

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Выпуск 8

№ 6(66)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2010



Волгоград
2010

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, профессор ВолгГТУ *В. А. Камаев* (научный редактор),

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 144 с. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8).

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

ISBN 978-5-9948-0604-3

Ил. 81. Табл. 22. Библиогр.: 206 назв.

ISBN 978-5-9948-0604-3

© Волгоградский государственный
технический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Багмутов В. П., Савкин А. Н., Седов А. А.</i> Прогнозирование долговечности конструкционных сталей на основе моделирования поврежденности при переменном нагружении.....	5
<i>Брискин Е. С., Малолетов А. В., Колесов А. М., Вершинина И. П.</i> Об управлении движением двуногого робота при помощи маховика.....	9
<i>Волков И. В., Заярный В. П.</i> Моделирование тепловых потоков в термokonстантном помещении.....	13
<i>Евдокимова Н. Е.</i> Исследование профильной проходимости шагающей машины.....	17
<i>Еремин М. А., Любимов В. Н.</i> Трехмерный параллельный код для моделирования процессов в межзвездной среде.....	21
<i>Еремин М. А., Хоперсков А. В., Хоперсков С. А.</i> Конечно-объемная схема интегрирования уравнений гидродинамики.....	24
<i>Жога В. В., Гаврилов А. Е., Еременко А. В.</i> Оптимальный закон горизонтального перемещения мобильного робота с ортогональными шагающими движителями.....	28
<i>Шамов Е. А., Лукьянов В. С., Жариков Д. Н., Попов Д. С.</i> Технологии достижения параллелизма mpi, cuda, openmp и моделирование динамики электронного потока в скрещенных полях с применением гибрида технологий MPI и OPENMP.....	33
<i>Элькин М. Д., Уманский И. М., Степанович Е. Ю.</i> Структурно-динамические модели зарина и зомана.....	37
<i>Эрман Е. А., Элькин П. М.</i> Компьютерное моделирование внутримолекулярного взаимодействия в эхинохроме.....	41
Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Баитанник Н. А., Лобейко В. И., Поляков С. В.</i> Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ методом обратного вычитания.....	46
<i>Баитанник Н. А., Лобейко В. И., Поляков С. В.</i> Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ сетевым методом.....	48
<i>Заболеева-Зотова А. В., Розалиев В. Л., Бобков А. С., Федоров О. С.</i> Автоматизированный подход к решению задачи определения эмоциональных реакций человека.....	51
<i>Коробенко С. В., Сосновский И. А., Собко В. П.</i> Методика адаптации автоматизированных обучающих систем к индивидуальным особенностям операторов по минимуму эксплуатационного технологического риска.....	56
<i>Костерин В. В.</i> Разработка инструкций с использованием методов программирования.....	61
<i>Лу Лу, Бутенко Л. Н.</i> Использование системного подхода при прогнозировании развития ситуации на основе цикла Вэнь Вана.....	64
<i>Орлова Ю. А.</i> Алгоритмическое обеспечение анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения.....	68
<i>Островский А. А., Жариков Д. Н., Лукьянов В. С., Попов Д. С.</i> Динамические методы биометрической аутентификации.....	72

<i>Розалиев В. Л.</i>	Моделирование эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой.....	76
<i>Сосновский И. А., Коробенко С. В., Меньшиков А. В.</i>	Алгоритмическое обеспечение адаптивной автоматизированной системы контроля и управления тренировкой операторов на учебно-тренировочных средствах.....	80
<i>Тихонина В. В., Бутенко Л. Н.</i>	Анализ взаимодействия параметров «структура-свойства» полимерных материалов.....	84
III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ		
<i>Веденина Н. В., Кравец А. Г.</i>	Анализ и прогнозирование опасности химических соединений и веществ.....	87
<i>Головин В. А., Кумунжиев К. В.</i>	Система поддержки генерации решений по формированию предвыборной кампании.....	92
<i>Исаев А. В., Кошечкин Я. С., Кравец А. Г.</i>	Подходы к построению автоматизированной системы поддержки индивидуализированных учебных курсов.....	96
<i>Исаев А. В., Кравец А. Г., Шахламджян А. Ш.</i>	Дистанционное образование: анализ информационных ресурсов.....	100
<i>Камаев В. А., Щербаков М. В., Аль-Катабери А. С.</i>	Анализ социально-экономического развития муниципальных образований на примере Волгоградской области с использованием моделей DATA MINING.....	103
<i>Крыжановский А. И., Пыхтин П. С.</i>	Применение кооперативного обучения и прогнозирования в мультиагентных системах.....	106
<i>Матлин А. О., Фоменков С. А.</i>	Интерактивные средства обучения в образовательном процессе.....	110
IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ		
<i>Горобцов А. С., Стуров Д. А., Нгуен К. Ш.</i>	Методические основы построения системы мониторинга работы сети Grid-системы.....	112
<i>Горобцов А. С., Стуров Д. А., Шаповалов О. В., Шамов Е. А.</i>	Анализ эффективности применения технологии NVIDIA CUDA для задач физической электроники.....	117
<i>Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А.</i>	Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения.....	121
<i>Костерин В. В.</i>	Эвристические проектные процедуры постановки и решения задач нелинейного программирования в технике.....	124
<i>Костерин В. В., Чугунов Д. С.</i>	Морфологический поиск оптимальной конструкции из типовых элементов.....	128
<i>Шуляков Е. А.</i>	Универсальный робототехнический комплекс.....	130
<i>Яровенко В. А., Фоменков С. А.</i>	Особенности применения мультиагентного подхода при разработке системы обработки структурированных физических знаний.....	132
V. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ		
<i>Свинцов И. В., Садчиков П. Н.</i>	Аналитическое обоснование основных параметров приборов по обнаружению устройств несанкционированного съема информации с телефонной линии связи.....	135
<i>Свинцов И. В., Садчиков П. Н.</i>	Вероятность обнаружения в телефонной линии устройства несанкционированного съема информации.....	139
<i>Стуров Д. А., Горобцов А. С.</i>	Формирование и реализация подхода использования Грид-системы из доступных вычислительных ресурсов.....	141

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 669.14:539.431

В. П. Багмутов, А. Н. Савкин, А. А. Седов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: sopromat@vstu.ru

Проанализированы модели суммирования усталостных повреждений при нерегулярном переменном нагружении на основе линейного и нелинейного подхода к оценке функции поврежденности. Предлагается общий подход к прогнозированию долговечности, основанный на учете усталостной прочности материала при стационарной переменной нагрузке, а также ее характере при внешнем эксплуатационном нагружении. Основные параметры моделей оцениваются при нестационарных нагрузках.

Ключевые слова: усталостное повреждение, нерегулярное переменное нагружение, функция поврежденности, усталостная прочность, нестационарная нагрузка.

V. P. Bagmutov, A. N. Savkin, A. A. Sedov

PROGNOSTICATION OF DURABILITY OF CONSTRUCTIONAL STEELS BASED ON DAMAGE MODELING UNDER ALTERNATING LOADING

The Volgograd State Technical University

The analyses of summation models of fatigue damages under irregular alternating loading based on linear and non-linear treatment of damage function is examined here. It is suggested the generalized approach to durability prognostication, based on the value of material endurance under stationary iterative loading, and also on character of external exploitation loading, fixed parameters inherent to the very model and are being formed under non-stationary loading.

Key words: fatigue damage, irregular alternating loading, damage function, material endurance, non-stationary loading.

Многие детали машин и элементов конструкций в эксплуатационных условиях подвергаются регулярному и нерегулярному силовому воздействию. Переменные нагрузки приводят к постепенному накоплению усталостных повреждений в виде микропластических деформаций, способствующих развитию трещин и разрушению материала или конструктивного элемента.

В настоящей работе рассматривается проблема оценки долговечности материала на стадии рассеянных повреждений, определяющих основной ресурс конструкции до ее отказа. Инженерный подход к решению этой задачи связан с поиском наиболее общих закономерностей, описывающих кинетику накопления поврежденности, которые давали бы результаты, приемлемые для инженерной практики.

В расчетах при прогнозировании ресурса до настоящего времени находят применение феноменологические подходы суммирования повреждений на основе линейной модели Пальмгрена – Майнера [1], скорректированной линейной модели В. П. Когаева [2], вторичных кривых Кортена – Долана [3], обобщения полученных эмпирических зависимостей [4]. Считаются наиболее физически обоснованными деформационные и энергетические модели поврежденности (такие, как модели Трощенко [5], Трощенко – Фомичева [6] и другие). Обобщение и обзоры по разным моделям суммирования повреждений при переменном нагружении представлены в [7, 8].

Проведенный анализ показал, что многие модели поврежденности для нерегулярного циклического нагружения могут быть представле-

ны на основании следующего феноменологического подхода:

во-первых, исходными данными для оценки поврежденности материала являются параметры кривой выносливости при стационарном циклическом нагружении, например, кривой в двойных логарифмических координатах в виде:

$$\begin{cases} \sigma_a^m N = \sigma_R^m N_o, & \text{при } \sigma_a \geq \sigma_R \\ N = \infty, & \text{при } \sigma_a < \sigma_R, \end{cases} \quad (1)$$

где σ_a , N_o , m – параметры кривой выносливости; σ_R – предел выносливости материала;

во-вторых, учет нерегулярности циклического нагружения представляется блочной ступенчатой нагрузкой, схематизирующей реальный спектр эксплуатационного нагружения с параметрами $\sigma_{a \max}$, σ_{ai} , v_{ai} , v_δ , r ;

в-третьих, влияние свойств материала на сопротивление выносливости, в зависимости от принятых критериев поврежденности, учитываются введением постоянных, значения которых можно определить при одном из видов нестационарного нагружения и распространить на

другие виды нерегулярного циклического нагружения.

Тогда, значение суммарной долговечности при нерегулярном циклическом нагружении в обобщенном виде будет выглядеть как

$$N_\Sigma = N \cdot K, \quad (2)$$

где N – значение долговечности при стационарном нагружении с максимальным амплитудным напряжением $\sigma_{a \max}$, определяемым по уравнению (1); K – функция нестационарности нагружения, описывающая влияние внешнего нестационарного нагружения по принятой модели поврежденности на изменение долговечности материала при фиксированном значении $\sigma_{a \max}$. Для различных моделей поврежденности были приняты следующие значения постоянных: $R = 480$; $R_K = 900$; $c = 2,3$; $\beta_3 = 4,35$; $\beta_2 = 1,5$; $f = 0,276$.

Разные значения K – функции нестационарности для различных моделей поврежденности – показаны в табл. 1.

Таблица 1

Значение функции нестационарности K для исследуемых моделей суммирования при нестационарном нагружении

Значение коэффициента нестационарности K	Источник	Принятые обозначения
1. $K_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^r \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \frac{v_{ai}}{v_\delta}}$ (3)	[1]	$i = 1 \dots r$ – число ступеней в блоке нагружения; r – число ступеней нагружения при $\sigma_a > \sigma_R$;
2. $K_2 = \frac{a_p}{\sum_{i=1}^r \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \frac{v_{ai}}{v_\delta}}$ (4)	[2]	σ_{ai} – амплитудное напряжение i -й ступени нагружения; $\sigma_{a \max}$ – максимальная амплитуда напряжения в блоке нагружения v_δ ;
3. $K_3 = \frac{1}{\sum_{i=1}^r \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^\varphi \frac{v_{ai}}{v_\delta}}$ (5)	[3]	v_δ – число циклов в ступени и блоке нагружения; a_p – корректирующий коэффициент в модели В. П. Когаева;
4. $K_4 = 10^{C(1-V)}$ 4. $V = \left[\sum_{i=1}^r \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \frac{v_{ai}}{v_\delta} \right]^{\frac{1}{m}}$ (6)	[4]	$\varphi = fm$ – коэффициент наклона вторичной кривой выносливости при нестационарном нагружении по модели Кортена – Долана;
5. $K_5 = \frac{R}{\sum_{i=1}^r \left[\left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_R} \right)^{\beta_3} - \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_R} \right)^{\beta_2} \right] \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m v_{ai}}$ (7)	[5]	m – коэффициент наклона исходной кривой выносливости в двойных логарифмических координатах; $R, R_K, C, \beta_3, \beta_2, \beta_1$ – постоянные коэффициенты, определяемые на основе нестационарных испытаний;
6. $K_6 = \frac{R_K}{\sum_{i=1}^r \left[\left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_R} \right)^{\beta_1} - 1 \right] \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m v_{ai}}$ (8)	[6]	V – коэффициент полноты цикла

Таблица 2

Характеристики выносливости и параметры нагружения исследуемого конструктивного элемента по [9]

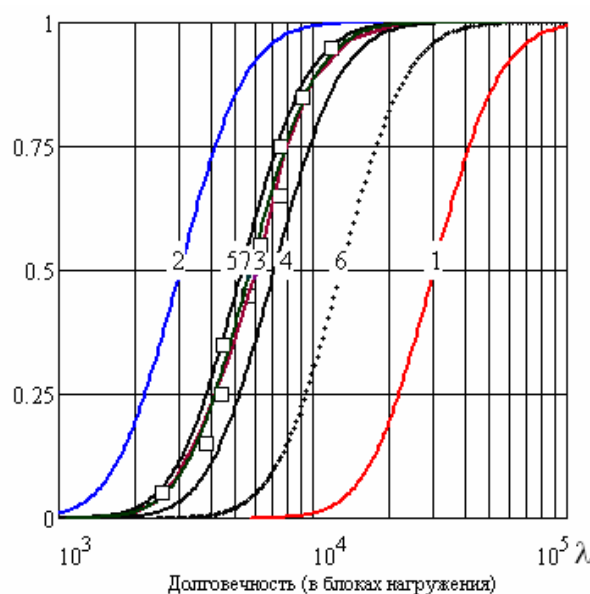
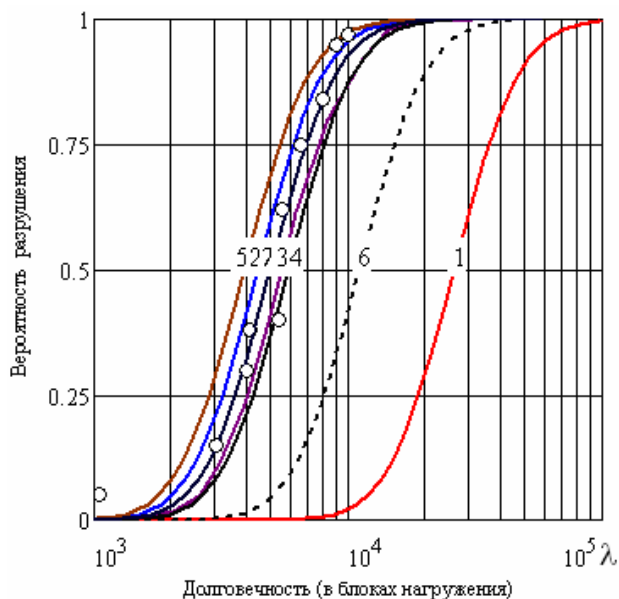
Характеристики выносливости		Параметры нагружения				Коэффициент вариации		
Предел выносливости σ_{-10} , МПа	Параметры кривой выносливости		Амплитуда напряжения σ_{ai} , МПа		Частота повторения амплитуд напряжений в блоке ν_{ai}	Число циклов в блоке нагружения ν_{δ}	По пределу выносливости $\nu_{\sigma_{-10}}$	По максимальным напряжениям $\nu_{\sigma_{a \max}}$
	m	N_0 , цикл	сечение (а)	сечение (б)				
Сечение (а) 182,0	4,35	$2 \cdot 10^6$	320	179	1	1524	0,07	0,083
			285	159	2			
			249	139	6			
			213	119	13			
			178	99	33			
			143	80	83			
Сечение (б) 105,0	4,35	$2 \cdot 10^6$	107	60	211	1524	0,07	0,083
			71	40	536			
			36	20	598			

Данные по эксплуатационным нагрузкам в виде гистограмм для отдельных элементов и сечений шасси самолета с параметрами нагружения: $\sigma_{a \max}$, σ_{ai} , ν_{ai} , ν_{δ} ; характеристиками выносливости, приведенными к симметричному циклу нагружения: $\bar{\sigma}_{-10}$, m , N_0 ; статистическими параметрами в виде коэффициентов вариации: $\nu_{\sigma_{a \max}}$, $\nu_{\sigma_{-10}}$ приведены в работе [9], где $\bar{\sigma}_{-10}$ – предел выносливости детали в опасном сечении. Параметры внешнего нагружения и характеристики выносливости для двух сече-

ний (а) и (б) нижнего звена шлиц-шарнира стойки основной опоры самолета типа А из стали 30ХГСНА представлены в табл. 2.

Для определения постоянных, входящих в уравнения функций нестационарности K (табл. 1) были использованы результаты оценки долговечности при нестационарном нагружении в сечении (а), с последующим использованием для оценки коэффициента нестационарности K и прогнозирования ресурса в сечении (б).

На приведенном ниже рисунке показаны функции распределения долговечности шлиц-



Функции распределения долговечности до разрушения конструктивного элемента по [9] и различным моделям поврежденности:

- 1 – линейная модель; 2 – скорректированная линейная модель Когаева; 3 – нелинейная модель с инкубационным периодом;
- 4 – энергетическая модель Трошенко; 5 – энергетическая модель Трошенко – Фомичева; 6 – модель Кортена – Долана

шарнира стойки основной опоры самолета типа А [9] по различным моделям суммирования повреждений. Лабораторные исследования выносливости данного конструктивного элемента в разных сечениях показаны светлыми точками и квадратиками и проводились по гистограммам (табл. 2) «сверху-вниз». Оценка долговечности по линейной модели [1] и функции нестационарности (3) показана кривой 1. В данной модели учитывали повреждающее воздействие амплитуд нагружения $\sigma_{ai} > \sigma_{-1д}$, поэтому, видимо, значения расчетной долговечности значительно превышают экспериментальные.

Корректирование линейной модели по предельной мере повреждения a_p с учетом вносимой поврежденности амплитудами напряжений $\sigma_{ai} > 0,5\sigma_{-1д}$ по модели Когаева [2] и функции нестандартности K_2 (4) показало значения долговечности более близкие к результатам лабораторных испытаний (кривая 2). В модели Кортена – Долана [3] (функция K_3 (5)) вводится постоянная f , характеризующая изменение наклона вторичной кривой выносливости при нестационарном испытании. Результаты, полученные по этой модели (кривая 6) ближе к лабораторным испытаниям по сравнению с линейной моделью, но хуже, чем по другим зависимостям. Представление логарифмической зависимости функции нестационарности K_4 (6) от коэффициента полноты цикла V , введение постоянной C , зависящей от свойств конструкционного материала позволило получить в эмпирической формуле результаты близкие к эксперименту (кривая 7). Зависимости на основании энергетических критериев [5, 6] требуют введение трех постоянных по модели Троценко (функция нестационарности K_5 (7)) и двух по модели Троценко – Фомичева (функция нестационарности K_6 (8)). Результаты прогнозирования ресурса хорошо описывают процесс повреждения при данном внешнем нагружении, чему способствуют подобранные по лабораторным испытаниям постоянные.

Следует заметить, что предложенные зависимости в представленном виде не учитывают взаимодействия амплитуд напряжений между собой (историю нагружения), что вполне может соответствовать действительности при внешнем нагружении с небольшими амплитудами без пиковых нагрузок, когда амплитуды напря-

жений внешнего воздействия достаточно перемешаны.

Таким образом, прогнозирование усталостной долговечности конструкционных сталей при нерегулярном циклическом нагружении можно проводить на основании характеристик выносливости материала при стационарном нагружении, характера внешнего нагружения. Учет свойств материала по ряду моделей суммирования повреждений, оказывающих влияние на его ресурс, можно оценить введением постоянных, определяемых при нестационарном циклическом испытании.

Нелинейный подход к суммированию усталостных повреждений, учет стадийности усталостного процесса, взаимодействия амплитуд напряжений способствуют уточнению прогнозируемого ресурса, что является обоснованием принимаемых инженерных решений при конструировании и эксплуатации технических объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Miner, M. A. Cumulative damage in fatigue / M. A. Miner // Journal of Applied Mechanics. – 1945. – Vol. 67. – S. A159–A164.
2. Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справ. / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
3. Corten, H. T. Cumulative fatigue damage / H. T. Corten, T. J. Dolan // In Procuding of the International Conference on Fatigue of Metals Institution of Mechanical Engineering and Americas Society of Mechanical Engineers, 1956. – Pp. 235–246.
4. Савкин, А. Н. К вопросу оценки долговечности материала при нерегулярной переменной нагруженности / А. Н. Савкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – № 7. – Т. 74. – С. 43–47.
5. Троценко, В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В. Т. Троценко. – Киев : Наукова думка, 1981. – 343 с.
6. Троценко, В. Т. Энергетический критерий усталостного разрушения / В. Т. Троценко, П. А. Фомичев // Проблемы прочности. – 1993. – № 1. – С. 3–10.
7. Fatemi, A. Yangt L. Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials. Jnt. J Fatigue. – Vol. 20, № 1. – 1998. – P. 9–34.
8. Троценко, В. Г. Рассеянное усталостное повреждение металлов и сплавов. Сообщ. 3. Деформационные и энергетические критерии / В. Г. Троценко // Проблемы прочности. – 2006. – № 1. – С. 5–31.
9. Бойцов, Б. В. Прогнозирование долговечности напряженных конструкций: комплексное исследование шасси самолета / Б. В. Бойцов // Машиностроение. – 1985. – 232 с.

УДК 621.865.5

*Е. С. Брискин, А. В. Малолетов, А. М. Колесов, И. П. Вершинина***ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ДВУНОГОГО РОБОТА ПРИ ПОМОЩИ МАХОВИКА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: anatozymk@mail.ru, dtm@vstu.ru

Разработана математическая модель движения двуногого робота с маховичной стабилизацией в неустойчивом положении равновесия. Написана программа для расчета динамики управляемого движения робота и проведения численных исследований. Изучены динамические эффекты, возникающие при движении. Исследована возможность проскальзывания стопы по опорной поверхности при стабилизации робота на одной из ног и при переступании с ноги на ногу. Определены коэффициенты трения, исключающие проскальзывание.

Ключевые слова: мехатроника, теоретическая механика, двуногий робот, управление, стабилизация, маятник, маховик, математическое моделирование.

*E. S. Briskin, A. V. Maloletov, A. M. Kolesov, I. P. Verzhinina***ABOUT CONTROL OF THE BIPED ROBOT MOTION BY MEANS OF A REACTION WHEEL****Volgograd State Technical University**

The mathematical model of the biped robot moving with the reaction wheel control in unstable position of balance is developed. The program for dynamics calculation of the controlled moving and carrying of the robot out of numerical researches is written. The dynamic effects arising at movement are studied. Slipping possibility on ground is researched for robot stabilisation on one of feet and when it oversteps from a foot on a foot. The friction coefficients limiting the slipping are defined.

Key words: mechatronics the theoretical mechanics, the biped robot, control, stabilisation, a pendulum, a reaction wheel, mathematical modelling.

Одной из задач, возникающих при управлении неустойчивых механических систем, например, двуногих роботов, является задача стабилизации их движения. Известны различные способы стабилизации таких систем. Одним из возможных и малоизученных способов является применение массивных маховиков.

Двуногие шагающие механизмы – это неустойчивые механические системы, которые содержат звенья в виде перевернутых маятников. Перевернутые маятники широко исследуются учеными во всем мире [1, 3]. В институте механики МГУ, например, разработаны маятник с маховиком, управляя которым можно добиться того, чтобы первый находился в положении верхнего неустойчивого равновесия неограниченно долго [2]. Изучение динамики и стабилизации в неустойчивом положении маятника также исследовали ученые из датского университета [4]. Работа над подобными системами может быть полезна для космических спутников (например, для космического телескопа Хаббл, который стабилизируется в пространстве с помощью маховика).

Рассматривается задача стабилизации и управляемого движения двуногого аппарата с помощью массивного маховика.

Конструктивно аппарат (рис. 1) представляет собой две ноги 5 соединенные с корпусом 4.

На корпусе 4 установлен электродвигатель 3, соединенный валом 2 с маховиком 1, который служит для привода маховика во вращательное движение.

Еще два электродвигателя 6 расположены на ногах 5 и могут осуществлять поворот стоп

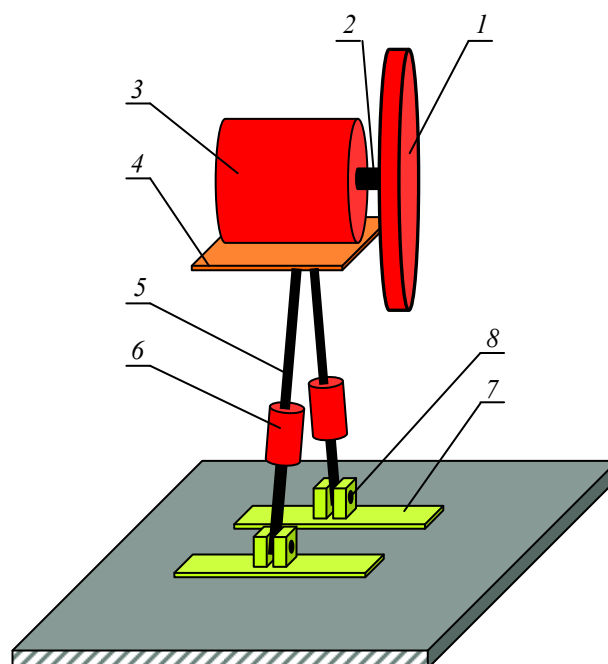


Рис. 1. Общая схема робота:

1 – маховик; 2 – вал; 3 – электродвигатель маховика; 4 – корпус; 5 – нога; 6 – электродвигатель; 7 – стопа; 8 – шарнирная связь

относительно ног (таким образом, опираясь на одну ногу, аппарат может осуществить поворот вокруг неподвижной стопы). Стопы крепятся к ногам при помощи шарнира 8. Ноги соединены с корпусом 4 неподвижно.

Движение аппарата происходит следующим образом. Электродвигатель приводит во вращение маховик, который вращается с угловым ускорением $\ddot{\varphi}$. В результате этого возникает момент сил инерции, вызывающий поворот аппарата вокруг одной из опорных точек, например, вокруг шарнира, расположенного в опорной стопе A (рис. 1). Регулируя напряжение на электродвигателе, можно получить необходимое значение момента, учитывая текущее положение аппарата ψ и его угловую скорость $\dot{\psi}$, и установить его в неустойчивом положении равновесия (когда линия вектора силы тяжести будет пересекать ось шарнира в опорной стопе). После этого электродвигатели, расположенные на ногах, поворачивают стопы на угол γ относительно аппарата (то есть совершают поворот аппарата вокруг неподвижной стопы, находящейся в опоре). Стопы поворачиваются в разные стороны на одинаковый угол, чтобы оставаться параллельными друг другу.

Аппарат при этом поворачивается вокруг стопы, находящейся в опоре. Затем, управляя маховиком, аппарат устанавливается на две стопы. Таким образом, осуществляется движение вперед.

Гироскопический момент, возникающий при повороте оси вращения маховика, будет стремиться опрокинуть аппарат в саггитальной плоскости. Для обеспечения устойчивости робота в этой плоскости в его конструкцию закладываются достаточно длинные стопы. Это позволяет не учитывать гироскопический эффект в математической модели и рассматривать динамику движения робота только во фронтальной плоскости.

На расчетной схеме вводится подвижная система координат, связанная с текущей точкой опоры ($x'y'$ на рис. 2). Угол ψ – угол крена аппарата (угол поворота аппарата относительно опорной точки); φ – угол поворота маховика; G – сила тяжести; точка C – центр тяжести всего аппарата; O'' – ось вращения маховика; O' – ось вращения ротора двигателя. Предполагается, что аппарат не совершает движения вдоль оси x' , а может только поворачиваться вокруг опорной точки (точка A на рис. 3). В общем слу-

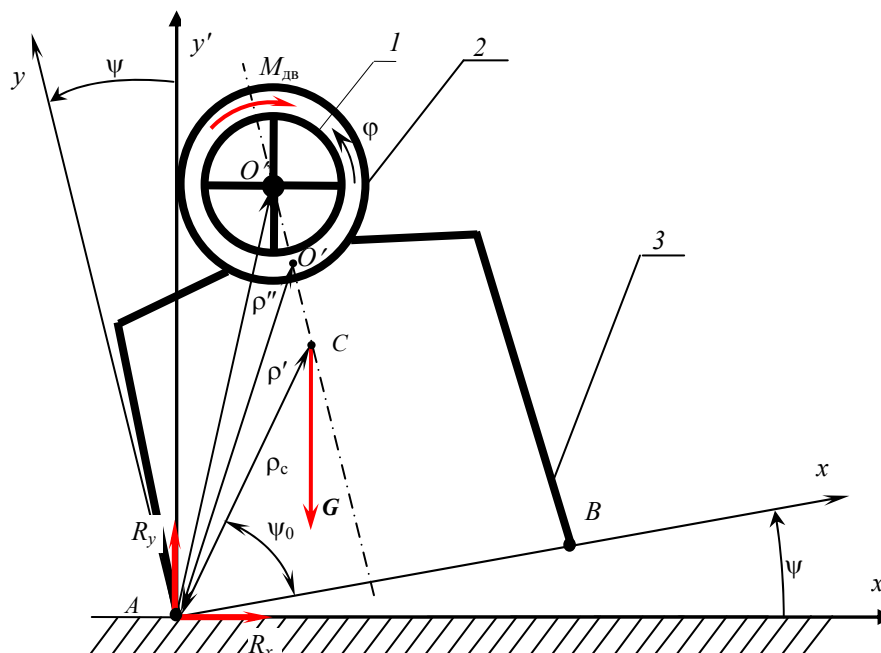


Рис. 2. Математическая модель аппарата:
1 – маховик; 2 – корпус; 3 – нога

чае аппарат может иметь редуктор, с коэффициентом редукции k , который соединяет маховик и электродвигатель. Через $x_r, y_r, x_R, y_R, x_m, y_m$

обозначаются координаты центров тяжести соответственно ротора, аппарата, маховика в подвижной системе координат.

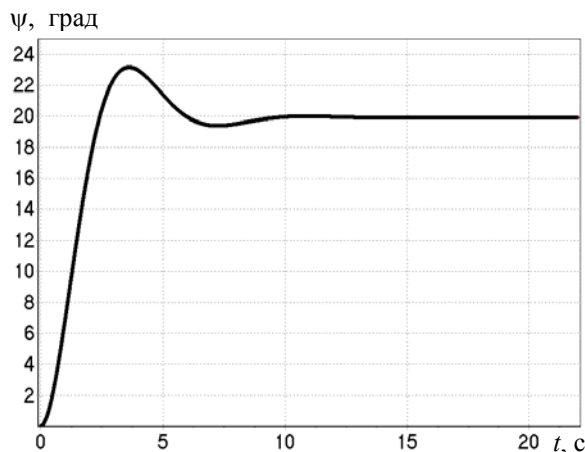


Рис. 3. Угол крена при стабилизации аппарата из положения устойчивого равновесия на двух ногах в неустойчивое равновесие на одной ноге

Такая система имеет две степени свободы и для описания ее движения необходимо два уравнения динамики, например, в виде уравнений Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_{\psi}, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi} = Q_{\phi}. \quad (2)$$

Входящая в уравнения (1) и (2) кинетическая энергия системы складывается из кинетических энергий тел, входящих в систему:

$$T = T_r + T_R + T_m, \quad (3)$$

где T_r – кинетическая энергия ротора электродвигателя; T_R – кинетическая энергия робота маховика; T_m – кинетическая энергия маховика.

