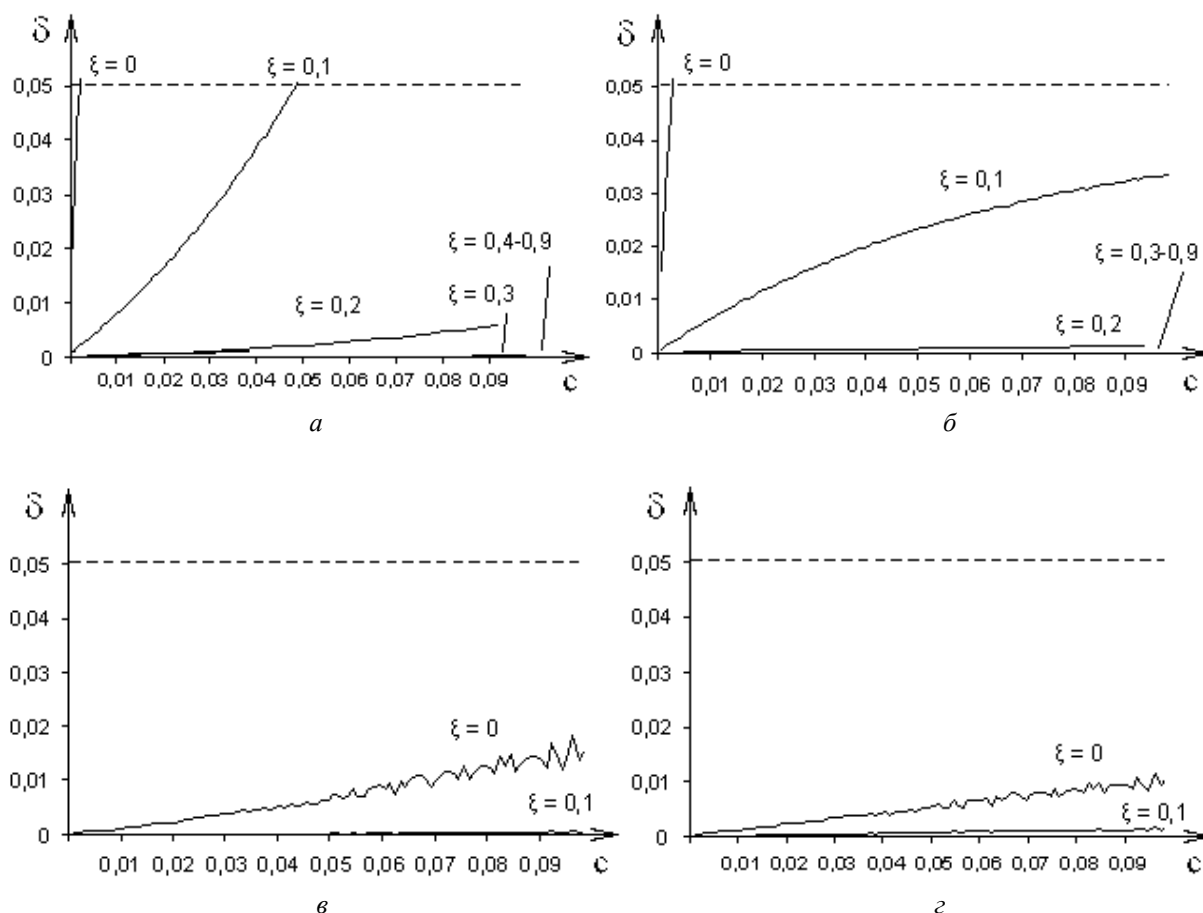


Рис. 4. Зависимости максимальных погрешностей моделирования (до 5 %) от относительного периода дискретизации c при различных ξ , полученные следующими методами:
 а – метод Эйлера; б – метод обратных разностей; в – метод Тустена; г – операторно-дискретный метод

Проведенное исследование показало, что наименьшие абсолютные погрешности моделирования имеют способ трапеций метода z -форм и операторно-дискретный метод, однако формула перехода от непрерывной функции к импульсной по способу Тустена несколько сложнее. Поскольку операторно-дискретный метод использует комбинацию прямой и обратной разности, то есть более простых способов, чем способ трапеций, а погрешность моделирования с помощью этого метода имеет меньшие значения, то возникает вопрос определения причины этого свойства. На основе проведенного анализа установлено, что это положительное свойство обусловлено обратными связями между напряжениями на элементах цепи. Графически причинно-следственные связи между величинами цепи отображаются диаграммой состояния. Поскольку погрешность моделирования с помощью операторно-дискретного метода имеет меньшие значения, чем при моделировании по способу трапеций, то возникает

следующий вопрос о выборе формулы перехода, эквивалентной операторно-дискретному методу. Такая формула позволила бы расширить область применения метода, а именно исходной информацией в этом методе могут быть и уравнения в операторной форме.

Из выражения (13) следует, что формула замены оператора при коэффициенте, характеризующем аperiodический процесс затухания колебаний, соответствует обратной разности, а формула перехода от оператора при коэффициенте, характеризующем период колебания, имеет следующий вид:

$$p = \frac{z-1}{z^{1/2} \cdot T}. \quad (15)$$

Поскольку при моделировании используются ряд Лорана с целыми степенями, то выражение $z^{1/2}$ разложим в ряд Тейлора в окрестности точки $z_0 = 1$, и, ограничившись первыми двумя членами ряда, получим формулу для приближенной замены:

$$z^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2 \cdot 1!}(z-1) - \frac{1}{4 \cdot 2!}(z-1)^2 + \frac{3}{8 \cdot 3!}(z-1)^3 + \dots \approx \frac{z+1}{2}.$$

Тогда согласно формуле (15):

$$p \approx \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}. \quad (16)$$

Формула (16) полностью совпадает с формулой перехода по способу трапеций. Это также следует из формулы (15), которая представляет произведение формулы прямой разности на оператор сдвига на половину периода $z^{-1/2}$.

В ы в о д ы . Операторно-дискретный метод позволяет получить значительный эффект при численном моделировании электротехнических устройств. Это объясняется тем, что вычислительный алгоритм операторно-дискретного метода сравнительно просто реализуется, а именно разностные уравнения довольно просто мо-

гут быть получены непосредственно из электрических схем без промежуточных операций составления непрерывных уравнений состояния и их дискретизации. Этот метод может быть использован при модернизации аналоговых систем управления, поскольку позволяет по электрическим схемам аналоговых регуляторов получать схемы цифровых фильтров или алгоритмы цифровой обработки сигналов на универсальных компьютерах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куо, Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Б., Куо // Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986.
2. Шипилло, В. П. Операторно-рекуррентный анализ электрических цепей и систем / В. П. Шипилло. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. Шилин, А. Н. Операторно-дискретный метод анализа электрических цепей / А. Н. Шилин / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2000. – № 7. – С. 50–56.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского государственного технического университета

№ 2 (40), 2008 г.

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

Выпуск 4

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Е. А. Пичугина*

Техн. редактор *В. И. Фишер*

Компьютерная верстка *Е. В. Макаровой*

Темплан 2008 г. Поз. № 81.

Подписано в печать 25.06.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,84. Уч.-изд. л. 14,42.
Тираж 150 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет.
400131, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28.

РПК "Политехник"

Волгоградского государственного технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.

В сборнике научных статей "Известия высших учебных заведений", серии "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области вычислительной техники и информатики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТом 7.1–2003 "Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления". Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полные имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номера телефонов – служебного и домашнего, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.