Первое тело включает в себя весь аппарат, обе опоры (вместе с расположенными на них электродвигателями), одну стопу (вторая находится в опоре и ее кинетическая энергия равна нулю), статор электродвигателя, редуктор (движущимися частями редуктора, шестеренками, можно пренебречь). Это тело совершает вращательное движение относительно оси стопы робота (в расчетах принимается, что трение между стопой и опорной поверхностью не допускает проскальзывания). Второе тело – маховик – совершает плоскопараллельное движение. Третье тело – ротор электродвигателя. Ротор совершает плоскопараллельное движение. Скорость вращения ротора больше скорости маховика в k раз.

$$\rho' = \sqrt{x_r^2 + y_r^2}, \quad (4)$$

$$\rho'' = \sqrt{x_m^2 + y_m^2}. \quad (5)$$

Тогда кинетическая энергия запишется в виде:

$$T = \frac{1}{2} \left(J_R \dot{\psi}^2 + J_m (\dot{\psi} + \dot{\phi})^2 + J_r (\dot{\psi} + k\dot{\phi})^2 + m_r (\dot{\psi} \rho')^2 + m_m (\dot{\psi} \rho'')^2 \right), \quad (6)$$

где J_R – момент инерции тела относительно опорной точки; $\dot{\psi}$ – угловая скорость маховика; J_m – момент инерции маховика относительно оси маховика; $\dot{\phi}$ – угловая скорость аппарата относительно точки опоры; ρ'' – расстояние между точкой опоры и осью маховика; m_m – масса маховика; J_r – момент инерции ротора относительно оси ротора; m_r – масса ротора; ρ' – расстояние между точкой опоры и осью ротора электродвигателя.

На систему действуют силы тяжести тел, входящих в механическую систему, и момент двигателя. Связи считаются идеальными, и их реакции не совершают работы; силами сопротивления можно пренебречь. Обобщенные силы Q_{ψ} , Q_{ϕ} по координатам ψ и ϕ определяются следующим образом:

$$Q_{\psi} = \frac{\delta A_{\psi}}{\delta \psi} = -G(x_C \cos \psi - y_C \sin \psi), \quad (7)$$

где x_C , y_C – координаты центра тяжести в подвижной системе координат xu , которые определяются по формулам:

$$x_C = \frac{m_p x_p + m_r x_r + m_m x_m}{m}, \quad (8)$$

$$y_C = \frac{m_p y_p + m_r y_r + m_m y_m}{m},$$

где m_p – масса робота; m_r – масса ротора электродвигателя; m – масса всего аппарата.

$$Q_{\phi} = \frac{\delta A_{\phi}}{\delta \phi} = -M_{\text{дв}}. \quad (9)$$

Момент двигателя регулируется с помощью отрицательной обратной связи по углу поворота ψ и угловой скорости $\dot{\psi}$:

$$M_{\text{дв}} = a_1 (\psi_{\text{пр}} - \psi) + a_2 (\dot{\psi}_{\text{пр}} - \dot{\psi}), \quad (10)$$

где a_1 , a_2 – коэффициенты обратной связи; $\psi_{\text{пр}}$, $\dot{\psi}_{\text{пр}}$ – программный угол поворота и требуемая угловая скорость (в данной задаче $\psi_{\text{пр}} = \arctg \left(\frac{x_c}{y_c} \right)$ и определяется геометрическими параметрами, а $\dot{\psi}_{\text{пр}} = 0$).

С учетом (9) и (7), окончательно система уравнений запишется в виде:

$$\begin{cases} \ddot{\psi}A + \ddot{\phi}B = -G(x_c \cos \psi - y_c \sin \psi) \\ \ddot{\psi}B + \ddot{\phi}E = -M_{дв}k \end{cases} \quad (11)$$

$$A = (J_R + J_m + J_r + m_r(\rho')^2 + m_m(\rho'')^2)$$

$$B = (J_m + J_r k)$$

$$E = (J_m + J_r k^2).$$

Поскольку данная математическая модель не учитывает скольжения стопы, находящейся в опоре, то необходимо определить требуемый коэффициент трения f , который должен быть меньше (либо равен) реальному коэффициенту трения между поверхностью и стопой, чтобы этого скольжения не происходило [2]. Требуемый коэффициент трения определяется как отношение горизонтальной реакции под стопой к вертикальной реакции:

$$f = \left| \frac{-\dot{\psi}^2 \cos(\psi_0) - \ddot{\psi} \sin(\psi_0)}{\frac{g}{\rho_c} + \ddot{\psi} \cos(\psi_0) - \dot{\psi}^2 \sin(\psi_0)} \right|. \quad (12)$$

Когда аппарат переступает с одной стопы на другую, то в момент касания стопой поверхности возникает удар. В таком случае коэффициент трения находится как отношение импульса горизонтальной реакции к импульсу вертикальной:

$$f' = \left| \frac{\dot{\psi}' \sin \psi_0 - \dot{\psi} \sin \psi_0}{\dot{\psi}' \cos \psi_0 + \dot{\psi} \cos \psi_0} \right|. \quad (13)$$

На основе математических моделей написана программа для расчета динамики управляемого движения робота и проведения численных исследований. Используются следующие значения исходных данных:

масса аппарата (без маховика и ротора двигателя) $M_R = 1$;

масса маховика $M_m = 0,5$;

масса ротора $M_r = 0,05$;

координата x центра масс аппарата $x_R = 0,05$;

координата y центра масс аппарата $y_R = 0,25$;

координата x центра масс маховика $x_m = 0,05$;

координата y центра масс маховика $y_m = 0,3$;

координата x центра масс ротора двигателя $x_r = 0,05$;

координата y центра масс ротора двигателя $y_r = 0,3$;

момент инерции аппарата относительно опорной точки $J_R = 0,04$;

момент инерции маховика $J_m = 0,0025$;

момент инерции ротора двигателя $J_r = 2,5E-6$;

начальный угол поворота аппарата $\psi_0 = 0$;

начальная угловая скорость аппарата $\dot{\psi}_0 = 0$;

начальный угол поворота ротора двигателя $\phi_0 = 0$;

начальная угловая скорость ротора двигателя $\dot{\phi}_0 = 0$;

коэффициент редукции между двигателем

и маховиком $k = 1$;

коэффициент обратной связи по углу $a_1 = -5$;

коэффициент обратной связи по угловой скорости

$a_2 = -0,5$.

На рис. 3, 4 отображены элементы результатов численных экспериментов. Результатом численного интегрирования уравнений (11) является закон изменения угла поворота аппарата от времени $\psi(t)$, он отображен на графике (см. рис. 3).

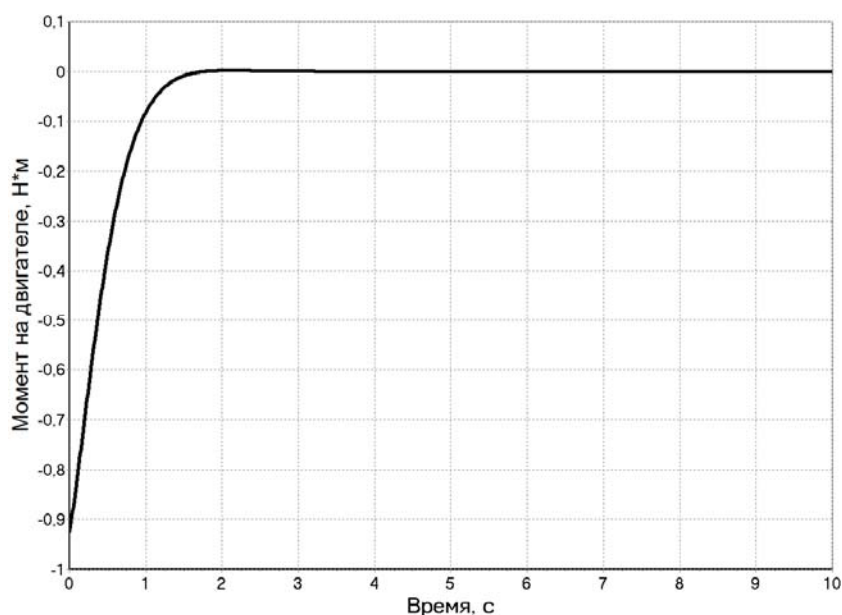


Рис. 4. Зависимость момента двигателя от времени

В начальный период времени крен аппарата (угол ψ) резко увеличивается (1-й этап работы системы автоматического управления) и становится больше, чем программный ($\psi_{пр}$ – угол, при котором аппарат будет в состоянии неустойчивого положения равновесия). Волновой характер графика в районе $\psi_{пр}$ говорит о характере работы системы управления непосредственно в период стабилизации (2-й режим).

Видно, что направление момента на двигателе меняется в этом процессе (обусловлено значениями коэффициентов a_1, a_2). В уравнениях (11) момент на двигателе вычисляется по формуле (10) и его зависимость от времени в процессе движения проиллюстрирована графиком (рис. 4). При $t = 0$ момент максимален и равен моменту от сил тяжести; такое большое значение момента имеет место в небольшой промежуток времени, а затем система автоматического управления использует лишь близкие к нулевым значения момента. Это указывает на то, что в процессе регулирования (когда идет непосредственно процесс стабилизации аппарата в неустойчивом положении) нет необходимости в большом моменте двигателя, а большое значение момента необходимо только для начала движения (когда значение весового момента максимально).

Результаты исследования показали принципиальную возможность управления двуногим

роботом при помощи маховика. Однако рассмотренный способ управления накладывает существенные ограничения на параметры робота. В частности, используемый двигатель должен обеспечивать пусковой момент больший, чем момент сил тяжести робота относительно опорной точки. Это означает, что масса и размеры робота ограничены возможностями доступных двигателей. Использование редуктора принципиально позволяет создать на валу маховика сколь угодно большой момент, но в этом случае возможности управления будут ограничены номинальной угловой скоростью двигателя. Тем не менее, с учетом указанных ограничений, разработка шагающего робота с управлением при помощи маховика возможна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белецкий, В. В. Двуногая ходьба: модельные задачи динамики и управления / В. В. Белецкий. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
2. Лапшин, В. В. Удар тела о поверхность при наличии дополнительной точки соприкосновения: препринт / В. В. Лапшин. – М.: Ин-т прикл. мат. – 2002. – 18 с.
3. Мартыненко, Ю. Г. Гироскопическая стабилизация двухколесного робота-велосипеда / Ю. Г. Мартыненко, А. М. Формальский // Успехи механики. – 2005. – № 2. – С. 120–132.
4. Development and Control of an Inverted Pendulum Driven by a Reaction Wheel / F. Jepsen [and other] // IEEE ICMA 2009. – P. 2829–5127.

УДК 697.95-52

И. В. Волков, В. П. Заярный

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ТЕРМОКОНСТАНТНОМ ПОМЕЩЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Berktytxt@rambler.ru, zvp2000@mail.ru

Рассматривается математическая модель тепловых процессов в термоконтантном помещении, учитывающая основные внешние и внутренние возмущающие воздействия. На основе модели разработан алгоритм термостабилизации для помещений площадью до 50 м², обеспечивающий стабилизацию температуры в пределах 22,00±0,15 °С, при внешней температуре ±10 °С.

Ключевые слова: термоконтантное помещение, термостабилизация, тепловой поток, математическая модель, алгоритм управления.

I. V. Volkov, V. P. Zayarnyi

THERMAL CURRENT MODEL IN THE CLIMATE-CONTROLLED ROOM

Volgograd State Technical University

The mathematical model of thermal processes in the climate-controlled room taking into consideration basic external disturbing influences and internal disturbing influences is considering. The algorithm of the thermostabilisation for premises up to 50 m² providing the temperature stabilization within 22,00±0,15 °С with the external temperature ±10 °С was developed on the base of the model.

Key words: climate-controlled room, cure, heat flux, mathematical model, control algorithm.

В настоящее время в машиностроении при постоянно растущих требованиях к точности производственных процессов остро стоит вопрос создания помещений со стабильными микроклиматическими параметрами. Ключевыми параметрами микроклимата, влияющими на точность производственного оборудования, являются относительная влажность и температура. Важно отметить, что главным являются не абсолютные значения этих параметров, а точ-

ность их поддержания в заданном диапазоне.

В данной статье решается задача стабилизации температуры в термоконстантном помещении (например, заводской лаборатории) для проведения прецизионных измерений и сборки. Так, для подобных лабораторий, согласно [1], требуется точность в пределах $0,2 \dots 0,05$ °С, что является достаточно сложной задачей, решать которую удается для относительно небольших помещений [2, 3] (площадью не более 50 м^2).

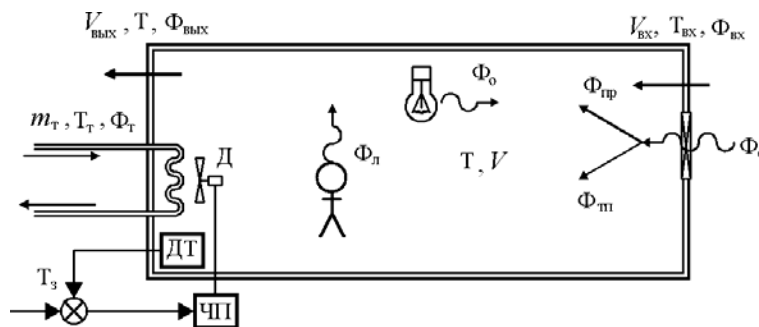


Рис. 1. Технологическая схема основных тепловых процессов в лаборатории

На рис. 1 приведена технологическая схема основных процессов, происходящих в подобной лаборатории. Основными объектами лаборатории являются: частотный привод (ЧП); датчик температуры (ДТ); объем V области регулирования; заданная температура T_3 воздуха; фактическая температура T в помещении; температура $T_{вх}$ входящего в помещение воздуха; объем $V_{вх}$ входящего в помещение воздуха; тепловой поток $\Phi_{вх}$ входящего инфильтрующего воздуха; объем $V_{вых}$ выходящего из помещения воздуха; тепловой поток $\Phi_{вых}$ выходящего инфильтрующего воздуха; масса m_t теплоносителя; температура T_t теплоносителя; тепловой поток Φ_t теплоносителя; явный тепловой поток Φ_l от людей; тепловой поток Φ_o от освещения и электрооборудования в целом; теплоступления $\Phi_{пр}$ через остекленную часть поверхности; теплоступления $\Phi_{тп}$ через заполнения светопроемов за счет теплопередачи в результате разности температур и нагрева стекол солнцем ($\Phi_{тп}$).

Таким образом, в данной схеме учтены практически все возможные факторы, влияющие на состояние температуры кондиционируемого помещения, но степень влияния у них разная, что учтено далее, в модельных представлениях.

Математическая модель тепловых процессов в кондиционируемом помещении разработана, исходя из условия, что изменение температуры в помещении определяется выражением:

$$C_o(T)m \frac{dT}{dt} = \Phi_{вх} - \Phi_t + \Phi_{вых} + \Phi_c + \Phi_o + \Phi_l, \quad (1)$$

где $C_o(T)$ – средняя удельная теплоемкость помещения (воздух, предметы, внутренняя оболочка помещения).

Выражение (1) можно представить в виде:

$$C_o(T)m \frac{dT}{dt} = C_o(T)V_{вх}(T_{вх} - T) - C_t(T)m_t(T_t - T) + C_o(T)V_{вых}(T - T_{вх}) + \frac{I}{R}(T - T_{вх}) + \Phi_{выд};$$

$$\Phi_{выд} = \Phi_c + \Phi_o + \Phi_l,$$

где R – тепловое сопротивление помещения; $C_t(T)$ – удельная теплоемкость теплоносителя; $\Phi_{выд}$ – тепловой поток, выделяемый объектами в помещении.

Зависимость удельной теплоемкости от температуры в данном случае можно считать линейной (согласно [4]), поэтому для воздуха в помещении и теплоносителя можно принять следующие зависимости:

$$C_o(T) = a_n + b_n T; \quad C_t(T) = a_t + b_t T,$$

где a_n ; b_n ; a_t ; b_t – коэффициенты пропорциональности для воздуха и теплоносителя, соответственно.

Изменение объема воздуха в помещении определяется разностью объемных расходов поступающего и откачиваемого воздуха, контролируемых соответствующими датчиками:

$$\frac{dV_B}{dt} = V_{ВХ} - V_{ВЫХ}.$$

Температуру измеряют с помощью термодатчиков типа ТСП с постоянной времени $\tau = 30 \dots 60$ с и чувствительностью порядка $0,01$ °С. Сигнал $U_{дт}$ на выходе термопары изменяется по следующему закону [4]:

$$\tau_{дт} \frac{dU_{дт}}{dt} + U_{дт} = k'_{дт} T,$$

где $\tau_{дт}$ – постоянная времени термопары; $k'_{дт}$ – коэффициент пропорциональности.

Постоянная времени частотного привода и двигателя пренебрежимо мала по сравнению с постоянной времени тепловых процессов, поэтому система «частотный привод – электродвигатель» может быть описана выражением:

$$\frac{dv}{dt} = k'_{чп} U_{yc}; \quad V_{вент} = k'_{дв} n, \quad (2)$$

где U_{yc} – сигнал усилителя рассогласования; n – частота вращения вентилятора; $k'_{чп}$, $k'_{дв}$ – коэффициенты пропорциональности; $V_{вент}$ – производительность вентилятора радиатора ($0 \leq V_{вент} \leq V_{вент}^{max}$).

Регулирование скорости вращения вентилятора не может выходить за пределы максимальной частоты вращения и/или остановки двига-

теля, поэтому уравнение (2) необходимо дополнить следующими условиями:

$$U_{yc} = 0, \text{ если } V_{вент} = 0 \text{ или } V_{вент} = V_{вент}^{max}.$$

Количество тепла, выделенного теплоносителем через радиатор вентилятора, определяется по формуле

$$Q_T = k'_T V_{вент},$$

где k'_T – коэффициент пропорциональности.

С учетом того, что здание отдает тепло ввиду неидеальности ограждающей конструкции, а также во время процесса инфильтрации воздуха, есть некоторая постоянная минимальная величина потери тепла зданием. Эту величину удобно компенсировать некоторым постоянным управляющим воздействием, и уже после этого учитывать переменную составляющую возмущающего воздействия. Поэтому уровень воздействия регулирующего органа E можно представить в виде:

$$E = K \cdot DEV + MEM,$$

где K – коэффициент пропорциональности; DEV – отклонение от регулируемой величины; MEM – элемент памяти регулятора, учитывающий уровень постоянной составляющей возмущающего воздействия.

При больших уровнях отклонения регулируемой величины от заданного значения применение элемента памяти регулятора MEM нецелесообразно, так как в этих диапазонах ставится задача максимально быстрого достижения заданного значения регулируемой величины.

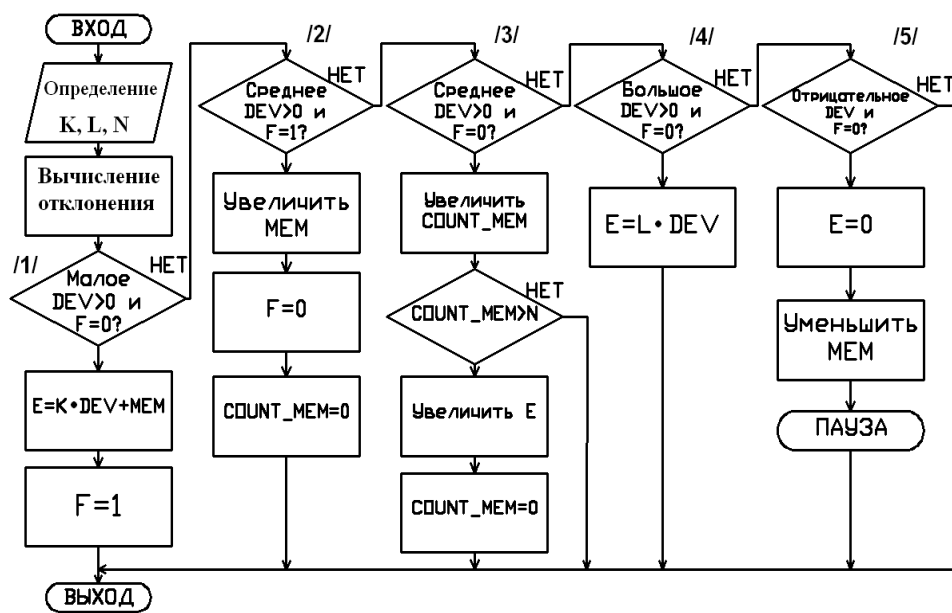


Рис. 2. Алгоритм пропорционального регулятора с элементом памяти

На основе приведенных выше соотношений разработан алгоритм термостабилизации термokonстантной лаборатории, блок-схема которого представлена на рис. 2.

Сначала определяются коэффициенты пропорциональности K и L для малого и большого отклонения от заданного значения регулируемой величины, соответственно, а также величина запаздывания N для случая, когда уровень регулируемой величины меньше заданной на 3–4 шага дискретизации.

После определения указанных коэффициентов вычисляется отклонение регулируемого параметра от заданной величины, что определяет дальнейшую исполнительную ветвь алгоритма.

В момент включения системы (в данном случае нагрев), как правило, имеется большое отклонение регулируемого параметра от его заданного значения, поэтому необходимо с максимально возможной скоростью достичь этого значения, что и обеспечивает ветвь /3/ алгоритма.

При этом необходимо учитывать инерционность как самого объекта, так и исполнительного органа, что учтено при переходе из области большого в область среднего отклонения (ветви /2/ и /3/ алгоритма). В этой области системой определяется значение элемента памяти регулятора, которое позволяет привести статическое возмущающее воздействие внешних факторов к значению, близкому к нулю (в данный момент времени).

После того, как значение элемента памяти регулятора для данного момента времени подобрано, значение отклонения регулируемой величины уменьшается до малого положительного значения (ветвь /1/). После выхода системы на режим малого положительного отклонения, возможны три варианта развития событий:

1) при правильно подобранном значении элемента памяти и заданном коэффициенте пропорциональности, система будет находиться в равновесии при стабильном уровне возмущающего воздействия;

2) возможен «завал» параметра в меньшую сторону в случае неправильного вычисления значения элемента памяти, что приведет к его пересчету по ветви /2/;

3) возможен «завал» параметра в большую сторону (например, перегрев системы в случае нагрева), что приведет к его пересчету по ветви /5/.

В ветви /5/ предусмотрено временное снижение мощности регулирующего органа до 0

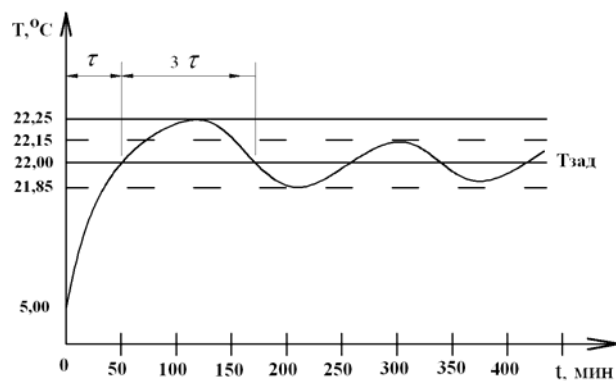


Рис. 3. Характеристика процесса поддержания температуры

(отключение), для снижения вероятности превышения параметра регулируемой величины в виду инертности исполнительного органа и чувствительного элемента.

На основании данного алгоритма и представленной выше модели получена реальная характеристика процесса поддержания температуры в здании площадью 50 м^2 (рис. 3). Во время повышения температуры от $5,00$ до $22,00$ °C данный алгоритм, как правило, не способен обеспечить плавный выход на режим без превышения верхней границы интервала регулирования температуры (рис. 3). Режим устойчивого регулирования обеспечивается через время порядка 3τ , что является пренебрежимо малым значением по сравнению со временем полного прогрева объектов помещения.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет стабилизировать температуру помещения площадью не более 50 м^2 в пределах $22,00 \pm 0,15$ °C, при внешней температуре ± 10 °C.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пособие по проектированию автоматизированных систем управления микроклиматом производственных зданий / Пособие к СНиП 2.04.05-91*. – М.: Стройиздат, 1989. – 216 с.
2. Волков, И. В. Энергосберегающая система охлаждения жилых и производственных помещений / Информационные технологии будущего и современное электронное обучение MODERN IT & (E-) LEARNING // Материалы международной научной конференции 6–8 октября 2009 г / сост. Л. Х. Зайнутдинова. – Астрахань : Нова, 2009. – С. 113–116.
3. Индустрия производителей климатического оборудования LENNOX [Электронный ресурс]. – [2008]. – Режим доступа : <http://www.lennox.ua/html/sprav.php>.
4. Филипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.: ил.

УДК 629.1.03

Н. Е. Евдокимова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЬНОЙ ПРОХОДИМОСТИ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dtm@vstu.ru

Исследуется способ повышения профильной проходимости шагающей машины с несимметричной статически уравновешенной лыжеобразной стопой за счет управления величиной угловой скорости кривошипа механизма шагания.

Применение результатов исследования позволяет шагающей машине преодолевать препятствия, высота которых значительно превышает величину подъема опорной пяты над поверхностью.

Ключевые слова: шагающая машина, профильная проходимость, механизм шагания, стопа, момент сил трения.

N. E. Evdokimova

RESEARCH OF A FIELD-SPECIFIC PASSING ABILITY OF A WALKING

Volgograd State Technical University

The paper considers a method of increasing a field-specific passing ability of a walking machine with an unsymmetrical ski-shaped foot. This foot is statically balanced due to the control of the torque rate in the foot's joint depending on the angular rate of the walking mechanism's crank.

The use of the research results enables a walking machine to overcome obstacles which height significantly exceeds the ascending degree of a carrying cushion above the surface.

Key words: a walking machine, a field-specific passing ability, a walking mechanism, a foot, torque rate.

Одними из основных эксплуатационных критериев оценки качества шагающих машин являются показатели профильной проходимости. В конструкции шагающей машины «Восьминог» [1] шагающие движители установлены на двух несущих балках, с одной стороны шарнирно присоединенных к корпусу машины, а с другой – упруго подвешенных в вертикальной плоскости, что позволяет машине адаптироваться к микронеровностям опорной поверхности, сохранять гарантированный контакт с ней в пределах упругой деформации подвески.

Относительная траектория опорной пяты (точка *D*, рис. 1) четырехзвенного механизма шагания строго определена размерами его звеньев, возможность преодоления единичных препятствий ограничена высотой подъема опорной пяты над опорной поверхностью.

Однако вследствие того, что опорная стопа механизма шагания шагающей машины «Восьминог» имеет лыжеобразную форму, то существует возможность преодоления единичных препятствий, высота которых превышает величину подъема опорной пяты над поверхностью, по которой перемещается машина.

При максимально допустимом угле наклона стопы, определяемом геометрией опорной стопы и параметрами относительной траектории, максимальная высота преодолеваемого препятствия равна:

$$H \approx 2h, \tag{1}$$

где *h* – высота шага (максимальная разность вертикальных координат траектории опорной пяты в ее относительном движении); *L* – длина опорной лыжеобразной стопы.

Закон изменения относительного угла поворота опорной стойки – α – в фазе ее переноса (участок *BA*, рис. 2) зависит от момента сил со-

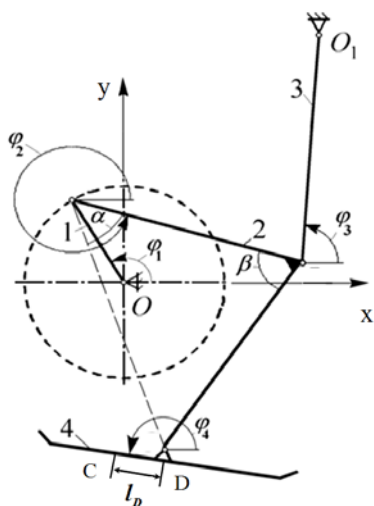


Рис. 1. Схема механизма шагания:
1 – кривошип; 2 – Г-образный шатун (опора); 3 – коромысло;
4 – лыжеобразная стопа

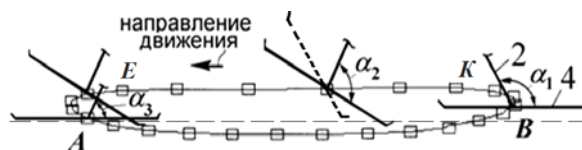


Рис. 2. Траектория опорной точки *D* механизма шагания с характерными положениями стопы при прямолинейном движении машины

* Работа выполнена при поддержке РФФИ проект № 09-08-00802.

противления в цилиндрическом шарнире, соединяющем опорную пятую со стопой. Максимальный угол отклонения стопы от горизонтального положения реализуется при значениях предельного момента трения в шарнире опорной пяты, превышающих значения моментов внешних сил и сил инерции, действующих на нее. В этом случае угол поворота стопы определяется кинематикой механизма шагания, т. е. определяется изменением угла φ_2 (рис. 1). На рис. 2 показаны значения угла наклона α стопы в различных точках траектории. На участке AB траектории (рис. 2), стопа находится в фазе опоры на грунт ($\varphi_4 = \pi$).

Опытный образец шагающей машины при максимальной высоте подъема опорной точки механизма шагания 0,125 м преодолевал препятствия высотой до 0,25 м [3].

В случае применения несимметричной статически уравновешенной [4] лыжеобразной стопы максимально возможная высота преодолеваемого препятствия равна

$$H = L \cdot l / h, \quad (2)$$

где l – расстояние от шарнира опорной пяты до «пяточки стопы».

Движение шагающей машины по вязкому грунту сопровождается налипанием грунта на стопу. В этом случае стопа шагающей машины неуравновешенна, и моменты внешних сил и сил инерции могут быть больше предельного значения момента сил трения, и угол наклона стопы к грунту, определяющий максимально возможную высоту преодолеваемого препятствия, необходимо определять из уравнений динамики движения стопы.

В этом случае величина момента сил трения в подшипниках опорной пяты определяется по следующей формуле:

$$M_{\text{тр}} = f \cdot Nd / 2, \quad (3)$$

где N – модуль нормальной реакции; d – диаметр круга трения в паре; f – коэффициент трения скольжения.

Модуль нормальной силы, возникающей во вращательной паре, зависит от внешних сил и сил инерции, действующих на опорную стопу

$$\begin{aligned} N_{x_D} &= m \left[\ddot{x}_D + f (g + \ddot{y}_D) \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2) + (\cos \varphi_4 + f \sin \varphi_4 \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2)) l_D \omega_z^2 + \right. \\ &\quad \left. + (\sin \varphi_4 - f \cos \varphi_4 \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2)) l_D \dot{\omega}_z^2 \right]; \\ N_{y_D} &= m \left[g + \ddot{y}_D - f \ddot{x}_D \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2) + (\sin \varphi_4 + f \cos \varphi_4 \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2)) l_D \omega_z^2 - \right. \\ &\quad \left. - (\cos \varphi_4 - f \sin \varphi_4 \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2)) l_D \dot{\omega}_z^2 \right]; \\ I_{Dz} \cdot \dot{\omega}_z &= m l_D \left[(g + \ddot{y}_D) \cos \varphi_4 - \ddot{x}_D \sin \varphi_4 \right] + M_{\text{тр}}. \end{aligned} \quad (7)$$

в фазе переноса, т. е. является функцией ускорения опорной пяты шатуна механизма шагания. В режимах специального маневрирования, к которым относится и режим преодоления значительных препятствий, динамикой шагающей машины можно пренебречь и учитывать только силы инерции от относительного движения механизма шагания. Тогда все силы, действующие в паре, приводятся к одной силе, нормальной боковой цилиндрической поверхности подшипников.

Сила трения вычисляется по формуле

$$\vec{F}_{\text{тр}} = f \cdot \frac{\vec{\omega} \cdot \vec{N}}{|\vec{\omega}|}, \quad (4)$$

а ее проекции на координатные оси, соответственно:

$$\begin{aligned} F_{\text{тр}x} &= -f \cdot N_{y_D} \cdot \text{sign} \omega, \\ F_{\text{тр}y} &= -f \cdot N_{x_D} \cdot \text{sign} \omega, \end{aligned} \quad (5)$$

где ω – относительная угловая скорость оси шарнира опорной стопы; N_{x_D}, N_{y_D} – проекции полной реакции в опорной точке шатуна механизма шагания.

Дифференциальные уравнения плоскопараллельного движения опорной стопы в фазе переноса имеют вид:

$$\begin{aligned} m \ddot{x}_C &= N_{x_D} - f \cdot N_{y_D} \cdot \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2), \\ m \ddot{y}_C &= N_{y_D} - mg + f \cdot N_{x_D} \cdot \text{sign}(\omega_z - \dot{\varphi}_2), \\ I_{Cz} \dot{\omega}_z &= l_D \cos \varphi_4 \cdot N_{y_D} - l_D \sin \varphi_4 N_{x_D} + M_{\text{тр}}. \end{aligned} \quad (6)$$

где m – масса стопы; \ddot{x}_C, \ddot{y}_C – проекции ускорения центра масс на координатные оси; I_{Cz} – момент инерции стопы относительно центральной оси, перпендикулярной плоскости движения; $\varphi_4, \omega_z, \dot{\omega}_z$ – угол поворота, угловая скорость и угловое ускорение стопы в относительном движении вокруг оси, перпендикулярной плоскости движения; $\dot{\varphi}_2$ – угловая скорость шатуна; l_D – расстояние между центром масс и опорной точкой шатуна механизма шагания; $M_{\text{тр}}$ – момент сил трения в опорной пяте механизма шагания.

Записывая уравнения, связывающие скорости и ускорения опорной точки и центра масс стопы, и с учетом (5), (6), найдем:

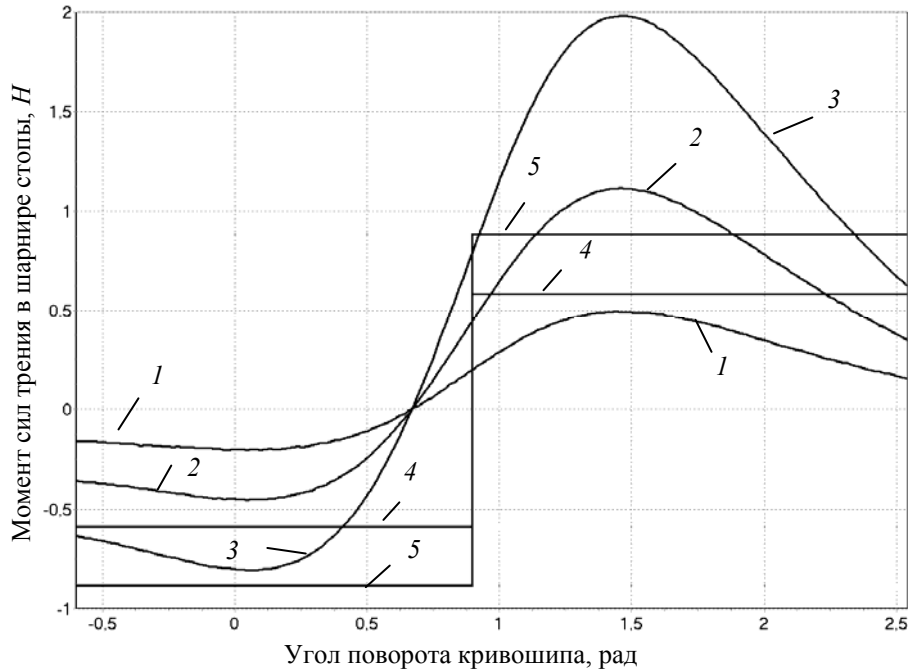


Рис. 3. Зависимость сил трения в шарнире стопы от угла поворота кривошипа:
 1, 2, 3 – момент сил трения, необходимый для отсутствия относительного вращения стопы;
 (1) – $\omega = 1c^{-1}$; (2) – $\omega = 1,5c^{-1}$; (3) – $\omega = 2c^{-1}$; 4, 5 – предельный момент сил трения для различных
 коэффициентов сил трения во вращательной паре: (4) – $f = 0,1$; (5) – $f = 0,15$

Здесь $I_{Dz} = I_{Cz} + ml_D^2$ – момент инерции стопы относительно оси, перпендикулярной плоскости движения и проходящей через точку D . При наличии относительного движения в шарнире стопы реализуется предельный момент сил трения (3). В отсутствии относительного движения во вращательной паре, связывающей стопу с кривошипом механизма шагания:

$$\omega_z = \dot{\varphi}_2, \quad M_{тр} \leq M_{тр}^{max}. \quad (8)$$

Проекции сил реакций и действующий момент сил трения в этом случае равны:

$$\begin{aligned} N_{x_D} &= m[\ddot{x}_D + l_D \dot{\varphi}_4^2 \cdot \cos \varphi_4 - l_D \ddot{\varphi}_4 \cdot \sin \varphi_4] \\ N_{y_D} &= m[g + \ddot{y}_D + l_D \dot{\varphi}_4^2 \cdot \sin \varphi_4 - l_D \ddot{\varphi}_4 \cdot \cos \varphi_4] \\ M_{тр} &= J_{Dz} \ddot{\varphi}_4 - ml_D [(g + \ddot{y}_D) \cos \varphi_4 - \ddot{x}_D \sin \varphi_4]. \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 2, 3, 4 представлены зависимости реализуемого и предельного моментов сил трения в зависимости от угла поворота кривошипа механизма шагания для различных значений его угловой скорости для этого случая и $l_D = 0$.

Так как вертикальное ускорение опорной точки шатуна $\ddot{y}_D \ll g$, то $M_{тр}^{max} \approx const$.

$$\begin{aligned} [I_{Dz} / m + l_D (\rho_1 \sin \varphi_4 - \rho_2 \cos \varphi_4)] \dot{\omega}_z = & - [l_D (\sin \varphi_4 + f \cos \varphi_4 \cdot \text{sign } \omega) + \rho_1] \ddot{x}_D + \\ & + [l_D (\cos \varphi_4 + f \sin \varphi_4 \cdot \text{sign } \omega) - \rho_2] (g + \ddot{y}_D) + f \cdot l_D \cos 2\varphi_4 \cdot (\omega_z^2 + \dot{\omega}_z) \text{sign } \omega - \\ & - l_D (\rho_1 \cos \varphi_4 + \rho_2 \sin \varphi_4). \end{aligned} \quad (11)$$

Как видно из графиков, изображенных на рис. 3, для угловых скоростей вращения кривошипа $\omega > 1c^{-1}$ существуют интервалы изменения угла поворота кривошипа, когда условия, необходимые для отсутствия относительного скольжения во вращательной паре, не выполняются. В эти интервалы движения необходимо интегрировать систему уравнений (9).

Для получения приближенного линейного выражения момента сил трения от внешних сил, а, следовательно, и от ускорения стопы воспользуемся формулой Понселе, в соответствии с которой нормальную реакцию можно представить в виде [5]:

$$N = k_1 N_{x_D} + k_2 N_{y_D}; \quad (10)$$

$$k_1 = 0,96, \quad k_2 = 0,398 \quad \text{при } N_{x_D} > N_{y_D};$$

$$k_1 = 0,398, \quad k_2 = 0,96 \quad \text{при } N_{x_D} < N_{y_D}.$$

Формула Понселе получена из условия наилучшего равномерного приближения и дает максимальную погрешность не более 4 %, что значительно меньше погрешности определения значения коэффициента трения.

Тогда дифференциальное уравнение, линейное относительно углового ускорения стопы, имеет вид:

Здесь введены обозначения: $\omega = \omega_z - \dot{\phi}_2$,
 $\rho_1 = f \cdot k_1 d / 2 \cdot \text{sign } \omega$; $\rho_2 = f \cdot k_2 d / 2 \cdot \text{sign } \omega$.

Интегрируя дифференциальное уравнение (11) и считая заданными законы изменения проекций ускорения точки крепления стопы

\ddot{x}_D, \ddot{y}_D , определяем зависимость изменения угла поворота стопы и момента сил трения в цилиндрическом шарнире опорной пяты в фазе переноса от угла поворота ведущего кривошипа механизма шагания.

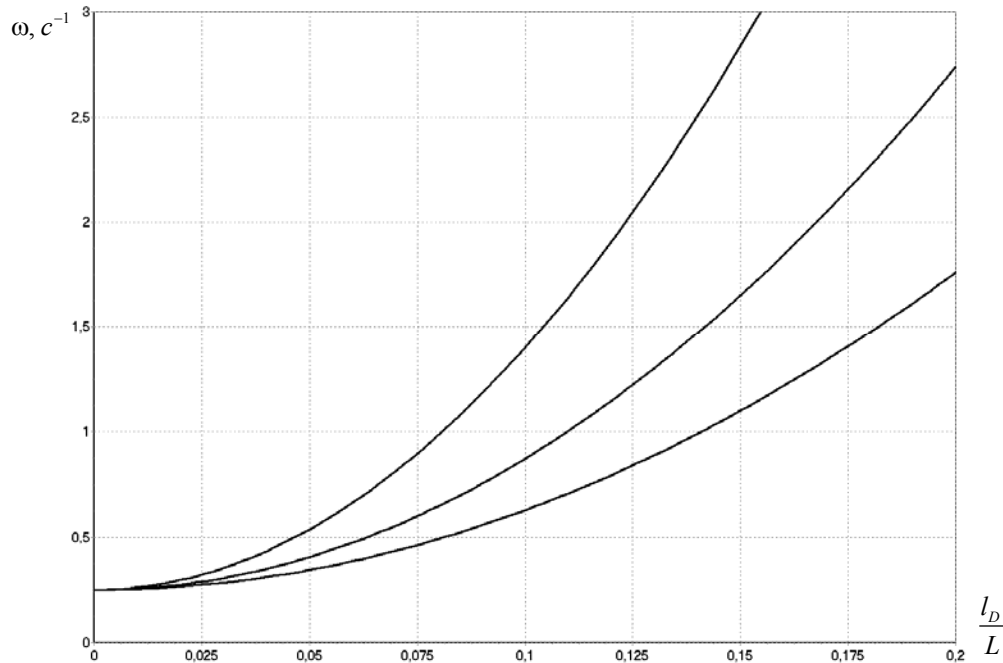


Рис. 4. Зависимость угловой скорости кривошипа механизма шагания от степени неуровненности стопы:
 1. $H = 0,25$ м; 2. $H = 0,4$ м; 3. $H = 0,5$ м

На рис. 4 показаны зависимости угловой скорости вращения кривошипа от величины неуровненности (l_D/L) стопы для различных значений высоты преодолеваемого препятствия. Расчеты проведены для коэффициента трения скольжения $f = 0,15$, диаметра круга трения $d = 0,04$ м, $l_D/L = 0,25$.

Таким образом, при уравновешенной стопе преодоление значительных препятствий необходимо осуществлять на малой скорости движения машины.

При неуровненной стопе для преодоления препятствий необходимо увеличивать скорость движения машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 1. Концепция проек-

тирования / Е.С. Брискин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 5. – С. 22–27.

2. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 3. Алгоритмы управления движением шагающих машин серии «Восьминог» и экспериментальные исследования / Е. С. Брискин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 7. – С. 13–18.

3. П. м. 54891 Российская Федерация, МПК В 62 D 57/032. Шагающая опора для транспортных средств повышенной проходимости / Н. Е. Фролова, Е. С. Брискин, В. В. Жога ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2006111038/22; заявл. 05.04.2006; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21 (IV ч.).

4. Механика промышленных роботов. В 3 кн. Кн. 1. Кинематика и динамика : учеб. пособие / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Высш. шк., 1988. – 304 с.

УДК 519.63

М. А. Еремин, В. Н. Любимов

**ТРЕХМЕРНЫЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ***

Волгоградский государственный университет

E-mail: ereminmikhail@gmail.com, vnlubimov@gmail.com

Разработан параллельный код для численного моделирования процессов космической газодинамики с учетом тепловых процессов. Представлены результаты трехмерного моделирования неупругих столкновений облаков межзвездного газа HI на сетках с высоким разрешением. Эффективность полученной параллельной программы около 90 %.

Ключевые слова: параллельный код, TVD-схемы, межзвездная среда, облака HI.

M. A. Eremin, V. N. Lubimov

**THE THREE DIMENSIONAL PARALLEL CODE FOR MODELLING OF PROCESSES
IN THE INTERSTELLAR MEDIUM**

Volgograd State University

The parallel code for the numerical simulations of cosmic gasdynamics processes with taking into account the volume cooling and thermal heating are developed. The results of the three-dimensional high-resolution numerical modeling of the inelastic interstellar HI clouds collisions are presented. The parallel program efficiency is about 90 %.

Key words: the parallel code, the TVD schemes, the interstellar medium, HI clouds.

Введение

Моделирование процессов космической газодинамики всегда являлось чрезвычайно ресурсоемкой сферой применения численных расчетов. Процессы, протекающие в астрофизических системах, являются трехмерными и, как правило, существенно нестационарными. Исследование подавляющего числа астрофизических задач может быть выполнено только численно в силу ограниченности аналитических методов. Отметим, что физические условия в астрофизических системах часто приводят к образованию ударных волн и сильной турбулизации межзвездной среды. Для адекватного моделирования астрофизических систем необходимо использовать трехмерные численные схемы и высокое пространственное разрешение. Вышеуказанные требования приводят к обязательности применения технологий параллельного программирования в численном моделировании астрофизических процессов.

Целями данной работы являются:

- разработка параллельной трехмерной TVD-схемы для моделирования процессов космической газодинамики;
- применение полученного кода для численного моделирования неупругого столкновения облаков HI в многофазной межзвездной среде с учетом тепловых процессов;

- исследование эффективности разработанной параллельной программы.

Основные уравнения

Процесс столкновения облаков атомарного водорода HI, помещенных в теплую межзвездную среду, может быть описан уравнениями ньютоновской газовой динамики в одножидкостном приближении. Предположим, что межзвездный газ является идеальным и политропным с показателем адиабаты $\gamma = 5/3$.

Система уравнений газовой динамики с учетом тепловых процессов в межзвездной среде записывается в виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0, \\ \frac{\partial \rho \vec{u}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u} \otimes \vec{u}) = -\vec{\nabla} p, \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot ([E + p] \vec{u}) = -\vec{\nabla} [k(T) \vec{\nabla} T] - L(p, n). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\rho, p, \vec{u} = \{u, v, w\}$ – плотность, давление и вектор скорости газа, соответственно;

$E = \rho \left(e + \frac{u^2}{2} \right)$ – объемная энергия; $k(T)$ – коэффициент теплопроводности;

$L(p, n) = \Lambda(T)n^2 - \Gamma(T)n$ – функция тепловых потерь; $\Lambda(T)$ – функция объемного охлаждения; $\Gamma(T)$ – функция объемного нагрева. Для идеального газа удельная энергия определяется выражением:

* Работа поддержана грантами РФФИ № 07-02-01204, № 09-02-97021 и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009НК-21(7)).

$e = \frac{p}{\rho(\gamma - 1)}$. Связь между давлением и температурой задается уравнением состояния: $p = nk_B T$, где k_B – постоянная Больцмана.

Численная схема

Для компьютерного моделирования неупругих столкновений облаков в межзвездной среде мы реализовали явную численную схему для системы уравнений газовой динамики (1) в декартовой системе координат. При построении численной схемы использовался метод расщепления по физическим процессам, согласно которому численное решение строится как решение уравнений, описывающих различные физические процессы.

Гидродинамические процессы, описываемые левой частью уравнений, представляют собой уравнения в частных производных гиперболического типа, для которых разработаны схемы неубывания полной вариации TVD [1], эффективно подавляющие нефизичные осцилляции численного решения на скачках. Реализованная пространственно-нерасщепленная TVD-схема относится к типу MUSCL [2], имеет третий порядок аппроксимации по пространству в областях гладкого течения и первый на разрывах. За счет применения алгоритмов пересчета типа Рунг – Кутта, реализованная численная схема обладает вторым порядком по времени.

Учет тепловых процессов, описываемых правой частью системы (1), сводится к коррекции тепловой энергии на каждом временном слое после расчета гидродинамических параметров течения. Изменение внутренней энергии за счет тепловых процессов описывается уравнением на внутреннюю энергию, которое решалось численно как с помощью метода подшагов, так и с помощью метода, предложенного в работе [3].

Параллельная реализация

Распараллеливание численного кода производилось с использованием технологии MPI – наиболее распространенной на данный момент параллельной библиотеки для вычислительных систем MPP-архитектуры. При параллельном расчете на каждом узле вычислительного кластера производится расчет части расчетной области. Взаимодействие соседних подобластей происходит посредством обмена границами. Для пересылки данных между процессами использовались асинхронные функции стандарта

MPI [4], что сделало возможным продолжение вычислений на фоне обмена границами. Это позволило свести к минимуму издержки распараллеливания.

Все расчеты и тесты проводились на одном из суперкомпьютеров кафедры теоретической физики и волновых процессов ВолГУ – вычислительном кластере фирмы T-Platforms, имеющем 40 ядер и 40 ГБ оперативной памяти. Система состоит из 5 узлов, объединенных высокоскоростной шиной InfiniBand. Каждый узел содержит по 2 процессора Intel Xeon L5320 1,86 ГГц и 8 ГБ оперативной памяти. Данная вычислительная система позволяет производить расчеты с разрешением до 600^3 ячеек, что при учете симметрии в некоторых задачах соответствует эффективному разрешению 1200^3 .

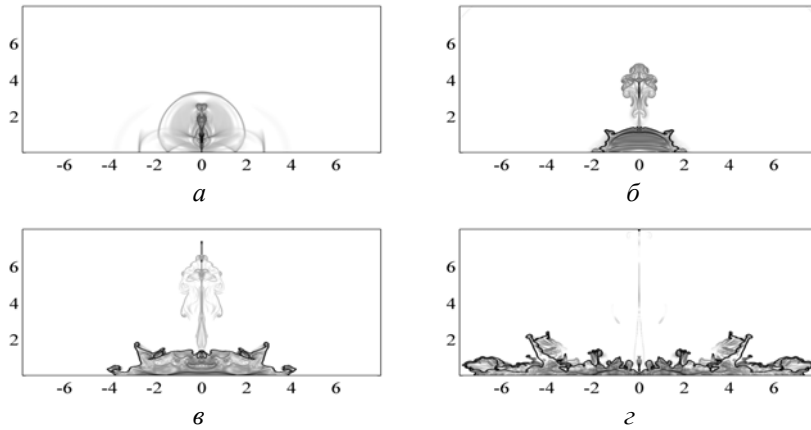
Численная модель столкновения облаков HI

Отметим, что численное моделирование столкновений облаков рассматривалось ранее (см., например [3, 5, 6]); тем не менее, целый ряд вопросов остался без рассмотрения, особенно в трехмерном случае.

С помощью разработанной программы было проведено трехмерное численное моделирование столкновений межзвездных облаков с высоким разрешением, что сделало возможным наблюдение развития гидродинамических и тепловых неустойчивостей, играющих решающую роль в разрушении холодных плотных облаков HI. В данной работе представлена одна из моделей – симметричное столкновение идентичных облаков HI с учетом тепловых процессов.

Параметры модели: радиус сталкивающихся облаков 1,5 пк; в начальный момент времени температура и концентрация газа, отвечающих теплой фазе, равны $T_w = 10^4$ К и $n_w = 0,1$ г/см³, температура плотных холодных облаков HI $T_c = 80$ К, концентрация газа в них $n_c = 10$ г/см³; облака начинают движение навстречу друг другу с относительным числом Маха $M = u_c / c_w = 1,5$, где c_w – адиабатическая скорость звука в межоблачной среде; u_c – скорость движения облака.

На рисунке показаны основные стадии эволюции: *a* – стадия компрессии или сжатия, когда ударные волны, образовавшиеся при столкновении, распространяются наружу; *b* – стадия перерасширения, на которой волны разрежения, распространяясь к центру, формируют область низкого давления и плотности; *в* – стадия коллапса, когда расширение останавливается дав-



Численный теневой шлирен ($\lg(|\nabla\rho|/\rho)$) для трехмерной модели лобового столкновения идентичных облаков (сечение плоскостью $Z = 0$)

лением внешней окружающей среды, на этой стадии развивается неустойчивость Релея – Тейлора; z – стадия разрушения облаков.

Следует отметить, что для адекватного моделирования лобовых столкновений идентичных облаков необходимо использовать модели с высоким пространственным разрешением (не менее 50 ячеек на радиус облака). Только в таких моделях возможно образование филаментных структур, приводящих к фрагментации облаков. В противном случае происходит сильная деградация численного решения, вследствие чего возможно формирование нового облака, полученного в результате слияния двух сталкивающихся облаков, что как раз и наблюдалось в работе [3].

Эффективность распараллеливания и масштабируемость

Эффективность программы определялась как отношение ускорения программы S при использовании p процессоров к числу процессоров:

$$E = \frac{S_p}{p}$$

Ускорение программы вычисляется как отношение времени выполнения параллельной

программы T_p ко времени выполнения последовательной программы T_1 :

$$S_p = \frac{T_1}{T_p}$$

В тестах использовалась версия программы с блокирующей пересылкой данных. Этот вариант более медленный, но при использовании асинхронной пересылки данных невозможен корректный подсчет времени обмена границами, что важно в нашем тесте. Результаты различных запусков программы приведены в таблице.

Эффективность программы составляет около 90 %. При этом все издержки заключены в затратах времени на обмен границами (порядка 10 %), которые можно свести к минимуму, используя асинхронные функции пересылки данных.

Основные выводы

В заключение нашей работы сформулируем основные выводы:

1. Разработана и реализована трехмерная параллельная схема для численного моделирования процессов космической газодинамики.
2. Разработанный код обладает хорошей масштабируемостью и высокой эффективностью (порядка 90 %).

Эффективность программы в зависимости от количества используемых процессоров

Количество процессоров	Время выполнения программы (с)	Время обмена границами (с)	Доля времени обмена границами (%)	Эффективность программы (%)
1	32082	0	0	100
8	4359	37,72	0,87	92
16	2095	112,21	5,36	95,71
24	1447	94,15	6,51	92,38
32	1162	123,27	10,61	86,27
40	921	93,67	10,17	87,09

3. Моделирование столкновений облаков HI с использованием полученного кода показывает, что в результате взаимодействия происходит разрушение облаков с образованием filamentных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Harten, A. High Resolution Schemes for Hyperbolic Conservation Laws // Journal of Computational Physics. – 1983. – Vol. 49, № 3. – P. 357.
2. Van Leer, B. Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second order sequel to Godunov's methods. // Journal of Computational Physics. – 1979. – Vol. 32, № 1. – P. 101–136.
3. Miniati, F., Jones, T. W., Ferrara, A., Ryu, D. Hydrodynamics of Cloud Collisions in Two Dimensions: The Fate of Clouds in a Multiphase Medium // The Astrophysical Journal. – 1997. – 491, P. 216.
4. Антонов, А. С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. / А. С. Антонов. – М. : МГУ, 2004. – 71 с.
5. Lattanzio, J. S., Monaghan, J. J., Pongracic, H., Schwartz, M. P. Interstellar Cloud Collisions // Monthly Notes of the Royal Astronomical Society. – 1985. – Vol. 215. – P. 125.
6. Miniati, F., Ryu, D., Ferrara, A., Jones T. W. Magnetohydrodynamics of Cloud Collisions in a Multiphase Interstellar Medium // The Astrophysical Journal. – 1999. – Vol. 510. – P. 726–746.

УДК 519.63

М. А. Еремин, А. В. Хоперсков, С. А. Хоперсков

КОНЕЧНО-ОБЪЕМНАЯ СХЕМА ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Волгоградский государственный университет

E-mail: ereminmikhail@gmail.com, khoperskov@volsu.ru

Разработана и реализована конечно-объемная численная схема для решения уравнений динамики газа с учетом внешних сил. Алгоритм расчета адаптирован на случай наличия в расчетной области границы раздела «газ – вакуум». Проведенные тестовые расчеты демонстрируют универсальность и адекватность построенной схемы для моделирования сложных нестационарных течений, включающих гидродинамические разрывы и развитие неустойчивостей.

Ключевые слова: численные схемы, уравнения газовой динамики, TVD-схема.

М. А. Eremin, A. V. Khoperskov, S. A. Khoperskov

FINITE VOLUME SCHEME OF INTEGRATION FOR HYDRODYNAMICS EQUATIONS

Volgograd State University

Finite volume numerical scheme was created and implemented for hydrodynamic equations with the external forces. The calculation algorithm was adapted in case of vacuum presence in the computational domain. The calculation tests show of the scheme universality and adequacy for simulations of complex unsteady flow, including hydrodynamic discontinuities and instabilities development.

Key words: numerical modeling, gas dynamics equations, TVD-scheme.

1. Численные гидродинамические модели

Уравнения гидродинамики являются основной для решения широкого круга задач, связанных с моделированием объектов и процессов самой различной природы. Особый интерес связан с описанием сложных многомерных нестационарных гидродинамических течений, которые включают ударные волны, волны разрежения, контактные и тангенциальные разрывы, динамические границы между веществом и вакуумом, внешние сильно неоднородные силовые поля, турбулентность среды. Указанные особенности течений предъявляют специальные

требования к численным схемам в случае сквозного счета, когда априори структура течения не известна. Такие задачи являются типичными при изучении быстрого обтекания твердых тел сложной геометрии, взрывов, астрофизических объектов, динамики жидкости на сложном рельефе и т. д. (например [1, 2, 3]).

Запишем систему уравнений гидродинамики в дивергентной форме:

$$\frac{d\bar{U}}{dt} + \bar{\nabla} \cdot \bar{F} = \bar{S}, \quad (1)$$

где $\bar{U} = [\rho, \rho v_1, \rho v_2, \rho v_3, E]$ – вектор физических величин; $\bar{S} = [0, \rho \bar{f}, \rho \bar{v} \cdot \bar{f}]$ – вектор источников; $\bar{F} = [\rho \bar{v}, \rho \bar{v} \cdot \bar{v} + p \hat{I}, (E + p) \bar{v}]$ – вектор потоков; $\hat{I} = \text{diag}[1, 1, 1]$; t – время; ρ – объемная плот-

* Работа выполнена в рамках грантов РФФИ 10-07-97017, 09-02-97021 и 2009НК-21(7). Авторы благодарны А. В. Засову за поддержку расчетов на СКИФ МГУ «Чебышев».

ность газа; p – давление; $\bar{v} = [v_1, v_2, v_3]^T$ – вектор скорости; \bar{f} – вектор внешних сил; $E = \rho(e + \bar{v}^2 / 2)$ – полная энергия; e – удельная внутренняя энергия. Для идеального газа справедливо уравнение состояния $e = p / [\rho(\gamma - 1)]$, γ – показатель адиабаты.

2. Численная TVD-схема

Система (1) является системой уравнений в частных производных гиперболического типа. Дополним ее граничными и начальными условиями:

$$\begin{cases} \bar{U}(t, G) = \bar{U}(g), \\ \bar{U}(0, G) = \bar{U}_0, \end{cases} \quad (2)$$

где G – расчетная область; g – граница расчетной области.

Будем основываться на идеологии класса методов Total Variation Diminishing (TVD) [4]. Этот подход удовлетворяет условию невозрастания полной вариации, сохраняет монотонность численного решения для большинства задач (и нет необходимости вводить искусственную вязкость).

Более эффективным способом дискретизации уравнений на заданной сетки, по сравнению с традиционным методом конечных разностей, представляется интегро-интерполяционный подход (метод конечных объемов), поскольку в этом случае законы сохранения выполняются на сеточном уровне [1]. При этом значения сеточных функций заменяются средними значениями по объему ячеек, а производные вычисляются по функциям на границах ячеек. Интегрируя систему уравнений (1) по области G с границей g , получим интегральное уравнение, которое справедливо как для гладких, так и разрывных решений:

$$\frac{d}{dt} \int_G \bar{U} dG + \int_G \bar{\nabla} \cdot \bar{F} dG = \int_G \bar{S} dG. \quad (3)$$

Рассмотрим произвольное сеточное пространство, покрытое связанными выпуклыми объемами ΔG_{ijk} . Применяя (3) для конечных объемов ΔG_{ijk} , и интегрируя по дискретной области конечного объема, запишем:

$$\int_{\Delta G_{ijk}} \frac{\partial}{\partial t} \bar{U} dG + \int_{\Delta G_{ijk}} \bar{\nabla} \cdot \bar{F} dG = \int_{\Delta G_{ijk}} \bar{S} dG. \quad (4)$$

С учетом теоремы Гаусса – Остроградского, перепишем (4) в виде:

$$\frac{\Delta U_{ijk}}{\Delta t} \Delta G_{ijk} = -F^* \Delta g_{ijk} + S^* \Delta G_{ijk}, \quad (5)$$

где F^* и S^* – величины, усредненные по интервалу времени Δt .

Интегрирование уравнения (5) по времени целесообразно вести с помощью быстрого явного метода, который не понижал бы точность численной схемы. Наиболее удобен метод Рунге – Кутты второго порядка точности. В рамках двухшагового шаблона продвижения по времени на подшаге предиктор вычисляются значения физических величин для фиктивного временного шага $t + \Delta t$:

$$\bar{U}_{ijk}^{(n+1)*} = \bar{U}_{ijk}^n + \Delta t \cdot \Phi(\bar{U}_{ijk}^n). \quad (6)$$

Тогда на подшаге корректор для фиктивного временного шага $t + 2\Delta t$:

$$\bar{U}_{ijk}^{(n+2)*} = \bar{U}_{ijk}^{(n+1)*} + \Delta t \cdot \Phi(\bar{U}_{ijk}^{(n+1)*}), \quad (7)$$

где Φ – оператор в сеточном пространстве, представленный правой частью уравнения (5). Величины на реальном временном слое $n + 1$ можно найти усреднением:

$$\bar{U}_{ijk}^{n+1} = 0,5 \cdot (\bar{U}_{ijk}^n + \bar{U}_{ijk}^{(n+2)*}). \quad (8)$$

Шаг по времени Δt ограничивается условием устойчивости типа Куранта – Фридрихса – Леви, которое для схемы с расщеплением по пространству имеет вид

$$\Delta t = C \cdot \min \left(\frac{\Delta l_{ijk}^1}{|v_1| + c_s}, \frac{\Delta l_{ijk}^2}{|v_2| + c_s}, \frac{\Delta l_{ijk}^3}{|v_3| + c_s} \right), \quad (9)$$

где $C < 1$ – число Куранта; $\Delta l_{ijk}^1, \Delta l_{ijk}^2, \Delta l_{ijk}^3$ – линейные размеры элементарного конечного объема; c_s – адиабатическая скорость звука.

Для вычисления потоков физических величин через границы ячеек будем использовать решение задачи Римана, на котором основаны так называемые методы Годунова [5]. Использование точного решения задачи Римана является крайне ресурсоемким, поскольку требует в каждой ячейке расчетной сетки решения нелинейного алгебраического уравнения. Воспользуемся приближенным подходом, основанным на модифицированном методе Хартена – Лаксаван Лира (HLLC), который позволяет одновременно учитывать наличие ударных волны, контактных и тангенциальных разрывов [6]. Расчет потоков величин на границах ячеек определяется соотношениями между характеристическими скоростями

$$s_L = \min(u_L - c_L, u_R - c_R)$$

$$\text{и } s_R = \max(u_L + c_L, u_R + c_R),$$

где $u_{L,R}$, $c_{L,R}$ – скорость газа и скорость звука соответственно слева и справа от границы ячейки. Для нахождения потоков физических величин через границы ячеек выберем кусочно-непрерывное распределение величин внутри них $\bar{U}(t, x) = \bar{U}(t, x_i) + \bar{Q}(t, x - x_i)$ (\bar{Q} – вектор наклонов распределений физических величин [1]). Для построения монотонного решения, удовлетворяющего условию невозрастания полной вариации (условие TVD), наклоны распределений величин внутри ячеек должны быть ограничены:

$$\bar{Q} = \Theta \left(\frac{\bar{U}_{i+1} - \bar{U}_i}{\Delta x}, \frac{\bar{U}_i - \bar{U}_{i-1}}{\Delta x} \right), \quad (10)$$

где Θ – функция-ограничитель. Анализ показывает, что эффективным ограничителем является функция $\min \text{mod}$:

$$\Theta(a, b) = \min \text{mod}(a, b) = \frac{1}{2} [\text{sign}(a) + \text{sign}(b)] \min(|a|, |b|). \quad (11)$$

Для сквозного расчета течений, у которых возникают области «вакуума» (очень низкой плотности), описываемый алгоритм моделирования на основе сеточного метода обобщен на случай наличия внутри G границы раздела «газ – вакуум», для учета которых обычно применяются лагранжевы методы типа SPH [7]. В основе развиваемого сеточного метода лежит отслеживание положительности плотности (давления) на этапе вычисления величин на границах ячеек после применения функции-ограничителя. При потери на этом этапе позитивности все физические величины на границе полагаем равными нулю. Затем при вычислении потоков физических величин с помощью метода HLLC необходимо использовать модифицированные характеристические скорости $s_L^* = c_L - 2c_R/\gamma$, $s_R^* = u_L + c_R$, если вакуум слева от границы ячейки, и $s_L^* = u_L - c_L$, $s_R^* = u_L + 2c_L/\gamma$, если вакуум справа. Тогда после вычисления величин по формулам (7), (8) позитивность схемы обеспечивается автоматически при сохранении массы на сеточном уровне.

3. Моделирование течений

Описанный выше метод реализован в декартовой и цилиндрической системах координат для исследования эволюции одномерных,

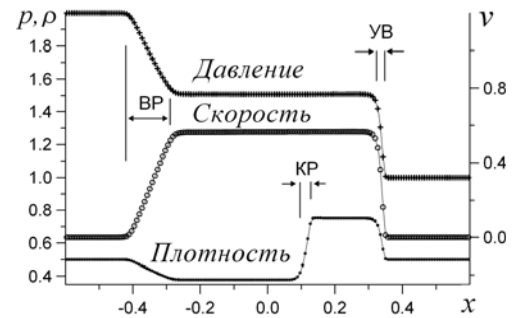


Рис. 1. Распад произвольного скачка давления. УВ движется вправо, BP – влево

двумерных и трехмерных течений с учетом внешнего потенциала. Рассмотрим тесты, демонстрирующие возможности гидродинамического моделирования.

Одномерный распад произвольного скачка давления состоит из суперпозиции волны разрежения (BP), ударной волны (УВ) и двух однородных решений, разделенных контактным разрывом (КР) (рис. 1). С увеличением числа ячеек N ширина УВ и КР уменьшается, и численные решения непрерывно сходятся к аналитическим решениям. На границах разрывов отсутствуют нефизические осцилляции.

Рассмотрим задачу о взрыве в слое вещества в потенциальной яме $\Psi(z)$ с учетом границы между средой и вакуумом (земная атмосфера, слой жидкости в поле тяжести, астрофизические объекты). Пусть начальный баланс сил определяется барометрическим уравнением

$$\frac{dp}{dz} = -\rho \frac{d\Psi}{dz}. \quad (12)$$

Для потенциала $\Psi = -A \cdot z^2$ ($A = \text{const} > 0$) решение (12) имеет вид $\rho_0(z) = \rho_c \left(1 - (z/h_0)^2\right)^{1/\gamma}$, $h_0 = \sqrt{K_s \rho_c^\gamma A 2\gamma / (\gamma - 1)}$ в случае $\rho = K_s \rho^\gamma$. Величина h_0 определяет границы слоя вещества. В момент времени $t = t_0 = 0$ ($h_0 = 1$) происходит взрыв и УВ распространяется в атмосфере, достигая границы «среда – вакуум», далее выходя за пределы начального слоя (рис. 2), плотность и скорость показаны в моменты времени $t_0 < t_1 < t_2$.

Исследуем протекание сверхзвукового потока газа через двумерную потенциальную яму $\Psi = -|\Psi_0| \exp\left(-\left(x/l_x\right)^2 - \left(y/l_y\right)^2\right)$ при $l_y \ll l_x$. В зависимости от размеров ямы, ее глубины Ψ_0 и числа Маха происходит формирование стационарного течения сложной геометрии, со-

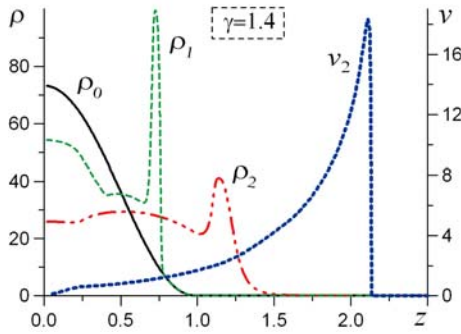


Рис. 2. Слой жидкости в потенциальной яме при наличии границы с вакуумом

держашего ударную волну с неплоским фронтом. На рис. 3 показаны изолинии плотности и поле скоростей в системе отсчета невозмущенного вещества.

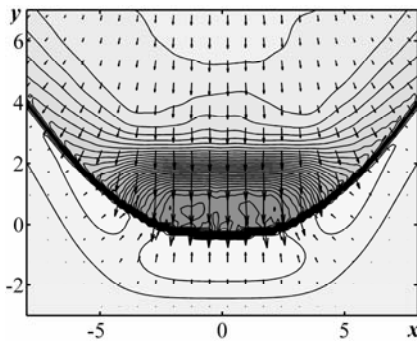


Рис. 3. Формирование стационарной УВ при сверхзвуковом протекании через потенциальную яму

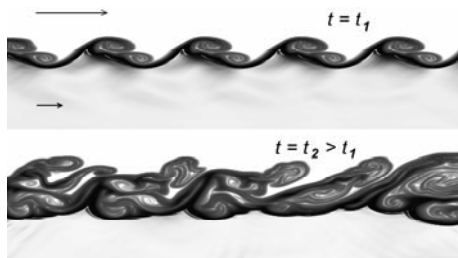


Рис. 4. Развитие неустойчивости Кельвина – Гельмгольца

Особые требования к численной схеме возникают при моделировании гидродинамических неустойчивостей, например, лагранжевы методы расчеты типа SPH не способны правильно описывать сдвиговые неустойчивые течения [7]. Рассмотрим тангенциальный сверхзвуковой разрыв скорости ΔV_0 , совмещенный с

большим перепадом плотности $q = \rho_{01} / \rho_{02} \ll 1$ (рис. 4). Такое течение при определенных соотношениях между параметрами ΔV_0 , q и длиной волны возмущения поверхности раздела двух сред λ неустойчиво.

На рис. 4 показана структура течения в результате развития неустойчивости Кельвина – Гельмгольца на существенно нелинейных стадиях развития. Формируются ярко выраженные поверхностные структуры типа «кошачьи глаза», происходит опрокидывание волн с последующей сильной турбулизацией вещества.

4. Заключение

Построена численная схема, позволяющая сквозным образом моделировать сложные нестационарные гидродинамические течения, включающие весь основной набор разрывных и иных особенностей. Численная модель основана на специальном подборе алгоритмов сеточных конечно-разностных аппроксимаций, ограничительных функций, Римановых решениях и контроле за возможностью появления отрицательного давления с последующей коррекцией вычислений потоков физических величин через границы ячеек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куликовский, А. Г. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений / А. Г. Куликовский, Н. В. Погорелов, А. Ю. Семенов. – М.: Физматлит, 2001.
2. Морозов, А. Г. Физика дисков / А. Г. Морозов, А. В. Хоперсков. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2005.
3. Khoperskov, A. V. Dissipative-acoustic instability in accretion disks at a nonlinear stage / A. V. Khoperskov, S. S. Khrapov, E. A. Nedugova // Astronomy Letters. – 2003. – Vol. 29. – P. 246–257.
4. Harten A. High resolution schemes for hyperbolic conservation laws // Journal of computational physics. – 1983. – Vol. 49. – P. 357–393.
5. Van Leer B. Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second order sequel to Godunov's methods / Van Leer B. // Journal of Computational Physics. – 1979. – Vol. 32. – P. 101–136.
6. Shengtai Li. An HLLC Riemann solver for magneto-hydrodynamics / Li. Shengtai // Journal of computational physics. – 2004. – Vol. 203. – P. 344–357.
7. Agertz O. et al. Fundamental differences between SPH and grid methods / Agertz O. et al. // Monthly Notices Royal Astr. Society. – 2007. – Vol. 380. – P. 963–978.

УДК 519.71

*В. В. Жога, А. Е. Гаврилов, А. В. Еременко***ОПТИМАЛЬНЫЙ ЗАКОН ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ШАГАЮЩИМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: dtm@vstu.ru

В работе исследуется движение мобильного робота с ортогональными шагающими движителями; рассматривается проблема снижения энергозатрат на прямолинейное движение робота. С помощью методов вариационного исчисления определяется оптимальный программный закон движения, из условия минимума энергозатрат, приводного электродвигателя.

Ключевые слова: ортогональный движитель, гамильтониан, оптимальный закон движения.

*V. V. Zhoga, A. E. Gavrilov, A. V. Eryomenko***THE OPTIMUM LAW OF HORIZONTAL MOVING OF THE MOBILE ROBOT WITH ORTHOGONAL WALKING MOVERS*****Volgograd State Technical University**

Movement of the mobile robot with orthogonal walking movers is investigated in this article. The problem of decrease power inputs in rectilinear movement of the robot is considered. With help of methods variational calculus the optimum program law of movement, from the point of view of a minimum of power inputs of electric motor is defined.

Key words: orthogonal mover, hamiltonian, optimum law of movement.

Конструкция мобильного робота с ортогонально-поворотными шагающими движителями, разработанного на кафедре теоретической механики Волгоградского государственного технического университета [1], состоит из десяти модулей линейных перемещений и одного модуля угловых перемещений (рис. 1).

Модули горизонтальных перемещений рам 3 и 10 соединяются с корпусом 1 поступательными парами 5-го класса. Реализация одного из возможных горизонтальных программных дви-

жений робота в старт-стоповом режиме [2] состоит из периодических относительных перемещений рам с помощью электромеханических [3] приводов 2 и 11. Силы трения скольжения, возникающие на поверхностях соприкасающихся звеньев, образующих кинематические пары, имеют наибольшие значения и определяют непроизводительные энергозатраты на перемещения робота. Значительное влияние, которое трение скольжения оказывает на динамические параметры робота, обусловлено тем,

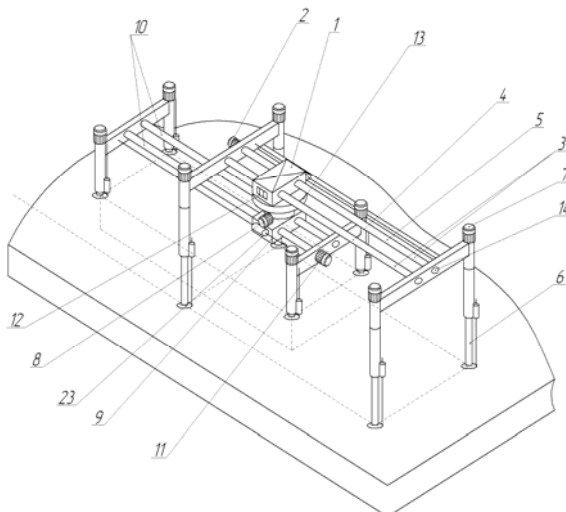


Рис. 1. Мобильный робот с ортогонально-поворотным движителем:

1 – корпус; 2 – привод продольного перемещения верхней рамы; 3 – верхняя рама; 4 – направляющая; 5 – винт; 6 – выдвижные опорные стойки; 7 – приводы опорных стоек; 8 – привод поворота; 9 – каретка; 10 – нижняя рама; 11 – привод продольного перемещения нижней рамы; 12 – концевые выключатели продольных приводов; 13 – механизм поворота; 14 – датчики положения

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-08-00802).

что его звенья находятся под действием внешних сил, линии действия которых проходят вне конструктивных границ кинематических пар. В этом случае нормальные реакции и сама сила трения в кинематических парах достигают больших значений. Одним из методов снижения энергозатрат на преодоление сил трения является синтез оптимального закона программного перемещения рам робота из условия минимума критерия, определяющего тепловые потери в электродвигателе [4].

Зависимость модуля силы трения определяется законом Амонта – Кулона, в силу которого

$$dF = f \cdot dN, \quad (1)$$

где dF – сила трения, действующая на элементарной площадке dS поверхности соприкасающихся звеньев; dN – сила, нормальная к площадке dS ; f – коэффициент трения, значение которого принимается постоянным.

Главный вектор силы трения скольжения может быть получен интегрированием элементарных сил по площади контакта. Для этого необходимо знать закон распределения нормальных сил по этой поверхности, который зависит от величины зазоров в кинематической паре, распределения давления в смазочном слое и т. п. При решении плоской задачи этого можно избежать, определив величину модуля нормальной силы через момент внешних сил (рис. 2).

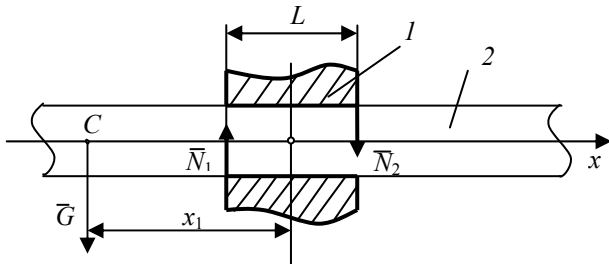


Рис. 2. Пара скольжения:
1 – втулка; 2 – направляющая

Предполагая, что все силы, действующие на звенья робота, лежат в плоскости движения рам, а нормальные реакции приложены на границах кинематической пары, получим выражение для модуля силы трения скольжения:

$$F_{ск} = 2 \cdot \frac{f \cdot (|N_1| + |N_2|) \cdot |x_1|}{L}, \quad (2)$$

где N_1, N_2 – нормальные реакции во втулке; L – длина втулки; x_1 – координата центра масс рамы в системе координат (рис. 2) с началом в центре втулки.

Дифференциальные уравнения движения рамы в режиме переноса имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ m \cdot \dot{x}_2 &= F_{дв} - \mu \cdot x_2 - 2 \cdot \frac{G \cdot f}{L} \cdot x_1 \cdot \text{sign}(x_1), \end{aligned} \quad (3)$$

где G – сила тяжести переносимой рамы; x_2, \dot{x}_2 – скорость и ускорение рамы, соответственно; $F_{дв}$ – движущая управляющая сила электропривода; μ – коэффициент силы линейного вязкого сопротивления.

Для роторного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением статическая характеристика имеет вид:

$$F_{дв} = R \cdot u(t) - \Gamma \cdot x_2, \quad (4)$$

где R, Γ – постоянные величины, характеризующие электродвигатель и редуктор; $u(t)$ – управляющее напряжение якоря.

В процессе выполнения программного движения координата центра масс рамы, на интервале изменения времени $t[0, T]$, изменяется от значения $x_1(0) = -\Delta_1$ до значения $x_1(T) = \Delta_2$. Скорость центра масс в начале и конце интервала движения равна нулю $x_2(0) = x_2(T) = 0$. Задача оптимального управления для системы (3) решается последовательно на интервалах изменения $x_1[-\Delta_1, 0]$ и $x_1[0, \Delta_2]$, на которых функции $x_2, \dot{x}_2, F_{дв}$ – ограничены, непрерывны и дифференцируемы на соответствующих интервалах времени $t[0, t_1]$ и $t[t_1, T]$. При этом значения t_1, T и $x_2(t_1)$ заранее неизвестны. Тогда для критерия качества

$$I_1 = x_2(t_1) + \alpha \cdot \int_0^{t_1} F_{дв}^2 dt, \quad \alpha - \text{const}; \quad (5)$$

в интервале изменения $x_1(-\Delta_1 \leq x_1 \leq 0)$ необходимые условия оптимальности записываются в виде [5]:

уравнения Эйлера – Лагранжа сопряженной системы для множителей Лагранжа $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$ имеют вид:

$$\dot{\lambda}_1 = -k^2 \cdot \lambda_2, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_2 &= -\lambda_1 + (2 \cdot n + \gamma) \cdot \lambda_2 - \\ &\quad - 2 \cdot \gamma \cdot [r \cdot u(t_1) - \gamma \cdot x_2]; \end{aligned} \quad (7)$$

условие $\frac{\partial H(x_1, x_2, u, \lambda_1, \lambda_2)}{\partial u} = 0$, приводит к уравнению

$$r \cdot u(t_1) - \gamma \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot \lambda_2 = 0. \quad (8)$$

В гамильтониан

$$H(x_1, x_2, u, \lambda_1, \lambda_2, t) = -[r \cdot u(t) - \gamma \cdot x_2]^2 + \lambda_1(t) \cdot x_2 + \lambda_2(t) \cdot [-2 \cdot n \cdot x_2 + k^2 \cdot x_1 + r \cdot u(t) - \gamma x_2] \quad (9)$$

введены обозначения

$$r = \frac{R}{m}; \quad \gamma = \frac{\Gamma}{m}; \quad n = \frac{\mu}{2 \cdot m}; \quad k^2 = 2 \cdot \frac{g \cdot f}{L}.$$

Так как гамильтониан H не зависит явно от времени, то $H = \text{const} = C_1$ – первый интеграл системы. С учетом того, что время окончания процесса t_1 не задано, значение постоянной C_1 равно нулю. Выражение для гамильтониана (9) с учетом (8) может быть записано в виде:

$$H = 0,25 \cdot \lambda_2^2 - 2 \cdot n \cdot \lambda_2 \cdot x_2 + k^2 \cdot \lambda_2 \cdot x_1 + \lambda_1 \cdot x_2 = 0. \quad (10)$$

Уравнения (6)–(8) и уравнения (3), записанные с учетом, введенных выше обозначений

$$\lambda_2(t) = e^{-n \cdot t} \cdot (C_2 \cdot e^{n_1 \cdot t} + C_3 \cdot e^{-n_1 \cdot t}), \quad n_1 = \sqrt{n^2 + k^2} \\ C_2 = \frac{e^{-n \cdot t_1} - 4 \cdot k^2 \cdot \Delta_1 \cdot e^{-n_1 \cdot t_1}}{e^{n_1 \cdot t_1} - e^{-n_1 \cdot t_1}}, \quad C_3 = \frac{-e^{-n \cdot t_1} + 4 \cdot k^2 \cdot \Delta_1 \cdot e^{n_1 \cdot t_1}}{e^{n_1 \cdot t_1} - e^{-n_1 \cdot t_1}} \quad (14)$$

Для определения оптимального времени t_1 окончания процесса и определения $x_2(t_1)$ представим гамильтониан в форме

$$H = 0,25 \cdot \lambda_2^2 + k^2 \cdot \lambda_2 \cdot x_1 - \dot{\lambda}_2 \cdot x_2; \quad (15)$$

при $t = t_1$, $H(t_1) = 0$, $x_1(t_1) = 0$ и $x_2(t_1) = \frac{\lambda_2^2(t_1)}{4\dot{\lambda}_2(t_1)}$

Из (9) видно, что

$$\lambda_2 = 2 \cdot (r \cdot u(t_1) - \gamma \cdot x_2) = 2 \cdot F_{\text{дв}} / m$$

$$x_1(t) = C_4 \cdot e^{(n-n_1)t} + C_5 \cdot e^{-(n+n_1)t} + \frac{C_2}{8 \cdot n \cdot (n+n_1)} \cdot e^{(n+n_1)t} + \frac{C_3}{8 \cdot n \cdot (n-n_1)} \cdot e^{(n-n_1)t}, \\ C_4 = -\frac{k^2 \cdot \Delta_1}{4 \cdot n \cdot n_1} - \frac{(n+n_1) \cdot \Delta_1}{2 \cdot n_1} - \frac{(n+n_1)}{16 \cdot n \cdot n_1} \cdot \left(\frac{C_2}{n+n_1} + \frac{C_3}{n-n_1} \right), \\ C_5 = C_4 \cdot \frac{n_1 - n}{n + n_1} + \frac{k^2 \cdot \Delta_1}{2 \cdot n \cdot (n + n_1)}. \quad (17)$$

На рис. 3 представлен закон изменения управляющей программной движущей силы (кривая I), а на рис. 4 – программные законы изменения координаты и скорости рамы, полученные из условия минимума энергозатрат. Численное решение уравнения (15) дает оптимальное значение времени движения $t_1 = 3,036$ с.

Расчеты проведены для следующих параметров работы:

$$\dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -2 \cdot n \cdot x_2 + k^2 \cdot x_1 + \frac{1}{2} \lambda_2, \quad (11)$$

составляют двухточечную краевую задачу с граничными условиями:

$$x_1(0) = -\Delta_1, \quad x_1(t_1) = 0, \quad x_2(0) = 0. \quad (12)$$

Из условий трансверсальности [5] найдем $\lambda_2(t_1) = 1$, а из (10) при $t_0 = 0$ имеем $\lambda_2(0) \cdot [\lambda_2(0) - 4 \cdot k^2 \cdot \Delta_1] = 0$. Значение $\lambda_2(0) = 0$ не отвечает условиям задачи, поэтому принимаем $\lambda_2(0) = 4 \cdot k^2 \cdot \Delta_1$.

Дифференциальное уравнение для определения $\lambda_2(t)$ получим из (6)–(8):

$$\ddot{\lambda}_2 - 2 \cdot n \cdot \dot{\lambda}_2 - k^2 \cdot \lambda_2 = 0, \quad (13)$$

с граничными условиями $\lambda_2(0) = 4 \cdot k^2 \cdot \Delta_1$, $\lambda_2(t_1) = 1$, откуда

имеет физический смысл движущей силы, действующей на единицу массы.

Оптимальные кинематические параметры программного движения находятся из системы (11) с учетом решения (14):

$$\ddot{x}_1 + 2 \cdot n_1 \cdot \dot{x}_1 - k^2 \cdot x_1 = \frac{1}{2} \cdot \lambda_2(t). \quad (16)$$

Общее решение уравнения (16) при начальных условиях $x_1(0) = -\Delta_1$ и $\dot{x}_1(0) = 0$ имеет вид:

$m = 35$ кг; $L = 0,075$ м; $\mu = 450$ кг · с/м;

$f = 0,1$; $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,225$ м.

Дифференциальные уравнения движения рамы в интервале изменения $x_1(0 \leq x_1 \leq \Delta_2)$ имеют вид:

$$\dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -2 \cdot n \cdot x_2 - k^2 \cdot x_1 + r \cdot u. \quad (18)$$

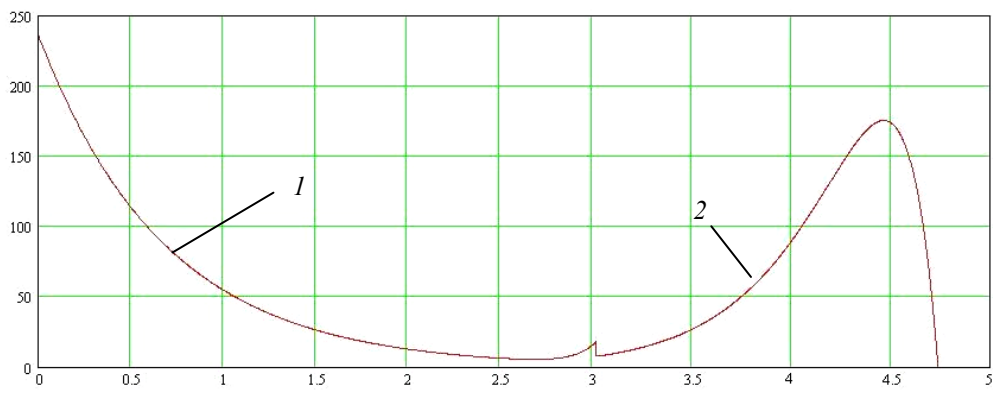


Рис. 3. Закон изменения движущей силы от времени

Необходимые условия стационарности критерия качества $I_2 = \int_0^{t_2} F_{дв}^2 dt$ для динамической системы (18) в неопределенный момент времени t_2 окончания движения записываются в форме [6]:

$$H = 0,25 \cdot \lambda_2^2 - k^2 \cdot \lambda_2 \cdot x_1 - \dot{\lambda}_2 \cdot x_2 = 0, \quad (19)$$

$$\dot{\lambda}_1 = k^2 \cdot \lambda_2, \quad (20)$$

$$\dot{\lambda}_2 = -\lambda_1 + (2 \cdot n + \gamma) \cdot \lambda_2 - 2 \cdot \gamma \cdot [r \cdot u(t_2) - \gamma \cdot x_2], \quad (21)$$

$$r \cdot u(t_1) - \gamma \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot \lambda_2 = 0. \quad (22)$$

Граничные условия для кинематических параметров движения известны:

$$x_1(0) = 0, x_1(t_2) = \Delta_2, x_2(0) = x_2(t_1), x_2(t_2) = 0, \quad (23)$$

а для множителя Лагранжа $\lambda_2(t)$ определяются из (19) в моменты времени $t_0=0$ и $t=t_2$ с учетом (20)–(22):

$$\dot{\lambda}_2(0) = 2 \cdot n \cdot \lambda_2^2(0), \quad \lambda_2(t_2) = 0. \quad (24)$$

Тогда решение дифференциального уравнения

$$\ddot{\lambda}_2 - 2 \cdot n \cdot \dot{\lambda}_2 + k^2 \cdot \lambda_2 = 0, \quad (25)$$

с граничными условиями (24), принимает вид:

$$\lambda_2(t) = (C_6 \cdot e^{p_1 \cdot t} + C_7 \cdot e^{p_2 \cdot t}), \quad n_2 = \sqrt{n^2 - k^2}, \quad p_1 = n + n_2, \quad p_2 = n - n_2, \quad (26)$$

$$C_6 = \frac{p_1 - p_2 \cdot e^{2 \cdot n_2 \cdot t_2}}{2 \cdot n_2 \cdot (1 - e^{2 \cdot n_2 \cdot t_2})^2}, \quad C_7 = -C_6 \cdot e^{2 \cdot n_2 \cdot t_2}.$$

Кривая 2 на рис. 3 представляет собой закон изменения программной движущей силы на участке движения рамы робота $x_1(\Delta_2 \geq x_1 \geq 0)$ с минимальными энергозатратами электродвигателя.

Программное движение определяется интегрированием уравнения

$$\ddot{x}_1 + 2 \cdot n \cdot \dot{x}_1 + k^2 \cdot x_1 = \frac{1}{2} \cdot \lambda_2(t), \quad (27)$$

с начальными условиями

$$x_1(0)=0, \quad \dot{x}_1(0) = x_2(t_1)$$

$$x_1(t) = C_8 \cdot e^{-p_2 \cdot t} + C_9 \cdot e^{-p_1 \cdot t} + \frac{C_6 \cdot e^{p_1 \cdot t}}{2 \cdot (p_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_1 + k^2)} + \frac{C_7 \cdot e^{p_2 \cdot t}}{2 \cdot (p_2^2 + 2 \cdot n \cdot p_2 + k^2)}, \quad (28)$$

$$C_8 = \frac{x_2(t_1)}{2n_1} - \frac{C_6 \cdot p_1}{2 \cdot n_1 \cdot (p_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_1 + k^2)} - \frac{C_7 \cdot n}{2 \cdot n_1 \cdot (p_2^2 + 2 \cdot n \cdot p_2 + k^2)},$$

$$C_9 = -\frac{x_2(t_1)}{2n_1} + \frac{C_6 \cdot n}{2 \cdot n_1 \cdot (p_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_1 + k^2)} + \frac{C_7 \cdot p_2}{2 \cdot n_1 \cdot (p_2^2 + 2 \cdot n \cdot p_2 + k^2)}.$$

При интегрировании уравнений (25), (27) не использовалось условие $x_1(t_2) = \Delta_2$, которое и служит для определения оптимального значения времени движения на этом участке $t_2 = 1,736$ с. Законы изменения координаты и скорости, рамы в функции времени представлены на рис. 4.

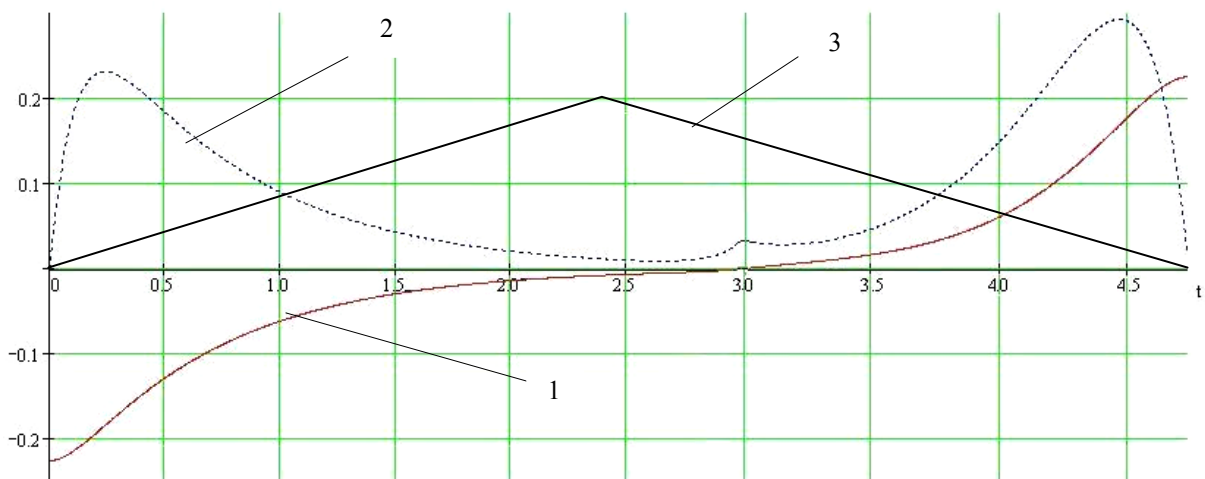


Рис. 4. Программные законы изменения кинематических параметров от времени:
1 – координата; 2 – скорость (оптимальный закон); 3 – скорость («треугольный» закон)

Для оценки эффективности полученной оптимальной программы изменения скорости движения рамы сравниваются значения критерия качества $J_{\min} = (I_1 + I_2)$ на найденном оптимальном решении и на часто реализуемом движении с постоянным ускорением $J_{a=\text{const}} = (I_1 + I_2)_{a=\text{const}}$, когда скорость движения линейно возрастает на участке $x_1 (-\Delta_1 \leq x_1 \leq 0)$ и линейно убывает на участке $x_1 (0 \leq x_1 \leq \Delta_2)$ (рис. 4). При заданных параметрах робота отношение $(J_{\min} / J_{a=\text{const}}) \cdot 100 \% = 85 \%$.

На основании синтезированных законов программного движения (17) и (28) рамы робота, строится система управления с обратной связью по скорости, решающая задачу контурного управления [7].

При реализации полученного оптимального закона движения применительно к ортогональному шагающему роботу, энергозатраты на парциальные движения робота снижаются по сравнению с «треугольным» законом на 15 % и являются минимальными при заданных параметрах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жога, В. В. Построение программных движений восьминогго робота с ортогональным движителем / В. В. Жо-

га, Е. С. Брискин, А. Е. Гаврилов, В. Е. Павловский // Сб. трудов XII Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 5. Экстремальная робототехника. СПб, 1–3 апр. 2009 г. – СПб: Изд-во СПб. политех. ун-та, 2009. – С. 199–202.

2. Жога, В. В. Энергетика перемещения робота с ортогональными шагающими движителями / В. В. Жога, В. А. Шурыгин, А. Е. Гаврилов, В. Е. Павловский // Сб. трудов XII Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 5. «Экстремальная робототехника. СПб, 1–3 апр. 2009 г. – СПб: Изд-во СПб. политех. ун-та, 2009. – С. 202–205.

3. Брискин, Е. С. Мобильный робототехнический комплекс для гуманитарного разминирования / Е. С. Брискин, В. В. Жога, Д. Н. Покровский, В. А. Шурыгин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 3. – С. 28–37.

4. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с. : ил.

5. Брайсон, А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-Ши; под ред. А. М. Летова; пер. Э. М. Макашова, Ю. П. Плотникова. – М.: Мир, 1972. – 545 с.

6. Крутько, П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Нелинейные модели. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 328 с.

7. Коловский, М. З. Основы динамики промышленных роботов / М. З. Коловский, А. В. Слоущ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 240 с.

УДК 621 : 385.6

Е. А. Шамов, В. С. Лукьянов, Д. Н. Жариков, Д. С. Попов

**ТЕХНОЛОГИИ ДОСТИЖЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛИЗМА MPI, CUDA, OPENMP
И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПОТОКА В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБРИДА ТЕХНОЛОГИЙ MPI И OPENMP**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: neuro_mind@mail.ru

Рассматривается трехмерная модель движения плоского электронного потока в скрещенных электрическом и магнитном полях при наличии случайных величин координат влета, значений скоростей и углов влета электронов на входе в пространство взаимодействия. Показано, что параллельное программирование позволяет рассчитывать большие электронные потоки, а, соответственно, – получать более наглядные и точные результаты.

Ключевые слова: параллельное программирование, электрон, поток, MPI, CUDA.

E. A. Shamov, V. S. Lukyanov, D. N. Zharikov, D. S. Popov

**TECHNOLOGY ACHIEVEMENTS PARALLELIZM MPI, CUDA, OPENMP AND SIMULATION
OF DYNAMICS ELECTRON STREAM IN CROSSED FIELDS USING HYBRID TECHNOLOGY MPI
AND OPENMP**

Volgograd State Technical University

The three-dimensional model of movement of a flat electronic stream in the crossed electric and magnetic fields is considered at presence of random variables of coordinates enter, values of speeds and corners enter electrons on an input in space of interaction. It is shown that parallel programming can expect bigger electron stream, and therefore receive more descriptive and accurate results.

Key words: parallel programming, electron, stream, MPI, CUDA.

Параллельное программирование в настоящее время очень быстро развивается по причине сложности повышения тактовой частоты ядер процессора, быстрого увеличения числа ядер одного процессора, повышения производительности и числа ядер видеокарты и стремительного развития сетей и коммутационного оборудования. Однако до сих пор основная часть программ пишется без использования параллельного программирования и его преимуществ. Наиболее важными причинами отказа от написания параллельной программы являются: отсутствие необходимости решения данной задачи быстрее, сложность реализации параллельных программ, невозможность (или малая эффективность) распараллеливания из-за самой логики алгоритма. Технологии параллельного программирования, такие как OpenMP, CUDA, MPI хотя во многом и упрощают написание параллельных программ, но и вносят некоторые ограничения. Ситуация с ограниченностью этих технологий похожа на ситуацию ограничения языков высокого уровня по сравнению с языками низкого уровня. Но имеются свои преимущества и недостатки. Технология OpenMP, пожалуй, самая простая в использовании, но прирост производительности сильно ограничен на данном этапе числом ядер процессоров,

имеющих общую память [1]. На текущий момент – 16 ядер, а соответственно максимальное ускорение по сравнению с последовательной программой – 16 раз. Технология CUDA по своей логике довольно сложна, хотя с аппаратной точки зрения похожа на технологию OpenMP, но хуже реализована и заставляет программиста «потрудиться». Однако CUDA позволяет использовать огромное число параллельных потоков; и хотя ядро процессора мощнее, но число ядер в общей памяти и число одновременно выполняемых потоков в видеокарте сильно отличаются. В настоящее время пиковая производительность мощнейших видеокарт составляет несколько Tflops, а вот пиковая производительность мощнейших систем с общей памятью более чем на порядок ниже [2]. Существует еще одна важная технология MPI, которая, по большому счету, дает возможность объединить несколько отдельных компьютеров (узлов) в единый аппаратный ресурс (кластер) и позволяет решать единую задачу. Технология MPI позволяет разработчику работать с распределенной памятью посредством обмена данными между узлами кластера. В итоге, наибольшую производительность можно достичь при создании гибридов данных технологий; самым высокопроизводительным, при расчете опреде-

ленного круга задач, будет слияние технологий OpenMP, CUDA и MPI в единое целое.

Изучение физических процессов, протекающих в приборах сверхвысоких частот, направленное на создание новых устройств с заранее предсказанными характеристиками или на совершенствования параметров современных приборов, является одним из приоритетных направлений развития физической электроники [3]. Поэтому слияние технологий OpenMP, CUDA и MPI очень важно, так как будет чрезвычайно эффективным при моделировании динамики электронного потока в скрещенных электрическом и магнитном полях. На сегодняшний день был создан гибридный OpenMP и MPI, который позволяет эффективно моделировать динамику потока, состоящего из нескольких миллионов частиц, за несколько часов, протяженностью несколько десятков сантиметров при расчете на кластере в половину Tflopsa. А на моделирование такого потока при использовании последовательной программы требовалось бы несколько лет времени. Однако такое ускорение достигнуто не только за счет создания гибридной технологии.

Рассмотрим некоторые особенности, модификации и улучшения, которые являются ключевыми при написании гибридной параллельной программы, моделирующей динамику электронного потока в скрещенных полях.

При моделировании используется широко известный метод крупных частиц, при котором группа электронов заменяется одной частицей. Для расчета взаимодействий между частицами

используется метод «частица-частица», как наиболее точный [4].

Кластер, собранный на базе кафедры «Электронно-вычислительные машины и системы» ВолгГТУ, содержит неодинаковые машины, поэтому имеет признаки Грида, т. е. каждый узел кластера не обладает одинаковой мощностью. Поэтому было принято решение о реализации системы, которая будет равномерно распределять нагрузку между узлами кластера. Данная система позволила значительно увеличить эффективность занятости всех узлов. Принцип работы данной системы заключается в том, что нагрузка между узлами кластера распределяется динамически, т. е. система делает время расчета на каждом узле практически одинаковым.

При анализе времени производимых вычислений и времени пересылок информации, выяснилось, что в электронных потоках время пересылки информации очень значительно (рис. 1), поэтому была произведена оптимизация пересылок за счет увеличения размера пакета пересылаемых данных средствами технологии MPI. Это позволило сократить время пересылок в несколько раз (рис. 2).

Анализ электронного потока показал, что довольно малое число частиц оказывает достаточно значимое влияние на исследуемую частицу. Ранее учитывались взаимодействия между исследуемой и всеми остальными частицами в потоке. Учет взаимодействия между исследуемой частицей и частицами, оказывающими на нее значительное влияние, позволил значительно увеличить число частиц в моделируемом потоке [5].

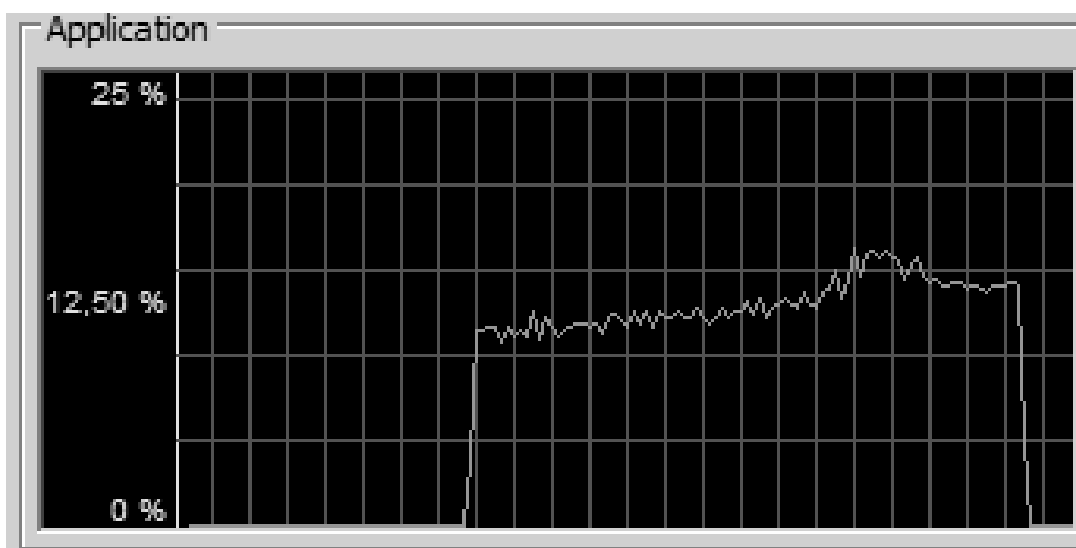


Рис. 1. Загрузка сети до оптимизации пересылок данных

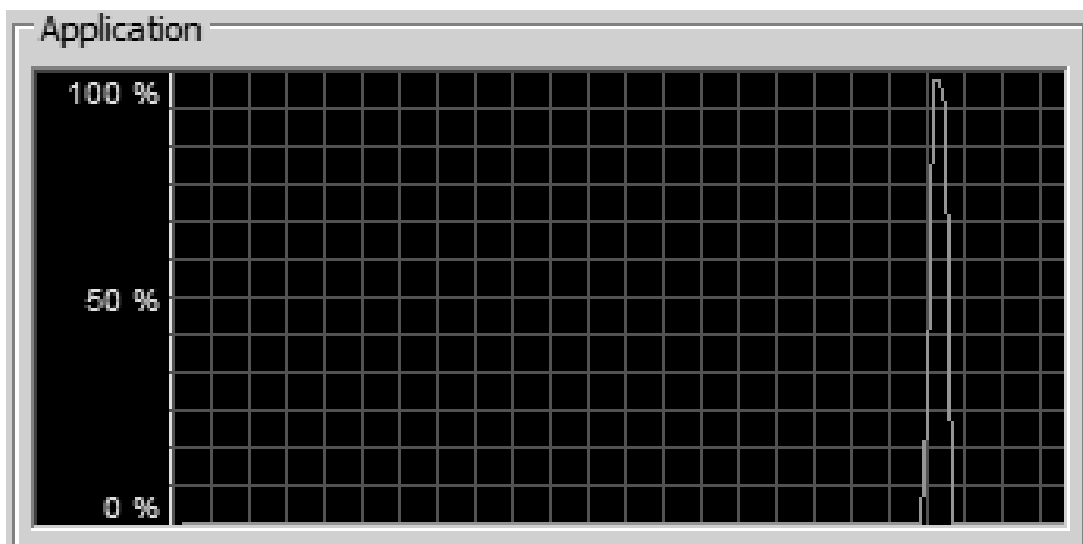


Рис. 2. Загрузка сети после оптимизации пересылок данных

Важным шагом было создание нового метода моделирования движения электронного потока, включающего все основные этапы данного исследования.

К методу расчета движения электронного потока относятся:

- перерасчет параметров электронов в потоке, который производится каждый такт. Такт выбирается таким способом, что бы структура потока при уменьшении такта не менялась;

- разделение внутри каждого такта средствами технологии MPI электронного потока на группы, которые пересылаются каждому узлу кластера. Внутри каждого узла группы средствами технологии OpenMP разделяются на подгруппы; каждая подгруппа рассчитывается на своем ядре. После расчета формируются группы, а затем – и весь поток частиц;

- динамическая нагрузка каждого узла в начале каждого такта (т. е. формирование групп таким образом, чтобы время расчета было минимальным);

- учет пространственного взаимодействия заряда, который производится методом «частица-частица», но учитываются взаимодействия только между рассматриваемой частицей и частицами, находящимися на расстоянии менее радиуса Дебая от нее;

- формирование пакетов максимального объема средствами технологии MPI для повышения эффективности пересылки данных между узлами кластера.

На основе данного метода была создана структура исследовательской программы, которую можно представить следующим образом:



Рис. 3. Структурная схема программы

В итоге исследований получены следующие результаты:

- реализована система, которая равномерно распределяет нагрузку между узлами кластера. Данная система позволила увеличить эффективность занятости всех узлов кластера, а, соответственно, увеличить число частиц в потоке и точность расчетов;

- создана гибридная структура технологий OpenMP и MPI и произведено внедрение дан-

ной структуры в программу, моделирующую динамику плоского электронного потока в скрещенных полях. Данная модификация позволила сократить объем пересылаемой информации во столько раз, сколько ядер содержит каждый узел кластера;

- произведен анализ пересылки данных между узлами кластера. По результатам анализа произведена модификация кода, которая позволила значительно сократить время пересылок;

- анализ электронного потока показал, что довольно малое число частиц оказывает достаточно значимое влияние на исследуемую частицу. Произведена модификация алгоритма программы, при котором ведется учет взаимодействия между исследуемой частицей и частицами, оказывающими на нее лишь значитель-

ное влияние, что позволило увеличить число частиц в моделируемом потоке;

- практически удалось проанализировать динамику $2 \cdot 10^6$ частиц (рис. 5) за вполне приемлемое время расчета (чуть более часа), в то время как классические методы не позволяют получить результаты при расчете более 10^4 частиц (рис. 4) даже за более длительный период времени расчета;

- выявлено влияние малых случайных отклонений параметров, определяющих инжекцию электронов, на характер движения потока;

- создан инновационный метод моделирования динамики электронного потока в скрещенных электрическом и магнитном полях с применением технологий OpenMP и MPI, который позволяет эффективно рассчитывать электронные потоки на кластере.

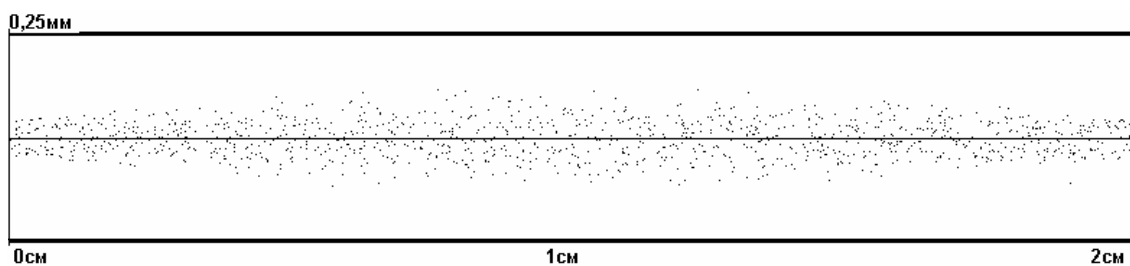


Рис. 4. Мгновенная конфигурация части электронного потока, состоящего из 10^4 частиц (при 9 см)

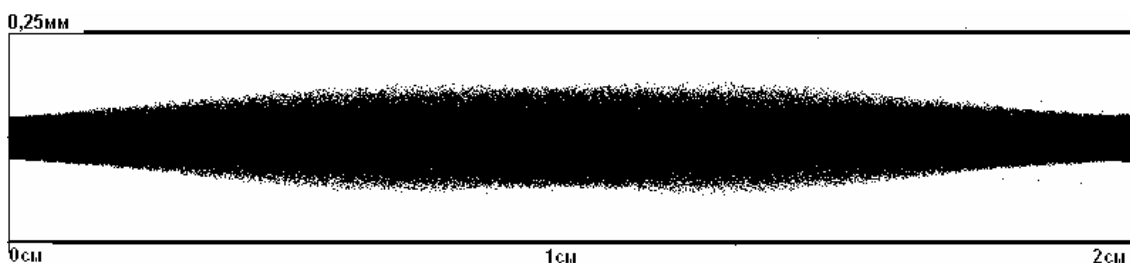


Рис. 5. Мгновенная конфигурация части электронного потока, состоящего из $2 \cdot 10^6$ частиц (при 9 см)

В дальнейшем планируется слияние технологий OpenMP, CUDA и MPI в единое целое. Так как мощные, но не профессиональные видеокарты стоят относительно недорого, то при затрате сравнительно небольших средств мощность кластера возрастет многократно, что позволит моделировать и соответственно анализировать электронный поток, при использовании объединения технологий OpenMP, CUDA и MPI, с меньшими погрешностями за более короткий период времени.

В итоге, благодаря разработанному в ходе исследований методу, появилась возможность рассчитывать и анализировать потоки, содержащие более чем на два порядка больше частиц, чем на основе методов, применявшихся ранее. Но основным вкладом для увеличения раз-

мерности потока явилось применение параллельного программирования, что, в свою очередь, подчеркивает необходимость применения передовых технологий ЭВМ в различных областях науки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев, В. Д. Параллельное программирование в MPI // В. Д. Корнеев. – 1-е изд. – М.: Изд-во Ин-та компьютерных исследований, 2003. – 303 с.
2. Хьюз, К. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++ // К. Хьюз, Т. Хьюз. – М.: Вильямс, 2004. – 672 с.
3. Шейн, А. Г. Стохастическая модель динамики плоского электронного потока в скрещенных статических электрическом и магнитном полях / А. Г. Шейн, Е. А. Шапов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(51) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 100 с. (Сер. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Вып. 3).

4. Шейн, А. Г. Спектральные характеристики ленточного электронного потока в скрещенных полях / А. Г. Шейн, Р. А. Евдокимов // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 8 – С. 4–8.

5. Калинин, Ю. А. Сложная динамика и явление динамического хаоса в потоке заряженных частиц, формируемом магнетронно-инжекторной пушкой (численный и физический эксперимент) // Ю. А. Калинин, В. Н. Кожевников, А. Г. Лазерсон // ЖТФ. – 2000. – Т. 70. – Вып. 7. – С. 83–91.

УДК 539.193/.194;535/.33/34

М. Д. Элькин, И. М. Уманский, Е. Ю. Степанович

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАРИНА И ЗОМАНА

Саратовский государственный университет

E-mail: elkinmd@mail.ru

На примере молекул зарина и зомана (GB-, GD agents) описана схема расчета колебательных спектров фосфорорганических соединений в рамках гибридного метода функционала плотности DFT/b3LYP.

Ключевые слова: зарин, зоман, колебательные спектры, структурные модели.

M. D. Elkin, I. M. Umansky, E. Yu. Stepanovich

STRUCTURAL-DYNAMICAL MODELES OF SARIN AND SOMAN

Saratov State University

On the example of sarin and soman the scheme of calculation of vibrational spectra for phosphoroorganic compounds by DFT/b3LYP methods is described.

Key words: sarine, soman, vibrational spectra, structural models.

Введение

В данной работе продемонстрированы возможности информационной технологии «Gaussian» при построении структурно-динамических моделей известных высокотоксичных

фосфорорганических соединений как зарин ($C_4H_{10}FO_2P$) и зоман ($C_7H_{16}FO_2P$). Соединения имеют общий молекулярный фрагмент C-O-P($FOCH_3$), определяющий токсичные свойства веществ.

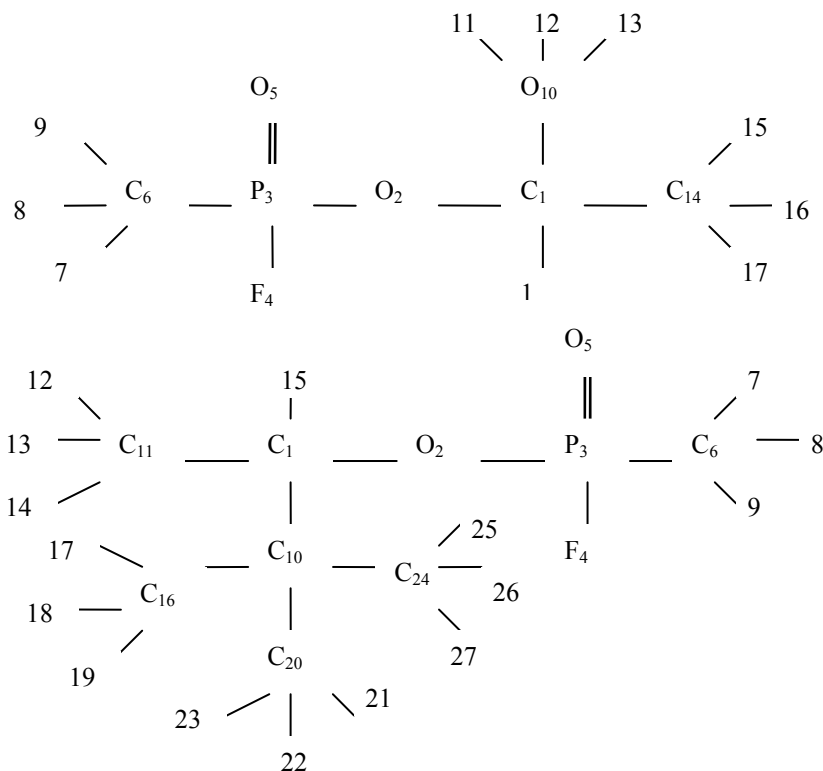


Рис. 1. Молекулярные модели зарина и зомана

В известной нам литературе экспериментальные данные по колебательным спектрам зарина и зомана наиболее полно в виде спектрограмм представлены в работах [1–3].

Моделирование структуры и колебательных состояний

Моделирование геометрической структуры и колебательных состояний зарина и зомана осуществлено в ангармоническом приближении теории молекулярных колебаний [4]. Предварительные модельные расчеты колебательных спектров фосфорорганических соединений [5], проведенные для различных атомных базисов в рамках метода функционала плотности DFT/B3LYP, показали, что предпочтение следует отдать базисам 6–311G(d,p) и 6–311+G(d,p) [6].

Модельный гамильтониан, учитывающий влияние ангармонизма во втором порядка адiabатической теории возмущения, имеет вид [7]:

$$2H^{(v)} = \omega_s(P_s^2 + (Q^s)^2) + F_{srt} Q^s Q^r Q^t + F_{srtu} Q^s Q^r Q^t Q^u. \quad (1)$$

Его решение приводит к известному выражению для ангармонических колебательных уровней энергии:

$$E^{(v)} = \omega_s(v_s + g_s/2) + \chi_{sr}(v_s + 1/2)(v_r + 1/2)(1 + 1/2\delta_{sr}). \quad (2)$$

Здесь ω_s (в см^{-1}) – частоты гармонических колебаний; Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты; P_s – соответствующие им операторы импульсов; F_{srt} – кубические, F_{srtv} – квартичные силовые постоянные; χ_{sr} (в см^{-1}) – постоянные ангармоничности; v_s – квантовые числа колебательного состояния.

Исходные молекулярные модели соединенных отличаются друг о друга взаимным расположением токсичного и парафинового фрагментов относительно мостика СОР. Двугранные углы модельных конформеров задавались посредством вращений каждого из указанных фрагментов вокруг осей O_2P_3 и C_1O_2 , соответственно, с шагом $\pi/3$.

Результаты оптимизации геометрии привели к трем возможным конформерам для зарина и шести конформерам для зомана. Критерием достоверности результатов расчета являлась воспроизводимость частот крутильных колебаний, лежащих в диапазоне ниже 260 см^{-1} [8]. Таких частот в зарине пять, в зомане – восемь.

Расчетные данные для двугранных углов между мостиком СОР и фрагментами молекул для возможных конформеров зарина и зомана представлены в табл. 1. Оптимизация геометрии приводит к трансконфигурации волчков парафинового фрагмента. Отклонение не превышает 8° . Трансконфигурация имеет место и для волчка токсичного фрагмента (ось Р-О). Здесь отклонение доходит до 12° .

Таблица 1

Вычисленные значения валентных и двугранных углов в зарине и зомане для различных конформационных моделей

Углы	Зарин			Зоман_Н16					
	К1	К2	К3	К1	К2	К3	К4	К5	К6
A_{OCC}	106	111	109	109	107	107	107	107	112
A_{OCC}	108	110	106	112	108	107	108	107	110
A_{OCH}	108	102	107	102	116	108	107	108	101
A_{CCC}	114	114	113	116	108	117	117	117	117
A_{COP}	122	126	122	130	128	127	122	122	131
A_{OPF}	102	102	102	103	102	102	103	103	102
A_{ORO}	117	118	116	119	114	114	117	117	119
A_{ORC}	103	103	102	102	108	108	103	103	103
A_{FPO}	112	118	111	112	114	114	112	112	112
A_{FPC}	102	102	101	102	101	100	101	102	101
A_{CPO}	118	118	118	118	116	117	119	119	118
D_{COPF}	-84	-92	-91	-78	29	35	-93	-93	-101
D_{COPR}	38	31	31	46	152	158	30	30	23
D_{COPC}	171	162	163	177	-76	-71	162	162	155
D_{CCOP}	147	55	90	-109	-124	143	-144	139	80
D_{CCOP}	-89	-73	-147	21	109	-91	89	-94	-52
D_{HCOP}	29	171	-29	136	-8	27	-28	23	-167

Значения соответствующих длин валентных связей (в Å) в конформационных моделях отличаются третьим знаком мантиссы: $R_{CO} = 1,47$; $R_{CC} = 1,52(1,54)$; $R_{CH} = 1,09(1,10)$; $R_{OP} = 1,60$; $R_{PF} = 1,61$; $R_{PO} = 1,47$; $RPC = 1,80$. Смена базиса [5] сказывается в третьем знаке мантиссы.

Зависимость величин валентных углов A_{XYZ} токсичного фрагмента от конформационной модели зарина и зомана представлена в табл. 3. Для парафинового остова отступление от тетраэдрических углов не превосходит 3° для углов A_{CCC} ; 2° для метильной группы токсичного фрагмента и $1,1^\circ$ для метильной группы парафинового фрагмента. Влиянием диффузионных эффектов атомного базиса можно пренебречь.

Сопоставление с соответствующими расчетными значениями длин валентных связей и валентных углов зарина и зомана, представленными в работе [5] для 12 различных базисов (от 6-31G(d) до 6-311++G(d,p)), дает основание утверждать, что для данного класса соединений оценку геометрических параметров можно осуществлять в любом атомном базисе. Отметим, что для парафиновых углеводородов экспериментальные значения длин валентных связей и валентных углов известны [8]. Они хорошо воспроизводятся квантовыми расчетами, а полученные значения полностью согласуются с соответствующими оптимизированными геометрическими параметрами для зарина и зомана.

Согласно результатам модельных расчетов колебательных состояний зарина и зомана,

спектр фундаментальных часто можно разделить на три части.

Выше 1300 см^{-1} располагаются валентные и деформационные колебания метильных групп. По форме колебаний они легко идентифицируются. Идентификация конформационной модели по характеру поведения интенсивностей полос в этом частотном диапазоне затруднена.

В диапазон $650\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ попадают валентные колебания связей С-С парафинового фрагмента, деформационные колебания метильных групп, валентные колебания связей токсичного фрагмента. В этом же диапазоне располагается сильная по интенсивности в ИК-спектре полоса $\sim 1290\text{ см}^{-1}$, которая легко идентифицируется как валентное колебание связи $Q_{P=O}$ токсичного фрагмента (табл. 2, 3). Удовлетворительно согласуются с экспериментом из [1, 2] вычисленные значения частот и интенсивностей полос, интерпретированных как валентные колебания связей мостика Q_{OC} и Q_{OP} , валентные колебания связей токсичного фрагмента Q_{PC} и Q_{PF} , деформационные колебания метильной группы токсичного фрагмента β_{PCH} . Эти колебания могут быть использованы для спектральной идентификации соединений.

В диапазоне ниже 600 см^{-1} располагаются деформационные колебания токсичного фрагмента, углеродного каркаса парафинового фрагмента и мостка COP, а также частоты крутильных колебаний. Имеет место перепутывание форм колебаний. Для идентификации кон-

Таблица 2

Интерпретация частот колебаний токсичного фрагмента конформеров зарина

Форма колебаний	Конформер_1				Форма колебаний	Конформер_2				Форма колебаний	Конформер_3			
	ν_t	$\nu_{анг}$	ИК	КР		ν_t	$\nu_{анг}$	ИК	КР		ν_t	$\nu_{анг}$	ИК	КР
$Q_{P=O}$	1299	1261	193	5,12	$Q_{P=O}$	1292	1274	170	5,94	$Q_{P=O}$	1297	1280	193	4,75
Q_{CC}	1161	1128	8,42	3,16	Q_{CC}	1163	1130	13,8	3,08	Q_{CC}	1162	1131	13,3	2,85
Q_{CO}, Q_{OP}	1000	973	555	3,53	Q_{CO}, Q_{OP}	991	958	409	5,70	Q_{CO}, Q_{OP}	1001	969	552	3,61
Q_{CC}	889	866	3,39	5,89	Q_{CC}	870	847	16,3	6,28	Q_{CC}	889	869	3,42	6,36
Q_{PF}, Q_{PC}	814	793	120	2,55	Q_{PF}, Q_{PC}	811	797	124	2,21	Q_{PF}, Q_{PC}	813	796	123	2,28
Q_{PF}, Q_{PC}	760	741	25,1	2,76	Q_{PF}, Q_{PC}	756	744	34,9	2,25	Q_{PC}, Q_{OP}	760	745	24,6	2,14
Q_{PC}, Q_{CO}	714	697	29,2	20,0	Q_{OP}, Q_{CO}	674	662	22,0	21,4	Q_{PC}, Q_{CO}	714	700	25,4	20,2
β_O	480	469	12,5	1,20	$\beta_{COP}, \beta_P, \beta_O$	560	562	17,6	3,24	β_{COP}, β_P	499	492	35,1	5,68
β_P	497	485	31,9	5,64	β_O, β_P	463	461	30,9	0,61	β_O, β_P	473	463	15,9	0,86
β_P	437	428	25,5	2,12	β_{CCC}, β_P	419	425	19,2	2,51	β_O, β_P	423	418	9,72	1,75
β_{CCC}, β_P	394	385	19,6	0,96	β_P	398	389	19,2	1,79	β_P, β_{CCC}	402	394	16,5	1,72
β_O, β_{CCC}	338	331	2,31	1,04	β_{CCC}, α_P	364	364	11,6	1,37	β_{CCC}, α_P	369	362	12,8	1,03

Примечание. Частоты колебаний – в см^{-1} , интенсивности в спектрах ИК – в Км/Моль , в спектрах КР – в $\text{Å}^4/\text{а. е. м}$.

Интерпретация частот колебаний токсичного фрагмента конформеров зомана

Конформер_1			Конформер_2			Конформер_3			Конформер_4			Конформер_5			Конформер_6		
Форма колеб	ν_m	ИК	Форма колеб	ν_m	ИК	Форма колеб	ν_m	ИК	Форма колеб	ν_m	ИК	Форма колеб	ν_m	ИК	Форма колеб	ν_m	ИК
$Q_{P=O}$	1254	164	$Q_{P=O}$	1282	230	$Q_{P=O}$	1283	246	$Q_{P=O}$	1258	172	$Q_{P=O}$	1260	185	$Q_{P=O}$	1254	165
Q_{OC}	1042	88	Q_{OC}	998	292	Q_{OC}	995	199	Q_{OC}	990	99	Q_{OC}	991	83	Q_{OC}	1000	184
Q_{OC}	1003	160	Q_{OC}	983	84	Q_{OC}	983	87,8	Q_{OC}	981	107	Q_{OC}	979	104	Q_{OC}	988	40
Q_{OP}	937	262	Q_{OP}	962	140	Q_{OP}	960	205	Q_{OP}	955	402	Q_{OP}	958	417	Q_{OP}	940	217
Q_{PF}	788	116	Q_{PF}	782	104	Q_{PF}	786	62,4	Q_{PF}	791	119	Q_{PF}	791	116	Q_{PC}	782	125
Q_{PC}	754	43	$Q_{PF,\beta O}$	774	71	Q_{PF}	774	110	Q_{PC}	701	16	Q_{PC}	701	15	Q_{PF}	753	33
Q_{PC}	678	13	Q_{PC}	687	11	Q_{PC}	688	11,3	$\beta O, \beta P$	490	30	$\beta P, \beta O$	489	16	$\beta O, \beta P$	476	9,7
$\beta O, \beta P$	489	20	$\beta O, \beta P$	476	10	βP	484	20,6	$\beta O, \beta P$	468	6,9	$\beta O, \beta P$	468	20	$\beta O, \gamma C$	470	18
$\beta P, \gamma C$	406	28	$\beta P, \gamma C$	456	45	$\beta P, \gamma C$	462	17,2	$\alpha P, \beta P$	428	26	βP	435	31	$\beta P, \gamma C$	424	50
$\alpha P, \beta P$	399	174	$\beta P, \gamma C$	427	16	$\alpha P, \gamma C$	427	33,0	βP	405	17	$\alpha P, \beta P$	407	19	αP	404	11
$\alpha P, \beta P$	390	7,6	αP	405	17	$\alpha P, \beta P$	400	22,3	$\alpha P, \beta P$	388	9,1	βP	317	1,2	αP	320	0,7

Примечание. В табл. 2, 3 приняты обозначения: $\beta_{OC} = \beta O$; $\gamma_{CC} = \gamma C$; $\gamma_{OP} = \gamma O$; $\alpha P, \beta P$ – валентные углы с центральным атомом фосфора.

формеров можно использовать полосы в диапазоне $600\text{--}300\text{ см}^{-1}$, интерпретируемые как деформационные колебания токсичного фрагмента (β_{OPC} , β_{OPF} , β_{ORO} , α_{FPC} , α_{CPO} , α_{FPO}). Если учесть, что эти шесть естественных деформационных координат связаны дополнительным соотношением, то приведенная в табл. 2, 3 интерпретация по форме колебаний весьма условна и соответствует выбранной системе независимых деформационных координат для узла с атомом фосфора.

Мы не располагаем экспериментом в области ниже 300 см^{-1} , но согласно модельным расчетам в диапазоне $220\text{--}280\text{ см}^{-1}$ по форме колебаний легко интерпретируются крутильные колебания метильных групп парафинового фрагмента ($\chi\chi$), имеющие очень слабую интенсивность в обоих спектрах. Крутильное колебание метильной группы токсичного фрагмента ($\chi\chi_{CP}$) следует считать характеристичным по частоте. Характеристичным по частоте и интенсивности является деформационное колебание мостика (β_{COP}).

В табл. 3 интенсивности полос в спектрах КР для зомана, интерпретируемых как колебания токсичного фрагмента, мы не приводим ввиду их малой интенсивности, что имеет место и для зарина.

Заключение

Методы функционала плотности DFT/B3LYP позволяют осуществлять предсказательные расчеты геометрической структуры и колебательных состояний для данного класса фосфорорганических соединений. Ангармоническое смещение фундаментальных полос можно оценить, используя процедуру масштабирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Organisation for the prohibition of chemical weapons. Cert. No DB/007 (2001) Infrared-Spectrometry.
2. Braue Ernest H., Jr. FT-IR Analysis of Warfare Agents / Ernest H Braue, Michael G. Pannella // Applied Spectrosc. 44, N.9 (1990) 1513–1520.
3. Inscore, F. Characterization of chemical warfare G-agent hydrolysis products by surface-enhanced Raman spectroscopy / F. Inscore, A. Gift, P. Maksymiuk, S. Farquharson. SPIE-2004-5585 (2004) 46–52.
4. Браун, П. А. Введение в теорию молекулярных спектров / П. А. Браун, А. А. Киселев. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 324 с.
5. Элькин, М. Д. Возможности информационной технологии «Gaussian» в моделировании колебательных спектров фосфорорганических соединений / М. Д. Элькин, О. В. Колесникова, О. Н. Гречухина // Вестник СГТУ. – 2008. – № 2 (32), вып. 1. – С. 105–112.
6. Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B. and auth. Gaussian, Inc., Pittsburgh PA 2003.
7. Nielsen, H. H. The vibration-rotation energies of molecules and their spectra in the infrared // Handbook der Physik. – 1957. – Vol. 37, № 1. – P. 173–313.
8. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 559 с.

УДК 539.193/.194; 535/33.34

*Е. А. Эрман, П. М. Элькин***КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЭХИНОХРОМЕ****Астраханский государственный университет**

E-mail: evgeny.erman@aspu.ru, pashaelkin@yandex.ru

В рамках метода функционала плотности DFT/B3LYP исследована форма адиабатического потенциала этилспиназарина и эхинохрома, предложены структурно-динамические модели соединений. Дана оценка механизма внутримолекулярного взаимодействия соединений.

Ключевые слова: колебательные спектры, конформация, этилспиназарин, эхинохром, водородная связь.

*E. A. Erman, P. M. Elkin***MODELLING OF INTERMOLECULAR INTERECTION FOR EHINOHROME**

Astrakhan State University

An analysis of vibrational spectra of ethylspinasarine and ehinohrome are carried out by the methods DFT/B3LYP. The existence of internal hydrogen bonding is estimated.

Key words: vibrational spectra, ethylspinasarine, ehinohrome, conformation, internal hydrogen bonding.

Введение

Информация о химической структуре и биологической активности эхинохрома (субстанции кардиологического и офтальмологического лекарственного препарата) и сопутствующих ему пигментов является основой стандартизации лекарственного препарата и фактором, определяющим его качество.

Первый из пигментов – этилспиназарин – в природных источниках, как правило, присутствует вместе со спиназарином (2,3,5,8-пентагидрокси-1,4-нафтохинон). Данное утверждение авторов работы [1] сделано на основании анализа спектральных данных ИК спектров соединения в диапазоне 3600–1600 см⁻¹ при исследовании спиртового экстракта морского ежа *Scophechinus mirabilis*. Этого явно недостаточно для идентификации соединений по их колебательным спектрам. В указанном диапазоне проявляются колебания связей СН (этилспиназарин), валентные колебания связей ОН гидроксильной группы, валентные колебания связей С=О, колебания сопряженных шестичленных циклов, а также деформационные и валентные колебания этилового фрагмента. Поэтому для решения задач идентификации соединений, имеющих нафтазаринный, гидроксильный и этиловый молекулярные фрагменты необходимо осуществить предсказательные модельные расчеты конформационной структуры и колебательных состояний. Достоверность результатов таких расчетов продемонстрирована в работах [2, 3] на примере таких полициклов, как нафталин, 1,4-нафтохинон, нафтазарин, спиназарин. Доказательством является хорошее сов-

падение квантовохимических расчетов колебательных состояний и экспериментальных данных по колебательным спектрам. Для таких расчетов лучшими предсказательными свойствами обладает метод функционала плотности DFT/b3LYP/6-311+G(d,p) [4].

Цель данного сообщения – построение структурно-динамических моделей этилспиназарина (2,3,5,8-пентагидрокси-6-этил-1,4-нафтохинон) и эхинохрома (2,3,5,7,8-пентагидрокси-6-этил-1,4-нафтохинон), анализ влияния внутримолекулярного взаимодействия на положение полос в колебательных спектрах, выделение признаков спектральной идентификации соединений.

**Модельные расчеты структуры
и спектра соединений**

Оптимизация геометрической структуры и расчет параметров адиабатического потенциала осуществлялись с помощью программного продукта «Gaussian-03» [4], в котором модельный гамильтониан для ядерной подсистемы молекулы рассматривается в виде:

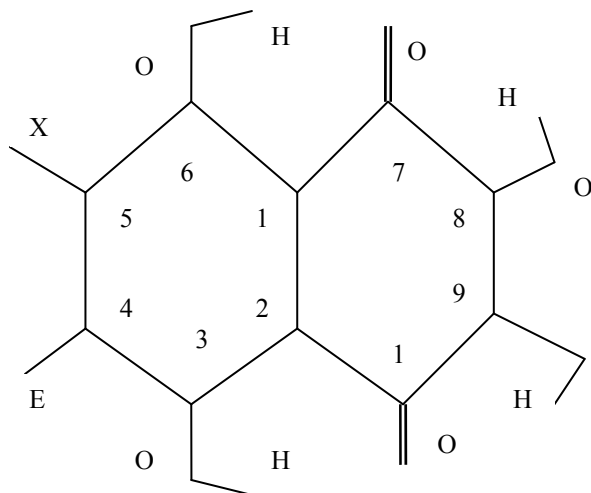
$$H^{(v)} = \frac{1}{2} \{ P_s^2 + v_s (Q_s)^2 \} + F_{srt} Q^s Q^r Q^t + F_{stru} Q^s Q^r Q^t Q^u, \quad (1)$$

где v_s – частоты гармонических колебаний; Q^a – нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми координатами ядер; F_{srt} и F_{stru} – кубические и квартичные силовые постоянные.

Решение уравнения (1) методами теории возмущения приводит к известному выражению для энергий колебательных состояний:

$$E^{(v)} = \nu_s(n_s + g_s/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2)(1 + 1/2\delta_{sr}), \quad (2)$$

где n_s – квантовые числа колебательного состояния; χ_s – ангармонические постоянные, g_s – степень вырождения колебательных координат.



Этилспиназарин (X=H), эхинохром (X=OH)

Структура исследуемых соединений представлена на рисунке. Их можно рассматривать как этил- и гидроксизамещенные спиназарина, для которого оптимизированные геометрические параметры сопоставлены в работе [2, 3] с другими соединениями нафтазаринового ряда. Результаты модельных расчетов геометрии для углеродного остова соединений, представленные в табл. 1, показывают, что замещение приводит к изменению геометрии шестичленных сопряженных циклов, не выходящему за рамки точности расчетных методов функционала плотности при любом атомном базисе. При этом надо учитывать, что спиназарин обладает симметрией C_{2v} , этилспиназарин – C_s , а эхинохром принадлежит группе симметрии C_1 . Это результат замещения атома водорода связи СН в этилспиназарине на гидроксильную группу. Модельные расчеты эхинохрома для конфигурации симметрии C_{2v} не воспроизводят частоты крутильных колебаний. Три мнимые частоты по абсолютной величине выходят за пределы ошибок численных методов компьютерной технологии «Gaussian» [4] для низкочастотных колебаний. Однако относительная некопланарность фрагментов колец углеродного остова не превышает 2° . Для гидроксильных групп значения геометрических параметров меняются в диапазонах: $R_{CO} = 1,34\text{--}1,35 \text{ \AA}$; $R_{OH} = 0,97\text{--}1,0 \text{ \AA}$; $A_{COH} = 104,8\text{--}106,9^\circ$, для этилового фрагмента:

$R_{CO} = 1,44\text{--}1,45 \text{ \AA}$, $R_{CC} = 1,51\text{--}1,52 \text{ \AA}$, $R_{CH} = 1,09\text{--}1,1 \text{ \AA}$, $A_{COC} = 119,4\text{--}120^\circ$. Валентные углы этого фрагмента отличаются от тетраэдрических не более чем 3° . Такие изменения дают основание предполагать, что в колебательных спектрах будет проявляться характеристичность колебаний этого фрагмента по частоте.

Таблица 1

Оптимизированные геометрические параметры спиназарина (СП), этилспиназарина (ЭТСП) и эхинохрома (ЭХХ)

Валентные связи	СП	ЭТСП	ЭХХ	Валентные углы	СП	ЭТСП	ЭХХ
R(1, 2)	1,43	1,43	1,42	A(2,1,6)	120,1	119,3	119,6
R(1, 6)	1,40	1,40	1,39	A(2,1,7)	119,6	120,0	120,5
R(1, 7)	1,46	1,44	1,4	A(2,3,4)	119,1	118,9	120,1
R(3, 4)	1,42	1,44	1,43	A(3,4,5)	120,8	120,0	119,2
R(4, 5)	1,37	1,38	1,38	A(1,7,8)	119,7	119,4	119,3
R(7, 8)	1,47	1,47	1,46	A(7,8,9)	120,6	120,9	120,4
R(8, 9)	1,36	1,36	1,36	A(2,1,6)	120,1	119,3	119,6

Результаты численного эксперимента, положенные в основу интерпретации колебательных состояний эхинохрома, приведены в табл. 2–4. Поскольку экспериментальные данные из работы [1] носят качественный характер, то указанная интерпретация была осуществлена путем сопоставления расчетных данных по колебательным состояниям спиназарина, этилспиназарина, эхинохрома. Структурно-динамическая модель спиназарина предложена в публикации [2]. Достоверность предложенной интерпретации колебательного спектра аргументировалась тем, что неэмпирические квантовые расчеты адиабатического потенциала в рамках метода DFT/b3LYP хорошо согласуются с экспериментальными данными по колебательным спектрам родственного по электронной структуре соединения, каковым является нафтазарин [5]. Спиназарин рассматривался как ортозамещенный (атомы водорода на гидроксильные группы) нафтазарин. В табл. 2 дана интерпретация наиболее интенсивных колебательных состояний спиназарина и этилспиназарина (как результат замещения атома водорода на этаноловый фрагмент). Характер поведения частот фундаментальных колебаний углеродного остова сопряженных шестичленных циклов соответствует теории молекулярных колебаний в циклических соединениях [6] (поэтому в табл. 2 они не приведены).

Таблица 2

Интерпретация колебательных состояний спиназарина и этилспиназарина

Форма колеб.	Спиназарин				Форма колеб.	Этилспиназарин			
	ν_T	ν_M	ИК	КР		ν_T	ν_M	ИК	КР
ν_{OH}	3657	3477	1,05	224	ν_{OH}	3662	3482	108	136
ν_{OH}	3655	3475	262	34,9	ν_{OH}	3638	3460	148	140
ν_{OH}	3394	3235	26,9	58,3	ν_{OH}	3347	3190	87,2	64,3
ν_{OH}	3391	3232	163	176	ν_{OH}	3332	3177	128	163
$\nu_{C=O}$	1627	1574	637	18,4	$\nu_{C=O}, \beta$	1623	1571	288	60,8
$\nu_{C=O}$	1603	1552	174	225	$\nu, \nu_{C=O}$	1618	1566	413	16,5
β, ν_{CO}	1488	1442	200	0,05	β, ν_{OH}	1479	1433	125	265
ν_{OH}	1494	1447	9,89	79,1	β, ν_{OH}	1448	1404	106	55,1
ν_{OH}, γ	1440	1396	101	75,7	ν_{OH}	1395	1352	426	32,8
ν, ν_{OH}	1410	1367	0,53	62,9	ν_{OH}, β	1356	1315	128	154
ν_{OH}	1392	1350	431	17,2	β, ν_{OH}, β	1337	1297	373	12,4
γ, ν_{OH}	1345	1305	37,7	1,64	ν_{OH}, ν_{CO}	1325	1286	215	9,18
ν_{OH}	1341	1301	572	73,1	ν_{CO}, ν_{OH}	1322	1283	830	18,0
ν_{CO}	1331	1291	494	7,22	ν_{OH}	1261	1224	765	124
ν_{CO}	1309	1271	29,8	12,2	β, ν_{OH}	1217	1181	54,3	13,1
ν_{OH}, ν	1241	1205	519	44,1	$\nu_{C=O}$	1129	1097	30,8	10,1
					ν_{OH}	1070	1040	34,9	19,2

Таблица 3

Интерпретация колебаний этилового фрагмента в этилспиназарине и эхинохроме

Форма колеб.	Этанол $\nu_{жс} \cdot [10]$	Этилспиназарин				Эхинохром			
		ν_T	ν_M	ИК	КР	ν_T	ν_M	ИК	КР
ν_{CH}	1480	1524	1476	94,6	44,5	1523	1475	0,97	10,6
ν_{CH}	1474	1511	1464	227	33,2	1507	1460	231	56,8
ν_{CH}	1450	1501	1454	14,9	14,1	1488	1441	169	400
ν_{CH}	1422	1485	1439	8,44	11,3	1426	1382	9,28	54,9
ν_{CH}	1381	1404	1361	64,2	40,5	1302	1263	46,2	23,3
ν_{CH}	1149	1176	1143	4,11	0,99	1172	1139	14,9	11,7
ν_{CH}	1099	1139	1107	3,71	27,7	1131	1099	13,8	18,3
ν_{CC}, ν_{CO}	1050	1033	1005	85,8	6,90	1026	998	104	8,84
ν_{CH}, ν_{CO}	880	917	893	38,5	4,71	891	868	58,6	13,6

Согласно приведенным расчетным данным, идентифицирующим признаком является перераспределение интенсивностей полос колебаний гидроксильных групп (дублет в диапазоне 3400–3330 cm^{-1}). Налицо и смещение полос $\sim 50 cm^{-1}$.

В диапазоне 1700–1200 cm^{-1} , куда попадают валентные колебания углеродного остова, валентные колебания связей $C=O$, деформационные колебания связей гидроксильных фрагментов и связей CH , такая идентификация затруднена, поскольку энергетическая щель между полосами сравнима с критерием точности рас-

четов в задачах идентификации соединений [7]. Кроме того, имеет место делокализация колебаний циклического остова и гидроксильных фрагментов, а также валентных колебаний связей $C=O$. При интерпретация последних, в первую очередь, учитывалась интенсивность полос. В ИК-спектрах многоатомных молекул, содержащих данный фрагмент, соответствующая полоса, как правило, в числе наиболее интенсивных. Отметим, что частоты валентных колебаний связи $C=O$ заметно снижены по сравнению с таковыми в циклических соединениях [8].

Таблица 4

Интерпретация колебательных состояний эхинохрома

Форма колеб	ν_r	ν_m	ИК	КР	Форма колеб	ν_r	ν_m	ИК	КР
ρ_{OH}	3750	3562	141	90,2	Q_{CO}	891	868	58,6	13,6
ρ_{OH}	3670	3489	106	145	β_{OH}, Q	1260	1223	426	107
ρ_{OH}	3641	3462	139	129	Q_{CO}	1203	1168	7,04	16,6
ρ_{OH}	3371	3214	108	125	Q_{CO}	1192	1157	44,6	18,7
ρ_{OH}	3314	3160	145	141	Q_{CO}	1092	1061	8,58	39,5
Q, β_{OH}	1724	1667	127	173	$\gamma, \beta \beta_{OH}$	1056	1027	34,1	16,8
$Q_{C=O}, Q$	1663	1609	55,1	117	Q_{CC}, Q_{CO}	1026	998	104	8,84
Q, β_{OH}	1630	1578	226	120	$\beta_{C=O}, \beta_{CO}$	845	824	46,2	0,06
$Q_{C=O}$	1622	1569	143	97,2	ρ_{CO}, β_{CO}	800	780	15,3	9,06
Q	1609	1557	204	187	ρ_{OH}	785	765	190	0,02
β_{OH}	1387	1345	496	3,82	ρ_{OH}, γ	756	737	18,2	1,28
β_{OH}	1378	1337	209	20,5	ρ_{CO}, ρ_{OH}, X	589	575	109	2,40
β_{OH}	1347	1307	345	63,5	ρ_{OH}	555	542	68,1	1,90
ρ_{CO}, γ	1331	1291	410	24,7	ρ_{OH}	542	529	1,27	39,4
β_{OH}	1325	1285	620	21,6	ρ_{OH}	484	473	114	1,51
β_{OH}	1292	1254	718	38,7	γ	468	458	22,1	11,6
ρ_{CO}	1005	977	143	0,16	$\beta_{C=O}$	434	424	36,1	3,45

Примечание. Частоты колебаний – в см^{-1} ; интенсивности в спектрах ИК – в Км/Моль ; в спектрах КР – $\text{Å}^4/\text{а.е.м}$; ν_r – частоты, вычисленные в гармоническом приближении; ν_m – полученные в результате операции масштабирования [2].

Интерпретация колебательных состояний эхинохрома представлена в табл. 4. Основной идентификационный признак связан с наличием дополнительной гидроксильной группы, которая заместила атом водорода в этилспиназарине. Частота валентного колебания этого фрагмента существенно ($\sim 100\text{см}^{-1}$) выше аналогичных колебаний гидроксильных групп этилспиназарина и эхинохрома, не участвующих во внутримолекулярном взаимодействии. Полоса интенсивна в обоих спектрах. Использование остальных полос в задачах идентификации соединений затруднено по причинам, указанным выше для этилспиназарина.

Сопоставление отнесенных колебаний этанольного фрагмента в этилспиназарине и эхинохроме указывает на характерность колебаний по частоте для деформационных колебаний связей СН. В табл. 3 мы их не приводили, а ограничились интерпретацией наиболее интенсивных полос в диапазоне ниже 1500см^{-1} .

Интерпретация колебаний в табл. 2–4 соответствует общепринятому в колебательной спектроскопии соглашению [9].

Заключение

На основании проведенных модельных расчетов геометрической и электронной структуры соединений нафтозаринового ряда, анализа характера поведения полос в ИК- и КР-спектрах сделан вывод о достоверности предсказательных расчетов конформационных свойств и колебательных состояний этилспиназарина и эхинохрома. Выделены спектральные идентификационные признаки, по которым можно осуществлять стандартизацию лекарственных препаратов, содержащих указанные соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якубовская, А. Я. Спиназарин и этилспиназарин-пигменты морского ежа *Scaphechinus mirabilis* / А. Я. Якубовская, Н. Д. Похилло, Н. П. Мищенко, В. Ф. Ануфриев // Известия АН РФ. – Сер. Хим. – 2007. – № 4. – С. 788–791.
2. Элькин, М. Д. Компьютерное моделирование геометрической структуры и колебательных состояний спиназарина / М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова, И. И. Гордеев // Прикаспийский журнал: высокие технологии и управление. – 2009. – № 3(7). – С. 48–54.

3. Элькин, М. Д. Компьютерное моделирование геометрической структуры и колебательных состояний полифенилов / М. Д. Элькин, Е. Ю. Степанович, Е. А. Джалмухамбетова // Прикаспийский журнал: высокие технологии и управление. – 2009. – № 4(8). – С. 36–43.
4. Frisch, M. J. GAUSSIAN 03. Revision A.7. Gaussian. Inc., Pittsburgh (PA) / M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel et al. 2003.
5. Paul, S. O. The Fourier Transform Raman and infrared spectra naphthazarine / S. O. Paul, C. J. H. Schutte, P. J. Hendra // Spectrochim. Acta. – 1990. – Vol. 46A. – P. 323–329.
6. Березин, В. И. Прямые и обратные задачи спектроскопии циклических и комплексных соединений : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В. И. Березин. – Саратов, 1983. – 336 с.
7. Фрагментарные методы расчета ИК-спектров фосфорорганических соединений / Б. Ф. Мясоедов [и др.] // Журнал структурной химии. – 2006. – Т. 47. – № 1. – С. 449–456.
8. Элькин, П. М. Анализ колебательных спектров метилзамещенных урацила в ангармоническом приближении / П. М. Элькин, М. А. Эрман, О. В. Пулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2006. – Т. 73. – № 4. – С. 431–436.
9. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 560 с.
10. Mikawa, Y. Polarized infrared spectra of crystals of ethyl alcohol / Y. Mikawa, J. W. Brasch, R. J. Jakobsen // Spectrochimica Acta. – 1971. – Vol. 27A. – P. 529–539.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 623.618. 623.4.11

Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко, С. В. Поляков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУТЕЙ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ АСУ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ВЫЧИТАНИЯ

Астраханский государственный университет

E-mail: bna-kandidat@rambler.ru

В статье предложен метод повышения эффективности АСУ жестко регламентированного режима реального времени. Разработана математическая модель реализации метода обратного вычитания.

Ключевые слова: метод обратного вычитания, эффективность, телекоммуникационная сеть обмена данными, автоматизированная система управления.

N. A. Bashtannik, V. I. Lobeyko, S. V. Polyakov

OPTIMIZATION OF WAYS OF INFORMATION INTERCHANGE BETWEEN ELEMENTS OF THE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM THE METHOD OF RETURN SUBTRACTION

Astrakhan State University

In article one of methods of increase of efficiency of the management information system of rigidly regulated mode of real time is offered. The mathematical model of realization of a method of return subtraction is developed.

Key words: a method of return subtraction, efficiency, a telecommunication network of the data exchange, the automated control system.

На стадии проектирования телекоммуникационной сети обмена данными (ТСОД), одной из важнейших подсистем автоматизированной системы управления (АСУ), и в процессе ее развития основной является задача выбора оптимального пути обмена информацией [1, 2].

Для этой цели могут быть использованы различные средства:

- измерение и статистический анализ параметров реальной сети;
- натурное моделирование;
- математические оптимизационные модели.

В данной статье предложена математическая модель расчета оптимального пути обмена информацией в ТСОД.

Применение математического моделирования при анализе алгоритмов оптимизации в ТСОД представляет значительный интерес по следующим причинам:

- к настоящему времени разработан достаточно полный математический аппарат, позволяющий использовать его как в «чистом виде», так и осуществлять необходимую модификацию существующих моделей, учитывающую специфику конкретной сети;

- использование математических моделей не требует значительных ресурсов (финансовых, временных и т.п.), что позволяет при необходимости проводить многократный анализ в процессе разработки и эксплуатации сети;

- математические модели, в отличие от других вышеперечисленных средств, позволяют делать выводы о тенденциях развития ТСОД, что является чрезвычайно важным при построении крупномасштабных сетей передачи данных.

Для определения кратчайшего пути от какого-либо произвольного узла телекоммуникационной сети обмена данными к выбранному может быть эффективно использован метод обратного вычитания [3].

При этом методе выполняются следующие операции:

- 1) на графе ТСОД фиксированному (начальному) узлу α_1 приписывается вес $P_{\alpha_1} = 0$, а i -м произвольным узлам этой сети ($i \neq \alpha_1$, $i = 1, 2, \dots, r$) вес $P_i = \infty$;

- 2) выбирается произвольный узел i ($i \neq \alpha_1$, $i = 1, 2, \dots, r$); вес узла i , равный P_i , сравнива-

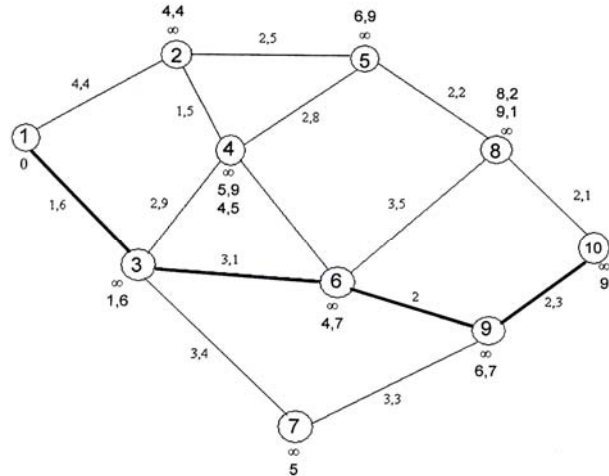
ется с суммой веса P_j соседнего узла j ($j \neq i$, $j = 1, 2, \dots, r$) и веса ветви $s_{i,j}$, соединяющей узлы i и j . Если неравенство $P'_i > s_{i,j} + P_j$ выполняется, то вес узла P_i заменяется на вес $P'_i = s_{i,j} + P_j$. При невыполнении этого неравенства вес P_i остается без изменения.

После выполнения процедуры пересчета весов узлов сети веса P_i будут соответствовать длине первого кратчайшего пути от произвольного узла i к фиксированному узлу α_1 . Пересчет производится до тех пор, пока хотя бы для одного узла i выполняется неравенство $P_i > (s_{i,j} + P_j)$. Пары узлов, не соединенные между собой ($s_{i,j} = \infty$), не рассматриваются, так как неравенство $P_i > (s_{i,j} + P_j)$ при этом никогда не будет удовлетворяться и, следовательно, при пересчете вес узла P_i не изменится. Если повторить процедуру пересчета весов узлов для различных фиксированных узлов i ($i = 1, 2, \dots, r$), можно определить величины кратчайших путей между всеми узлами сети. В самом деле, проведение последовательной проверки неравенства $P_i > (s_{i,j} + P_j)$ и замены исходного веса узла на меньший означает, что узел i лежит на кратчайшем пути и вес узла i равен $P_i = \min(s_{i,j} + P_j)$.

Для определения траектории кратчайшего пути используется метод обратного вычитания, который основывается на следующем свойстве узлов ТСОД: для любого узла i существует узел $j \neq i$, для которого выполняется равенство $P_i = s_{i,j} + P_j$. Таким образом, если $P_i - P_j = s_{i,j}$, то ветвь соединяющая узлы i и j сети, лежит на кратчайшем пути от узла i к фиксированному узлу. Определяя последовательно ветви, удовлетворяющие условию $P_i - P_j = s_{i,j}$ для всех узлов j , можно вычислить траекторию пути от узла i к фиксированному узлу α_1 . Очевидно, этот путь является кратчайшим. При использовании

метода обратного вычитания определяются только первые кратчайшие пути, которые не содержат петель.

Для иллюстрации метода обратного вычитания рассмотрим процедуру пересчета весов узлов и определение траектории кратчайшего пути для одной из реально существующей ТСОД, граф которой приведен на рисунке.



Граф ТСОД после пересчета весов узлов (жирной линией показан кратчайший путь)

Кратчайший путь проходит через узлы 1–3–6–9–10 и имеет длину $s_{\min} = 9$.

В заключение следует отметить, что объем вычислений при использовании метода обратного вычитания зависит от структуры ТСОД.

Предложенный метод может быть применен для оценки показателя эффективности работы ТСОД различного назначения как уже созданных АСУ и находящихся в эксплуатации, так и для АСУ на этапе проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бертсекас, Д. Сети передачи данных : пер. с англ. / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – М., Мир, 1989.
2. Вишнеvский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишнеvский. – М.: Техносфера, 2003.
3. Форд, Л. Р. Поток в сетях / Л. Р. Форд, Д. А. Фалкерсон. – М.: Мир, 1976.

УДК 623.618. 623.4.11

*Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко, С. В. Поляков***ОПТИМИЗАЦИЯ ПУТЕЙ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ АСУ
СЕТЕВЫМ МЕТОДОМ****Астраханский государственный университет**

E-mail: bna-kandidat@rambler.ru

В статье предложен метод повышения эффективности АСУ жестко регламентированного режима реального времени. Разработана математическая модель реализации сетевого метода.

Ключевые слова: сетевой метод, график, эффективность, телекоммуникационная сеть обмена данными, автоматизированная система управления.

*N. A. Bashtannik, V. I. Lobeyko, S. V. Polyakov***OPTIMIZATION OF WAYS OF INFORMATION INTERCHANGE BETWEEN ELEMENTS OF THE
MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM THE NETWORK METHOD**

Astrakhan State University

In article the method of increase of efficiency of the management information system of rigidly regulated mode of real time is offered. The mathematical model of realization of a network method is developed.

Key words: a network method, the diagram, efficiency, a telecommunication network of the data exchange, the automated control system.

При проектировании АСУ часто применяется сетевой метод [1], который позволяет определить оптимальную организацию передачи информации в АСУ путем минимизации временных характеристик и стоимости телекоммуникационной сети обмена данными (ТСОД) с целью получения максимального эффекта. При исследовании ТСОД сетевым методом она представляется в виде сети событий и операций. Такая сеть может быть моделью процесса передачи информации. Данная модель наглядно показывает взаимосвязь всех элементов процесса передачи.

Графическое изображение сети называется *сетевым графиком*. Сетевой график представляет собой изображение в соответствующем масштабе событий и операций. События обозначаются соответствующими значками (окружностями); операции – векторами, длина которых отражает вес ветви, а направление – последовательность выполнения событий. Этот график используется при обработке сети. На сетевом графике всем событиям, кроме начальных, должны предшествовать операции. Кроме того, устраняются контуры работ и событий (петли на путях передачи информации). Операции сетевого графика характеризуют продолжительность этих операций во времени и, при необходимости, – экономические затраты на выполнение этих операций.

При обработке сетевого графика определяют продолжительность операций по передаче информации и количественные параметры сети.

В результате обработки устанавливается состав критического пути, рассчитываются ранние сроки свершения событий, поздние допустимые сроки свершения событий и резервы времени событий. При определении продолжительности операций используются детерминированный и вероятностный методы. При первом методе для каждой операции указывается одно строго определенное значение продолжительности; при втором предполагается, что продолжительность операций есть величина случайная. В этом случае для оценки продолжительности операции могут быть использованы: наиболее вероятное время операции (реалистическая оценка) $t_{н.в}$, минимальное время (оптимистическая оценка) $t_{мин}$ и максимальное время (пессимистическая оценка) $t_{макс}$. Для операций на сетевом графике должно выполняться следующее соотношение:

$$t_{мин} \leq t_{н.в} \leq t_{макс}. \quad (1)$$

Кроме того, при вероятностном методе для каждой операции i, j определяются средняя продолжительность этой операции $\bar{t}_{i,j}$ и ее дисперсия $\sigma_{t_{i,j}}^2$. В [1, 2, 3] средняя продолжительность работы и ее дисперсия оцениваются при условии, что случайная величина продолжительности работы подчинена закону β -распределения. В этом случае связь между $t_{мин}$, $t_{макс}$, $t_{н.в}$, $\bar{t}_{i,j}$, $\sigma_{t_{i,j}}^2$ определяется выражениями

$$\bar{t}_{i,j} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{н.в}} + t_{\max}}{6}; \quad (2)$$

$$\sigma_{t_{i,j}}^2 = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{6} \right)^2. \quad (3)$$

После вычисления величин $\bar{t}_{i,j}$, $\sigma_{t_{i,j}}^2$ выявляются и уточняются оценки операций, имеющих большую неопределенность ($t_{\max} \gg t_{\min}$). Чрезмерно неопределенные оценки сроков передачи информации в ТСОД весьма нежелательны, так как ошибки в процессе обработки сети по мере перемещения от источника информации к получателю накапливаются. Это может воспрепятствовать нахождению оптимального решения. В случае получения подобных оценок с большой неопределенностью обработка соответствующего участка сетевого графика производится методом логического анализа [1]. При этом методе используется отношение

$$\phi = \frac{\sigma_{t_{i,j}}}{\bar{t}_{i,j}}. \quad (4)$$

Вычисленные значения продолжительности операций $\bar{t}_{i,j}$ и ее дисперсия $\sigma_{t_{i,j}}^2$ наносятся на сетевой график. Значки событий на сетевом графике делятся на четыре равных сектора. В верхнем секторе каждого значка записывается порядковый номер соответствующего события. Остальные сектора используются для записи вычисленных количественных параметров событий. Около каждого вектора операции представляются вычисленные значения ожидаемой продолжительности операции $t_{i,j}$ и ее дисперсии $\sigma_{t_{i,j}}^2$ (при вероятностной оценке). Количественные параметры событий сети определяются в следующей последовательности: для каждого события i рассчитываются самый ранний ожидаемый срок свершения события t_{pi} и его дисперсия $\sigma_{t_{pi}}^2$, самый поздний допустимый срок свершения события t_{ni} и его дисперсия $\sigma_{t_{ni}}^2$, резерв времени события $t_{\text{рез}i}$ и его дисперсия $\sigma_{t_{\text{рез}i}}^2$.

Расчет величин t_{pi} производится от начального события путем перехода от предшествующих событий к последующим по общей формуле

$$t_{pi} = \max \left[t_{pi} + \bar{t}_{i,j} \right], \quad (5)$$

где j – номера событий, непосредственно предшествующих событию i .

Значения t_{pi} заносятся на графике в левый сектор значков соответствующих событий. Если к событию сходится несколько операций, то операцию, по которой определяется значение t_{pi} , обычно выделяют каким-либо значком (например, звездочкой, около ее острия). Для начального события принимают $t_p = 0$; $\sigma_{t_p}^2 = 0$.

Для события i , когда ему предшествует одна операция, ранний возможный срок свершения события

$$t_{pi} = t_{pi-1} + \bar{t}_{i-1,i}. \quad (6)$$

При вероятностном подходе [2, 3] определяется также дисперсия величины

$$\sigma_{t_{pi}}^2 = \sigma_{t_{pi-1}}^2 + \sigma_{t_{i-1,i}}^2. \quad (7)$$

Для случая, когда событию i предшествует n операций, ранний возможный срок свершения события

$$t_{pi} = \max(t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

При вероятностном подходе определяется также дисперсия величины t_{pi} :

$$\sigma_{t_{pi}}^2 = \sigma_{t_{pi}}^2 + \sigma_{t_{k,i}}^2, \quad (9)$$

где k – номер события, непосредственно предшествующего событию (i) и отделенному от события i операцией наибольшей продолжительности.

Вычисление величины t_{ni} производится, начиная с конечного события, путем перехода от последующих событий к предшествующим. Для конечного события величина t_n приравнивается заданному контрольному сроку окончания передачи информации в сети t_k или величине t_p , если этот срок не задан. Расчет производится по общей формуле

$$t_{ni} = \min \left[t_{nj} - t_{i,j} \right], \quad (10)$$

где j – номер событий, непосредственно следующих за событием i .

Значения t_{ni} заносятся на график в правый сектор значков соответствующих событий. Для случая, когда за событием i непосредственно следуют k операций, поздний допустимый срок свершения события

$$t_{ni} = \min(t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nk}), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (11)$$

где $t_{n1}, t_{n2}, \dots, t_{nk}$ – значения величины t_n , полученные с учетом каждой из k операций, непосредственно следующих за событием i .

При вероятностном подходе определяется также дисперсия величины t_{pi} :

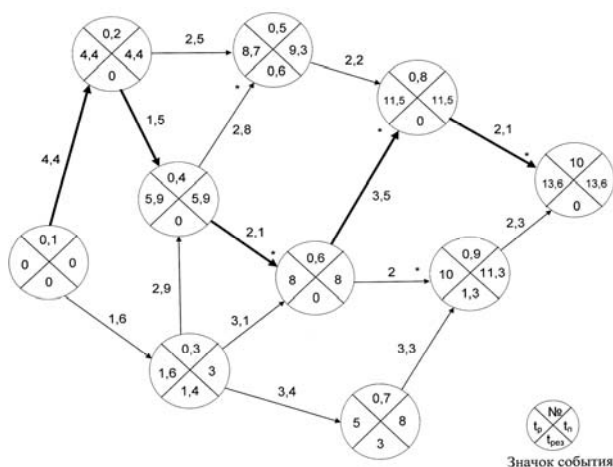
$$\sigma_{t_{pi}}^2 = \sigma_{t_{ij}}^2 + \sigma_{t_{ij}}^2,$$

где j – номер события, непосредственно следующего за событием i и лежащего на пути, который дает минимальное значение t_{pi} .

Резервы времени событий

$$t_{рез} = t_{pi} - t_{pi}. \quad (12)$$

Значения $t_{рез}$ заносятся на графике в нижний сектор значков соответствующих событий. Состав критического пути определяется просмотром сетевого графика, начиная с конечного события и продолжая его от последующих событий к предшествующим. В состав критического пути входят операции, не имеющие резервов времени и ограничивающие их события. В сети может быть несколько критических путей. Остальные пути сети называются *ненапряженными*. Ненапряженные пути имеют некоторый резерв времени. Простейшая обработка сетевого графика на этом заканчивается. Обработку сетевого графика рассмотрим на примере ТСОД, граф которой приведен на рисунке.



Обработанный сетевой график ориентированной ТСОД (жирной линией показан критический путь передачи информации)

Эта сеть ориентирована в направлении узла 10. На рисунке показан обработанный сетевой график этой ориентированной ТСОД. Контрольный срок t_k принят равным раннему возможному сроку свершения конечного события. Критический путь передачи информации проходит через события 01-02-04-06-08-10. Суммарная продолжительность операций критического пути равна 13,6. При вероятностном под-

ходе дополнительно к анализу сетевого графика определяют также вероятность того, что передача информации в ТСОД будет закончена к заданному контрольному сроку t_k . При этом обычно дается оценка рассеяния, исходя из предположения, что момент наступления конечного события имеет нормальное распределение. Это справедливо, если продолжительности операций, составляющих критический путь, взаимно независимы и критический путь состоит из достаточно большого числа операций. Так называемые «боковые» влияния операций, не входящих в критический путь, при этом не учитываются. Для этого случая среднее значение момента наступления конечного события:

$$\bar{t}_{p.к.с} = t_{p.н} + \sum_{кр.п} \bar{t}_{i,j}, \quad (13)$$

где $t_{p.н}$ – момент начала передачи или текущий момент времени; $\sum_{кр.п} \bar{t}_{i,j}$ – суммарная продолжительность работ критического пути.

Дисперсия времени наступления конечного события

$$\sigma_{p.к.с}^2 = \sum_{кр.п} \sigma_i^2, \quad (14)$$

где σ_i^2 – дисперсия момента наступления события i , входящего в критический путь.

При «боковом» влиянии некоторые операции, замыкающиеся на то или иное событие критического пути, могут закончиться позднее соответствующей операции критического пути и, таким образом, момент свершения этого события на критическом пути окажется более поздним. «Боковые» влияния уменьшаются при возрастании резервов времени напряженных путей и уменьшении дисперсии продолжительности операций. На практике определение величины $t_{p.к.с}$ по операциям критического пути оказывается вполне удовлетворительным по точности. Вероятность того, что передача информации в сети будет закончена к заданному контрольному сроку

$$P_{з.к} = \Phi \left[\frac{t_k - \bar{t}_{p.к.с}}{\sigma_{p.к.с}} \right], \quad (15)$$

где $\Phi[x]$ – табулированная функция нормального распределения [2].

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (16)$$

При организации передачи информации в АСУ анализ критического пути позволяет вы-

явить ветви ТСОД, от которых зависит передача информации в установленные контрольные сроки, и сосредоточить внимание на наиболее «узких» местах. Критический путь может быть сокращен при использовании средств связи с большей пропускной способностью или уменьшении объемов передаваемой информации. В результате этого должны быть получены новые параметры сети. Последовательным уточнением сетевого графика добиваются выполнения неравенства $\bar{t}_{p,к.c} \leq t_k$. Если продолжительность критического пути все же не обеспечит выполнения контрольного срока передачи информации t_k , то следует изменить контрольный срок. При уточнении сети проверяют, не изменился ли критический путь и не нарушено ли неравенство $t_p \leq t_n$ для событий,

зависящих от операций, где при уточнении сети были поставлены другие средства связи или уменьшены объемы передаваемой информации. Определение основных параметров сети по рассмотренной методике является приближенным. Однако получаемой точности (15–20 %) вполне достаточно для инженерных расчетов [1, 4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамов, С. А.* Сетевые методы планирования и управления / С. А. Абрамов, М. И. Мариничев, П. Д. Поляков. – М.: Советское радио, 1965.
2. *Корн, Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров : пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн; под ред. И. Г. Арамановича. – М.: Наука, 1974.
3. *Вентцель, Е. С.* Введение в исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1964.
4. *Поспелов, Д. А.* Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986.

УДК 004.81:159.942.52

А. В. Заболева-Зотова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: zabzot@vstu.ru, rozaliev_v@mail.ru, bobkovArt@gmail.com, fedorov.oleg.vlg@gmail.com

Рассматривается система определения эмоциональных реакций человека путем анализа видеоизображения. Для обработки статических поз использовались нейросетевые методы.

Ключевые слова: распознавание человека на видео, эмоции, нейронные сети.

A. V. Zabolleva-Zotova, V. L. Rosaliev, A. S. Bobkov, O. S. Fedorov

AUTOMATED APPROACH TO SOLVE THE PROBLEM OF DETERMINING THE EMOTIONAL REACTIONS IN MAN

Volgograd State Technical University

A system of determining the emotional reactions in man by analysis of video. For processing static postures used neural network methods.

Key words: man recognition in the video, emotions, neural networks.

Одним из средств повышения эффективности анализа поступающей информации и точности выбора решения при человеко-компьютерном взаимодействии является определение и прогнозирование эмоционального состояния человека. Для установления возможности автоматизации определения эмоционального состояния и реакции пользователя были проанализированы существующие теории эмоций и проведены необходимые эксперименты [1, 2, 3], на основании чего сделан вывод о возможности автоматизированного определения эмоционального состояния и реакции пользователя по анализу звукового и видеорядов.

В настоящее время не существует единой теории, позволяющей описать такое сложное явление как эмоциональная реакция во всей полноте и достаточно адекватно. В предлагаемом подходе предполагается использовать гибридный метод. За основу принята когнитивно-физиологическая теория Шехтера, согласно которой эмоциональная реакция, испытываемая индивидом, зависит не от ощущения, возникающего при физиологическом возбуждении, а от того, как индивид оценивает ситуацию, в которой это происходит. Согласно теории оценок, в возникновении эмоциональной реакции важно количество поступающей информации. Эволюционная и рудиментная теории по-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-01-90012-Бел_а.

зволяют утверждать, что базовые эмоции выражаются для всех людей одинаково, что связано с возникновением эмоциональных реакций в процессе эволюции живых существ как приспособительных механизмов, способствующих адаптации организма к условиям и ситуациям его жизни [2, 4].

На данном этапе работы реализована система определения эмоциональных реакций по речи человека [5, 6], построенная с использованием автоматизированного подхода проектирования программного обеспечения [7, 8], и разрабатывается система определения эмоциональных реакций по движениям человека [9].

Для работоспособности системы определения эмоциональных реакций по движениям че-

ловека необходимы подсистемы фильтрации, подготовки и просмотра информации о позе, анализа позы человека. Общая схема представлена на рис. 1.

Опишем подход к классификации поз человека. Предполагаем, что в начальный момент времени субъект (человек) находится в нейтральном положении до тех пор, пока ему не будет предъявлен стимул. После этого система пытается проанализировать позу и выдать соответствующий результат.

Особенностью подхода является то, что поведенческие классы пересекаются друг с другом, но классы уверенности и неуверенности, закрытых и открытых поз попарно не пересекаются. Кроме того, вводится градация неуверенности и уверенности [9].

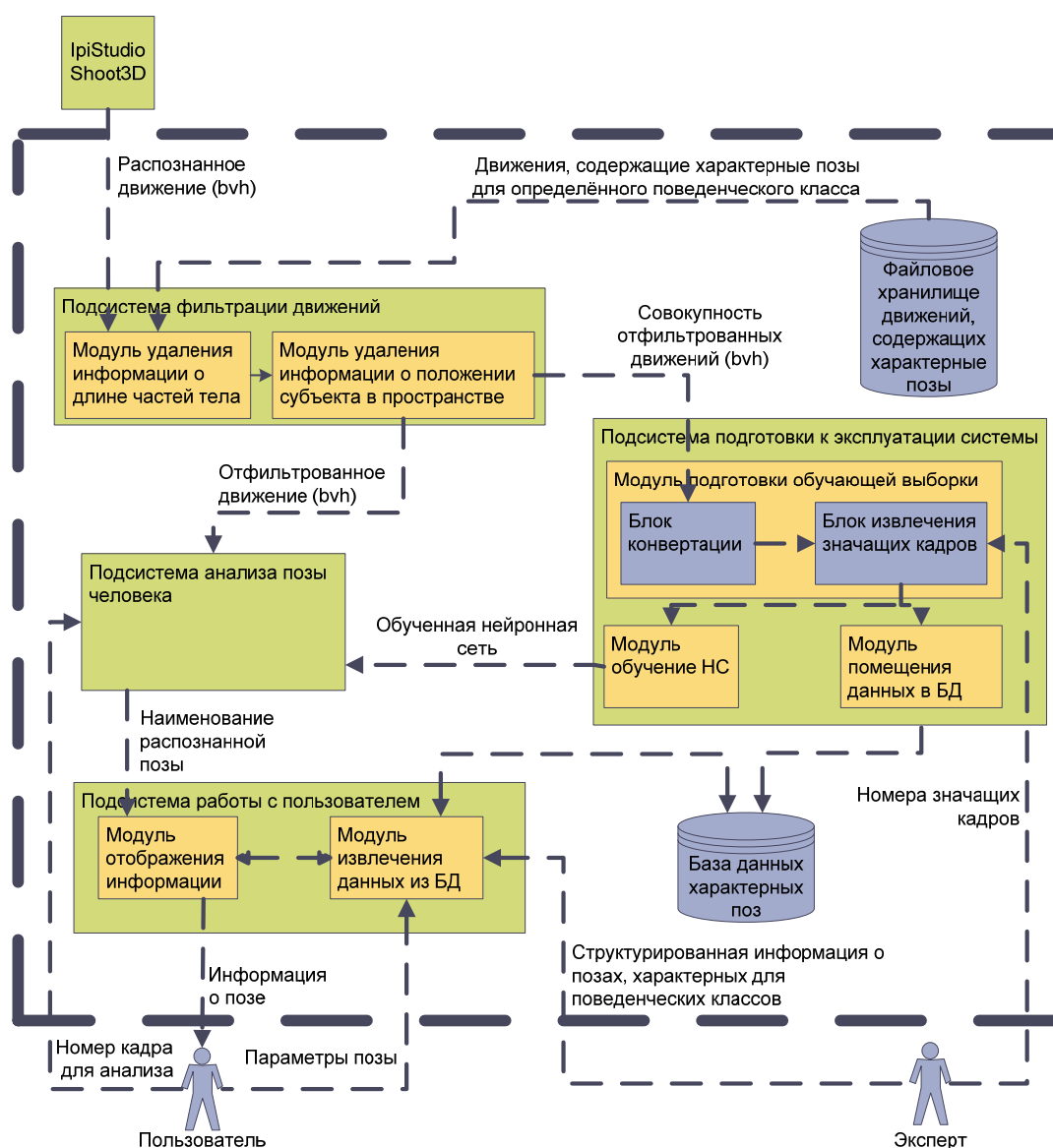


Рис. 1. Архитектура системы анализа поз человека

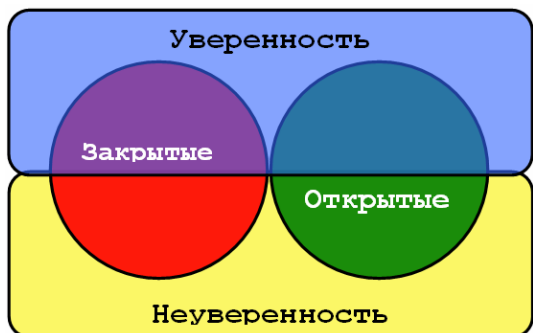


Рис. 2. Поведенческие классы

Язык телодвижений различается у мужчин и женщин, имеет различные тенденции и характеристики. Именно поэтому в систему было добавлено разделение по половой принадлежности. При этом существуют позы, которые свойственны как мужчинам, так и женщинам. Эти позы в системе имеют название «общие». Также существуют позы, которые свойственны детям. При этом детские позы могут проявляться у взрослых. Примером могут служить рез-

кие эмоциональные переживания счастья, страха или гнева. Таким образом, система различает следующие принадлежности поз: мужчина, женщина, ребенок, общее.

На основе анализа литературных источников [10, 11, 12, 13] выделены 40 поз и их различные объединения. Критерием выбора стало ограничение векторной модели, не различающей фаланги пальцев.

Обучающая выборка была подготовлена следующим образом. Добровольцы снимались на видео. Затем это видео распознавалось при помощи программного обеспечения IpiSoft, в котором использовалась технология Shoot3D и строилась анимация векторной модели человека. Пример модели представлен на рис. 3. Добровольцами являлись члены театрального кружка Волгоградского государственного технического университета. Также использовались готовые анимации, которые были получены при помощи различных маркерных технологий, находящихся в свободном распространении.

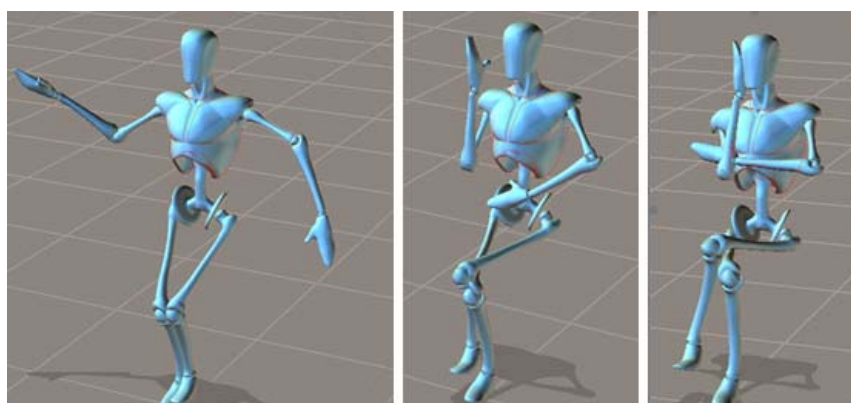


Рис. 3. Анимация позы, характерной для закрытого уверенного поведения

Анимация строилась в специальном программном обеспечении. Далее она экспортировалась в необходимый для нас формат – bvh. BVH-файлы весьма популярны и их поддерживают многие пакеты для работы с графикой и анимацией: 3DSMax, Poser, Autodesk Motion-Builder и другие. Файл содержит всю информацию об анимации в виде текста, что весьма удобно для извлечения, обработки и анализа данных.

Файл состоит из двух частей. В первой части представлена иерархическая информация, отображающая данные о строении скелета, а также каналы, которые описывают каждый узел модели. Во второй части представлена информация, описывающая каждый кадр построчно. Соответственно, каждый кадр состоит из мно-

жества значений, описывающих каждый канал.

Для дальнейшей работы информация о движении, полученная при помощи Shoot3D, была отфильтрована и преобразована. Так как рост человека мало влияет на выражение его базовых эмоциональных реакций, информация, отвечающая за размер скелета (т. е. фактически длины векторов), считается шумовой. Кроме того, были отброшены каналы, описывающие изменение размера векторов, а также их масштабирования, исходя из соображений, что длина частей тела не изменяется за время совершения жеста, который будет в дальнейшем подвергнут анализу.

Пример отфильтрованных данных для правой руки, представлен на рис. 4.

10	13	2	-3	68	35	7	-163	27	-104	3	-20	-76
11	14	2	-4	75	39	8	-177	31	-113	4	-20	-84
12	15	3	-4	81	43	9	-189	34	-120	4	-21	-91
13	16	3	-4	87	47	9	-198	37	-126	5	-21	-96
14	16	3	-4	92	50	9	-202	39	-129	5	-21	-99
15	16	3	-4	95	52	9	-201	40	-130	5	-21	-101

Рис. 4. Данные, описывающие правую руку

Для кадра номер «15», векторная модель которого представлена на рис. 3 справа, положение правого предплечья описано следующим образом:

- 201° вокруг оси Z относительно родительского элемента;
- 40° вокруг оси Y относительно родительского элемента;
- 130° вокруг оси X относительно родительского элемента.

Родительским элементом для правого предплечья является правое плечо. Его положение задано аналогичным образом и представлено на рис. 4 – первые три столбца.

Таким образом, фактически нам необходима информация, которая описывает изменение углов векторов одних частей тела относительно других. Причем в модели эти повороты заданы относительно родительских векторов. Информация о рекурсивном описании была представлена в статье [9]. Нет необходимости хранить данные, описывающие повороты в глобальной системе координат, так как в таком случае будет невозможно их сравнение при повороте всего тела или родительской части.

Опишем режимы работы системы. Первый режим – это обучение подсистемы анализа поз. Обучение происходит в соответствии со следующим алгоритмом.

1. На вход подается распознанное видео в формате *bvh*.

2. Файлы *bvh* фильтруются (удаляются ненужные каналы, удаляется информация о длине частей тела).

3. Отфильтрованные файлы конвертируются в формат *csv*.

4. Создается направляющий *csv*-файл, в котором хранится номер кадра и название *bvh*-файла, с интересующей нас позой.

5. Создается файл для выборки с помощью направляющего и отфильтрованного файлов.

6. Полученный файл экспортируется в БД и модуль для обучения НС.

Таким образом, получаем данные, которые преобразованы в таблицы для более наглядного представления и экспорта в нейронную сеть, представленные в виде файла в формате **.csv*. В этом алгоритме шаг № 4 выполняется вручную.

На данном этапе работы обучающая выборка состоит из 579 входных векторов, размер каждого из которых составляет 66 переменных. Построены два многослойных перцептрона в пакете STATISTICA 8 модуль Automated Neural Networks.

Первая нейронная сеть определяет тип позы – закрытая или открытая. Анализировались 50 нейронных сетей типа радиально-базисных функций и многослойный перцептрон. На рис. 5 представлены 10 лучших сетей. Наибольший процент правильного распознавания на обучающем и контрольном множестве показала сеть под номером «5» – 99,78 и 96,52 % Трехслойный перцептрон. 66 нейронов на первом слое, 15 на втором и 3 на третьем. Для обучения использовался алгоритм BFGS. [14].

Вторая нейронная сеть определяет уверенность и неуверенность субъекта. Результаты аналогичного обучения приведены на рис. 6.

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 66-18-3	99,78448	93,91304	BFGS 54	Entropy	Tanh	Softmax
2	MLP 66-17-3	99,78448	94,78261	BFGS 44	Entropy	Logistic	Softmax
3	MLP 66-31-3	99,13793	91,30435	BFGS 111	SOS	Exponential	Tanh
4	MLP 66-31-3	97,84483	92,17391	BFGS 77	SOS	Exponential	Tanh
5	MLP 66-15-3	99,78448	96,52174	BFGS 56	Entropy	Logistic	Softmax
6	MLP 66-13-3	98,70690	92,17391	BFGS 89	SOS	Logistic	Exponential
7	MLP 66-32-3	96,55172	91,30435	BFGS 46	SOS	Exponential	Identity
8	MLP 66-15-3	99,35345	92,17391	BFGS 61	SOS	Logistic	Identity
9	MLP 66-21-3	99,78448	93,04348	BFGS 35	Entropy	Tanh	Softmax
10	MLP 66-25-3	99,78448	93,91304	BFGS 54	Entropy	Logistic	Softmax

Рис. 5. Результат обучения нейронной сети анализа закрытых и открытых поз

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 66-15-2	100,0000	94,78261	BFGS 41	Entropy	Tanh	Softmax
2	MLP 66-25-2	100,0000	94,78261	BFGS 34	Entropy	Logistic	Softmax
3	MLP 66-18-2	99,7845	94,78261	BFGS 60	Entropy	Logistic	Softmax
4	MLP 66-35-2	100,0000	93,91304	BFGS 29	Entropy	Logistic	Softmax
5	MLP 66-32-2	96,3362	93,91304	BFGS 66	SOS	Tanh	Logistic
6	MLP 66-32-2	100,0000	95,65217	BFGS 43	Entropy	Logistic	Softmax
7	MLP 66-23-2	100,0000	95,65217	BFGS 42	Entropy	Logistic	Softmax
8	MLP 66-22-2	100,0000	95,65217	BFGS 37	Entropy	Tanh	Softmax
9	MLP 66-19-2	100,0000	93,91304	BFGS 29	Entropy	Tanh	Softmax
10	MLP 66-18-2	95,4741	94,78261	BFGS 36	SOS	Exponential	Logistic

Рис. 6. Результат обучения нейронной сети анализа уверенности и неуверенности субъекта.

Наилучшие результаты показали сети под номерами «6», «7», «8».

MLP 66-32-2. 66 нейронов на первом слое; 32 – на втором; 2 – на третьем. Алгоритм обучения – квази-ньютоновский. 43 эпохи обучения. Функция ошибки – кросс энтропия. Функция активации скрытого слоя – логистическая. Функция активации внешнего слоя – софтмакс.

MLP 66-23-2. 23 нейрона на втором слое. Остальное аналогично.

MLP 66-22-2. 22 нейрона на втором слое. Функция активации на скрытом слое – гиперболический тангенс.

Второй режим это анализ позы. На вход разработанного нами программного обеспечения подается файл в формате *bvh*.

Алгоритм работы

1. Выбирается *bvh*-файл для анализа.
2. Указывается кадр для анализа.
3. В файле *bvh* фильтруется только кадр, который мы анализируем (удаляются ненужные каналы, информация о длине костей).
4. Кадр подается на вход НС.
5. Получаем на выходе поведенческий класс [9], который был определен с помощью НС.

Третий режим – просмотр информации о позе. Был создан отдельный модуль для структуризации и упорядочивания информации о позах, характерных для различного рода поведений, полученной из анализа литературных источников и практических экспериментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розалиев, В. Л. Построение модели эмоций по речи человека / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолГТУ. – Волгоград, 2007. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 62–65.
2. Розалиев, В. Л. Предпосылки, возможности, перспективы создания автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолГТУ. – Вол-

гоград, 2008. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 58–61.

3. Розалиев, В. Л. Система распознавания эмоционального состояния человека на основе анализа видеоряда / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2009) : сб. ст. III Всерос. науч. конф. Т. II. – Волгоград, 2009 – С. 284.

4. Ильин, Е. П. Эмоции и чувства / Е. П. Ильин. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 783 с.

5. Розалиев, В. Л. Применение механизма распознавания речи для определения эмоций человека / В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // AIS'08. CAD-2008. Интеллектуальные системы. Интеллектуальные САПР (пос. Дивноморское, 3–10 сент. 2008 г.) : тр. междунар. науч.-техн. конф. / ФГОУ ВПО «Юж. федер. ун-т». [и др.]. – М., 2008. – Т. 3. – С. 272–278.

6. Розалиев, В. Л. Применение теории иммунных систем для построения модели эмоций человека / В. Л. Розалиев // Тр. V Междунар. науч.-практ. конф. «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Т. 2. – М.: Физматлит, Коломна, 2009.

7. Орлова, Ю. А. Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / Ю. А. Орлова // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации : сб. науч. тр. Всерос. конф. с элементами науч. школы для молодежи (г. Ульяновск, 1–5 дек. 2009 г.). В 4 т. Т. 3 / Ульяновский гос. техн. ун-т [и др.]. – Ульяновск, 2009. – С. 30–38.

8. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. Машиностроение. – М., 2008. – Вып. 9. – С. 26–34.

9. Бобков, А. С. Распознавание неуверенности и негативного состояния человека / А. С. Бобков, О. С. Федоров, В. Л. Розалиев // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации : сб. науч. тр. Всерос. конф. с элементами науч. школы для молодежи (г. Ульяновск, 1–5 дек. 2009 г.). В 4 т. Т. 2 / Ульяновский гос. техн. ун-т [и др.]. – Ульяновск, 2009. – С. 143–151.

10. Биркенбил, В. Язык интонации, мимики, жестов / В. Биркенбил. – СПб.: Питер, 1997. – 224 с.

11. Вилсон, Г. Язык жестов / Г. Вилсон. – М., 2001. – 213 с.

12. Моррис, Д. Библия языка телодвижений / Д. Моррис ; пер. с англ. Н. Караева. – М.: Эксмо, 2010. – 672 с.

13. Пиз, А. Язык телодвижений / А. Пиз, Б. Пиз. – М.: Эксмо, 2007. – 464 с.

14. Bishop, C. M. Neural Networks for Pattern Recognition / C. M. Bishop // Oxford University Press. – 1995. – С. 116–137.

УДК 65.012.122.

С. В. Коробенко, И. А. Сосновский, В. П. Собко

**МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ
К ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ОСОБЕННОСТЯМ ОПЕРАТОРОВ
ПО МИНИМУМУ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА**

Донской государственный технический университет

E-mail: Korobenkoff@yandex.ru

В статье раскрывается подход к построению автоматизированных обучающих систем (АОС) нового поколения, ориентированных на снижение эксплуатационного технологического риска при функционировании сложных технических комплексов (СТК) энергетики, транспорта и связи.

Адаптация АОС к индивидуальным особенностям обучаемых является значительным неиспользованным резервом системы подготовки операторов сложных СТК, обеспечивающим минимизацию их эксплуатационного технологического риска.

Существование нового подхода заключается в автоматическом управлении объемом и сложностью учебных задач, а также интенсивностью их предъявления обучаемым непосредственно в ходе занятий по признакам изменения текущего функционального состояния, позволяющим заблаговременно судить о возможности совершения ошибки на предстоящем этапе работы.

Ключевые слова: индивидуальные особенности персонала, технологический риск при эксплуатации СТК, неадекватные действия, адаптивная обучающая система, модель последовательности действий оператора, оценка риска в реальном масштабе времени, гибкая интеллектуальная обратная связь, управление плотностью информационного потока, воздействующего на обучаемого.

S. V. Korobenko, I. V. Sosnovsky, V. P. Sobko

**THE METHOD TO ADAPTATION AUTOMATIC TRAINING SYSTEM OF THE OPERATORS
TECHNICAL COMPLEXES OF MINIMUM TECHNOLOGICAL RISK**

The Don State technical university

The new approach to automation of training of the operators of complexes of technical systems is submitted in this article.

This approach allows to improve the quality of human-machine systems on the basis of automatic control of an interval of following the data messages and control of a functional condition of the operator under the law Yerkes-Dodson.

The solution of this problem allows to decrease the technological risk of technical complexes on the average by 12 % on the basis of the introducing of a nonrigid intellectual feedback.

Key words: the technical complexes, technological risk, instantaneous estimation of efficiency of operations of the operator, model of the optimum sequence of operations of the operator, nonrigid intellectual feedback.

Введение

В настоящее время проблема эффективной реализации производственного потенциала СТК энергетики, транспорта и связи обостряется вследствие непрерывного роста эксплуатационного технологического риска таких комплексов при повышении их производительности, сложности и стоимости [2, 3, 8].

Несмотря на возрастающую надежность техники, ошибки и неадекватные действия персонала при эксплуатации СТК приводят не только к экономическим потерям, превышающим сотни миллионов рублей, но и к гибели людей [3].

Под *эксплуатационным технологическим риском* будем понимать величину ущерба, возможного вследствие снижения интеллектуальных и духовных ресурсов персонала СТК ниже

требуемого уровня, при котором обеспечивается выработка товаров (услуг) заданного качества [2].

Традиционно для приобретения и поддержания у персонала навыков безошибочного выполнения типовых технологических операций применяются АОС и тренажеры. Их совершенствование активно происходит с применением компьютерных и информационных технологий [7, 8]. Однако сформулированные более 20 лет назад требования к АОС по адаптивному управлению объемом, скоростью и сложностью предъявляемой учебной информации с учетом функционального состояния (ФС) обучаемых так и не были реализованы [6].

Существующие методы и средства контроля текущего ФС человека-оператора зачастую оказываются нечувствительными к содержа-

нию деятельности персонала при функционировании СТК, а разработанные методики адаптации АОС не пригодны для работы в реальном масштабе времени ввиду того, что для сбора информации об индивидуальных особенностях обучаемых используются стандартные психодиагностические методики [1, 5].

В этой связи следует отметить, что адаптация АОС к индивидуальным особенностям обучаемых является значительным неиспользованным резервом, задействование которого позволяет существенно снизить уровень эксплуатационного технологического риска СТК различного назначения.

1. Формализованная постановка задачи адаптации АОС к индивидуальным особенностям операторов по минимуму эксплуатационного технологического риска

Рассмотрение проблемы эффективной реализации производственного потенциала СТК с позиций системного подхода позволило увидеть необходимость поиска новых форм адаптации АОС, в большей степени ориентированных на предупреждение снижения эффективности операторской деятельности за счет автоматической настройки параметров информационного потока, воздействующего на операторов.

В этой связи общую научную задачу можно сформулировать следующим образом: полагая известными множество A алгоритмов действий персонала и множество Y оценок ущербов, возможных при эксплуатации СТК, множество Π параметров программы подготовки персонала, реализуемой с использованием АОС, необходимо разработать такую методику адаптации АОС к индивидуальным особенностям обучаемых M , которая минимизирует эксплуатационный технологический риск R при соблюдении ограничений, налагаемых на продолжительность подготовки персонала T_{Π} и стоимость C оборудования АОС.

Математическая постановка сформулированной научной задачи представляется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} R(A, Y, \Pi, w(\sigma_j^{\Phi}, t), T_{\Pi}, C, M) &\xrightarrow{M^*} \min, \\ M &= f(\Pi, w(\sigma_j^{\Phi}, t), C, T_{\Pi}), \\ C &\leq C^{\text{доп}}, T_{\Pi} \leq T_{\Pi}^{\text{треб}}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где $C^{\text{доп}}$ – допустимая стоимость адаптивной АОС; $T_{\Pi}^{\text{треб}}$ – требуемая продолжительность подготовки персонала; $w(\sigma_j^{\Phi}, t)$ – оценка теку-

щей эффективности персонала при выполнении алгоритма действий, обусловленная фактическими действиями σ_j^{Φ} .

Под адаптацией АОС к индивидуальным особенностям обучаемых будем понимать автоматическое изменение содержания сценария тренажа и моментов времени предъявления учебных задач (вводных) с учетом текущего ФС обучаемых.

Под *ФС обучаемого* будем понимать комплексную характеристику человека-оператора, определяющую уровень его способностей (интеллектуальных и психофизиологических) к выполнению функциональных обязанностей с требуемым качеством [1, 2, 5].

Решение поставленной научной задачи базируется на оригинальном методе гибкой интеллектуальной обратной связи (ГИОС), предусматривающем управление плотностью информационного потока, воздействующего на оператора, по признакам изменения его текущего ФС в ходе занятий с применением АОС [2].

2. Модель оптимальной последовательности действий оператора по выполнению типовой технологической операции

Оценка правильности действий обучаемых в ходе занятий на тренажерах осуществляется инструктором в соответствии с требованиями нормативных документов, в которых содержится описание возможных ошибок операторов.

Как правило, не считается ошибкой самостоятельное исправление обучаемым неправильных действий за время, не превышающее установленный норматив на выполнение операции. Однако такие погрешности в деятельности приводят к непродуктивному расходованию психофизиологических и энергетических ресурсов оператора, что при функционировании СТК угрожает потерями производственного потенциала.

Под *оптимальной последовательностью действий* будем понимать такую их упорядоченную совокупность, которая позволяет оператору выполнить типовую операцию по кратчайшей траектории (маршруту минимальной протяженности) и с минимальными затратами энергетических резервов и при этом достигнуть конечного результата деятельности, установленного требованиям эксплуатационной документации (ЭД).

Рассмотрение алгоритмов деятельности операторов СТК военного назначения позволило выявить наличие действий типа r , пропуск

которых, замена, либо изменение очередности выполнения напрямую приводят к потерям производственного (боевого) потенциала.

Существуют также действия типа d , изменение очередности выполнения которых на ограниченном участке типовой операции, в отличие от действий типа r , не приводят к потерям потенциала СТК, но сопровождаются непродуктивным расходом энергетических резервов оператора.

Действия типа u не приводят к потерям потенциала СТК в случае изменения очередности выполнения, а также пропуска, замены и излишнего выполнения, но сопровождаются непродуктивными затратами энергетических резервов оператора.

В этой связи разработана модель оптимальной последовательности действий по выполнению типовой ТО, на основе которой возможно выявление неадекватных действий указанных типов [2, 8].

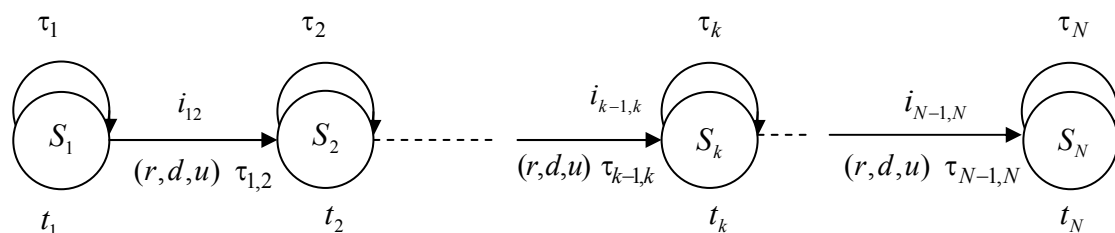


Рис. 1. Модель оптимальной последовательности действий оператора

Такая модель представляет собой сетевой граф, дуги которого обозначают действия оператора $i_{k-1,k}$, вершины – состояние оборудования S_k .

Следует заметить, что общее число состояний S_k ($k = \overline{1, N}$) оборудования СТК для любой технологической операции есть конечная детерминированная величина.

Полагая, что при функционировании СТК деятельность персонала носит дискретный характер, каждое $i_{k-1,k}$ -е действие в модели ограничено состоянием оборудования в момент его начала (S_{k-1}, t_{k-1}) и завершения (S_k, t_k). Дуги графа обозначены с учетом типов действий (r, d, u).

3. Показатель для оценки эксплуатационного технологического риска

В общем виде, при выполнении оператором типовой ТО, отклонение его фактических действий $\sigma_j^\phi = \{i_{k-1,k}\}$ от оптимальной последовательности действий σ_j^* обуславливает некоторую величину $\Delta w(t)$ снижения эффективности

деятельности, которая угрожает потерями производственного потенциала СТК.

В этой связи для оценки R^j эксплуатационного технологического риска при выполнении операции j -го типа предлагается выражение:

$$R^j = \frac{Y^j}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} [W(\sigma_j^*) - w(\sigma_j^\phi, t)] dt, \quad (2)$$

где Y^j – максимальный ущерб, возможный при выполнении ТО j -го типа; $[t_0, t_1]$ – период времени, отводимый оператору на выполнение ТО; $W(\sigma_j^*)$ – требуемая эффективность деятельности, достигаемая в случае соблюдения оператором оптимальной последовательности действий σ_j^* при выполнении операции j -го типа.

Для оценки текущей эффективности деятельности оператора предлагается следующее выражение:

$$w(\sigma_j^\phi, t) = W(\sigma_j^*) - \Delta w(t). \quad (3)$$

При этом величина $\Delta w(t)$ зависит от типа неадекватного действия:

$$\Delta w(t) = \max [\Delta w^r, \Delta w^d, \Delta w^u], \quad (4)$$

где $\Delta w^r = \begin{cases} W(\sigma_j^*) \cdot h^r, & \text{если допущено неадекватное действие типа } r; \\ 0, & \text{если } \sigma_j^\phi = \sigma_j^*; \end{cases}$

$$\Delta w^d = \begin{cases} W(\sigma_j^*) \cdot h^d, & \text{если допущено неадекватное действие типа } d; \\ 0, & \text{если } \sigma_j^\phi = \sigma_j^*; \end{cases}$$

$$\Delta w^u = \begin{cases} W(\sigma_j^*) \cdot h^u, & \text{если допущено неадекватное действие типа } u; \\ 0, & \text{если } \sigma_j^\phi = \sigma_j^*. \end{cases}$$

Для определения значений штрафных коэффициентов (h^r , h^d , h^u) может использоваться метод экспертных оценок возможности причинения ущерба в результате неадекватных действий конкретного типа при выполнении типовой операции на оборудовании СТК.

Так, максимальное значение штрафного коэффициента назначается для случаев *пропуска* действий типа *r* ($h^r = 1$), что обусловлено причинением потерь потенциала СТК. Средняя величина штрафа ($h^d = 0,5$) назначается при изменении очередности выполнения действий типа *d*. Это обусловлено тем, что деятельность оператора сопровождается непродуктивным расходом энергетических резервов организма, а возможный пропуск таких действий угрожает потерями потенциала СТК. Минимальное значение штрафного коэффициента ($h^u = 0,1$) назначается в случае неадекватного выполнения действий типа *u* ввиду того, что это приводит лишь к непродуктивному расходованию энергетических резервов организма оператора и не угрожает потерями производственного потенциала.

4. Метод гибкой интеллектуальной обратной связи с обучаемым в ходе занятий с применением АОС

В соответствии с законом Йоркеса – Додсона, отклонение текущего ФС оператора от индивидуального оптимума обуславливает снижение эффективности его деятельности [1, 5]. При этом величина такого снижения определяется индивидуальными способностями оператора по обработке потока информации определенной плотности в текущем ФС с требуемым качеством [4].

Так, для предупреждения снижения эффективности деятельности оператора при ее монотонном характере требуется увеличение плотности поступающего потока информации, а при утомлении оператора возникает необходимость уменьшения плотности потока для обеспечения самовосстановления энергетических резервов оператора [4].

В этой связи метод ГИОС включает следующие этапы:

- подачу оператору ν -й вводной (задачи) с интервалом τ_ν^j , значение которого условно может считаться оптимальным для оператора в его текущем ФС;

- оценку уровня эксплуатационного технологического риска r_ν^j по результатам отработки ν -й вводной;

- расчет вариации риска по выражению:

$$\Delta R = R_\nu^j - R_{\nu-1}^j; \quad (5)$$

- коррекцию значения интервала подачи очередной вводной по выражению:

$$\tau_{\nu+1} = \tau_\nu - \varepsilon. \quad (6)$$

При этом значение переменной ε определяется по правилу:

$$\varepsilon = \begin{cases} +1, & \text{если } \frac{\Delta R}{R_\nu^j} 100 \% \geq \gamma; \\ 0, & \text{в остальных случаях;} \\ -1, & \text{если } \frac{\Delta R}{R_\nu^j} 100 \% \leq -\gamma. \end{cases} \quad (7)$$

Следует отметить, что γ ширина порога чувствительности правила (7) задается эмпирически с учетом уровня допустимого риска, установленного для конкретного СТК.

5. Методика адаптации АОС к индивидуальным особенностям операторов по минимуму эксплуатационного технологического риска

Организация обучения оператора с применением АОС предусматривает формирование сценария занятия, предусматривающего некоторый набор задач (вводных) и моменты времени их предъявления оператору для отработки.

В общем виде методика автоматической адаптации АОС к индивидуальным особенностям оператора непосредственно в ходе занятия представлена на рис. 2.

Экспериментальная отработка разработанного научно-методического аппарата проводилась на модели адаптивной АОС, панель индикации которой была построена средствами программной среды Delphi 7.0 на экране монитора



Рис. 2. Структурная схема методики адаптации АОС к индивидуальным особенностям операторов

ПЭВМ, а в качестве пульта управления использовалась клавиатура.

В ходе занятий на модели АОС операторами (всего 60 человек) отрабатывались 20 задач по включению в работу элементов оборудования СТК. При этом для операторов *рабочей* группы (30 человек) интервал следования задач не изменялся.

Контрольная группа операторов решала задачи, интервал следования которых автоматически корректировался по правилу (7).

В результате обработки экспериментальных данных снижение уровня эксплуатационного риска СТК при работе операторов *контрольной* группы (рис. 3, график 2) составило 12 ± 2 % при доверительной вероятности 0,95.

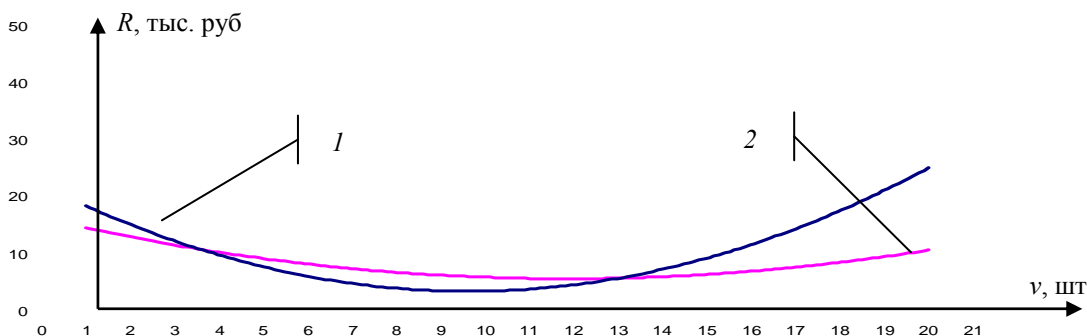


Рис. 3. Динамика эксплуатационного технологического риска (R) в ходе экспериментальной отработки методики адаптации АОС:

1 – динамика риска при работе операторов *рабочей* группы; 2 – динамика риска при работе операторов *контрольной* группы

Наибольший эффект наблюдался в начальной стадии испытания (задачи 1–4), когда про-

текает так называемый период вработывания, и на заключительной стадии испытаний (задачи

14–20), когда компенсаторные функции организма ослабевают вследствие утомления операторов [1, 5].

Заключение

Предложенные элементы нового научно-методического аппарата имеют межотраслевое значение и позволяют обеспечить безопасную реализацию производственного потенциала СТК различного назначения.

На их основе разработана новая система контроля текущего ФС человека-оператора при выполнении им обязанностей на стационарном автоматизированном рабочем месте, защищенная патентом на изобретение РФ [3].

Следует отметить, что внедрение новой методики адаптации АОС к индивидуальным особенностям операторов не требует существенных материальных затрат ввиду того, что она базируется на рациональном использовании внутренних резервов системы подготовки персонала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айдаркин, Е. К. Работоспособность и функциональное состояние / Е. К. Айдаркин, Н. В. Пахомов. – Ростов н / Д. : Изд-во ООО «ЦВВР», 2004. – С. 196–203.

2. Гутников, В. Н. Антропоцентрический подход к автоматизации подготовки операторов технических комплексов / В. Н. Гутников, С. В. Коробенко, И. А. Сосновский // Автоматика и вычислительная техника. – 2005. – № 2. – С. 12–21.

3. Государственный доклад «О состоянии промышленной безопасности, рациональном использовании и охране недр РФ в 2008 году» / под ред. В. М. Кульчева. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности РФ», 2008.

4. Пат. 2247530 Российская Федерация. Система контроля текущего ФС человека-оператора при выполнении им обязанностей на автоматизированном рабочем месте / С. В. Коробенко [и др.] // Официальный бюллетень по изобретениям и полезным моделям ФГУ ФИПС № 7, 2005.

5. Ломов, Б. Ф. Основы инженерной психологии : учеб. для техн. вузов / Б. Ф. Ломов. – М.: Высшая школа, 1986. – С. 203–243.

6. Методика построения учебно-тренировочных средств с автоматической адаптацией параметров подготовки / А. Н. Михалин, С. П. Коробков, А. С. Решенкин, И. А. Сосновский // Материалы XXXI академических чтений по космонавтике. – М., 2007. – С. 296–297.

7. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. Кн. 7. Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами / В. М. Гасов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1991. – С. 34–52.

8. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В. Е. Шукшунов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. – С. 76–95.

УДК 001.8+004.01

В. В. Костерин

РАЗРАБОТКА ИНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kosterinvv@mail.ru

Излагается методика разработки однозначных для понимания инструкций функционирования систем и устройств, в том числе описания бизнес-процессов и составления текстов инструкций действий в условиях чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: методика, инструкция, спецификация, функционирование, написание, текст.

V. V. Kosterin

PREPARATION INSTRUCTIONS USING PROGRAMMING TECHNIQUES

Volgograd State Technical University

The technique of working out unequivocal for understanding of instructions of functioning of systems and devices, including the description of business processes and drawing up of texts of instructions of actions in the conditions of emergency situations is stated.

Key words: a technique, the instruction, the specification, functioning, writing text.

Жизнь заурядного человека с раннего детства регламентируется инструкциями. Воспитатели детских садов, родители пытаются научить ребенка переходить через улицу. «Плохие» инструкции – это не злой умысел составителя, а его неумение справиться с анализом сложной системы, которую он описывает.

Как правило, составители инструкций утверждают, что они все проверили многократно.

Рассмотрим возможность создания теста, обнаруживающего все ошибки уже составленной инструкции. Это, безусловно, всегда астрономическое число тестов.

Пусть подразумевается, что инструкция проверена полностью, если при помощи тестов удается осуществить выполнение этой инструкции по всем возможным маршрутам ее потока (графа) передач управления. Однако число

не повторяющих друг друга маршрутов в обычной инструкции меньше, чем в предшествующем случае, но тоже астрономическое.

Решение проблемы возможно лишь в разумной декомпозиции задачи и тестировании небольших частей.

Написание технической документации – особый жанр писательского искусства. В настоящее время возрастает спрос на специалистов новой специальности Technical Writer – технический писатель. Вероятно, одна из сфер применения методики заключается в использовании ее такими специалистами.

При помощи данной методики можно составлять:

- 1) короткие и понятные описания любых процессов;
- 2) инструкции действий в условиях чрезвычайных ситуаций, понятные специалистам без полного прочтения;
- 3) инструкции пользования изделиями;
- 4) описания принципов функционирования изделий;
- 5) описания бизнес-процессов;
- 6) инструкции по бухгалтерским расчетам;
- 7) должностные инструкции;
- 8) многие приказы (это тоже инструкции).

Данный список не является исчерпывающим и возможны все новые применения.

Согласно предложенной методике разработки функциональных описаний, общая суть любого процесса функционирования может быть выражена предложением структуры ОДИНОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ.

Отдельная структура ОДИНОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ должна передавать мысль об исполнении строго одного действия как процесса.

СЛЕДОВАНИЯ должны быть по смыслу динамичными. Известно, что русский язык

омертвляет динамичные формы герундия, придавая им статичность существительных. Например, слово «маркетинг» именуется видом деятельности, а не деятельностью «Marketing». В русском языке динамичность передается несколькими словами. Зачем так подробно? Многие начинающие пользователи методики путают действия и объекты, участвующие в действиях.

Приведем далее по тексту два примера построения предложений, соответствующих структуре ОДИНОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ: «На этом этапе выполняется процесс копки ямы с заданными размерами», «Данная бухгалтерская инструкция регламентирует процесс начисления заработной платы на предприятии ООО «Вектор». Отметим, что написание таких длинных предложений в процессе составления инструкций может отвлечь внимание составителя инструкции от сути описываемых процессов. Поэтому для выражения сути СЛЕДОВАНИЙ временно ограничимся только сочетаниями слов «Копка ямы с заданными размерами», «Начисление заработной платы» или даже «Копка ямы», но будем подразумевать динамичность (процесс). Также отметим, что суть действия в ОДИНОЧНОМ СЛЕДОВАНИИ передается с использованием отглагольного имени существительного, например: копка – копать; начисление – начислять. Такая передача сути позволяет приблизиться (но не до конца) к передаче именно динамики действия.

На примере составления инструкции по переходу через улицу у перекрестка, регулируемого светофором, рассмотрим возможности предложенной методики. Итак, начинаем с одновременной работы по составлению первичных тестов и исследованию кибернетической модели «черного ящика» для выявления первичного ОДИНОЧНОГО СЛЕДОВАНИЯ (рис. 1).

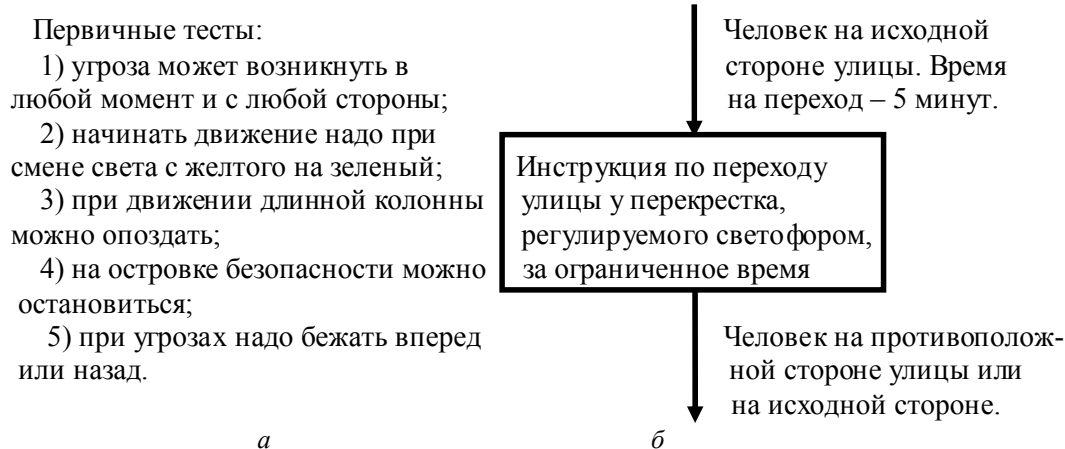


Рис. 1. Начальный этап составления инструкции: а – первичные тесты; б – модель «черного ящика»

«Черный ящик» необходим для того, чтобы определить, с чего начинается инструкция, чем она заканчивается и дать верное название инструкции. Работа с «черным ящиком» ведется в следующем порядке: сначала записываем предварительное название инструкции, например, «переход улицы»; далее определяем выход, ибо выход определяет вход; определяем вход и, наконец, глядя на вход и выход, уточняем суть инструкции. Входы и выходы являются сущностями и отражаются именами существительными. Например, это объекты, изменяющиеся как во времени и пространстве, так и изменяющие свое внутреннее состояние.

Работа с «черным ящиком» позволяет выявить точные термины именованья входных и выходных сущностей и их использовать при передаче действий. Отметим, что хорошая инструкция в форме спецификации – это не только описание с использованием точных терминов, но и с однозначностью передачи порядка действий.

Далее, основываясь на первичных тестах, необходимо составить наглядные тесты в компактной форме. Составление наглядных тестов – довольно сложная проектная задача. Особенно трудным является выбор формы: рисунок, таблица и т. д. Наглядные тесты должны показывать изменения всех объектов во всех возможных ситуациях, отражаемых в инструкции (рис. 2).

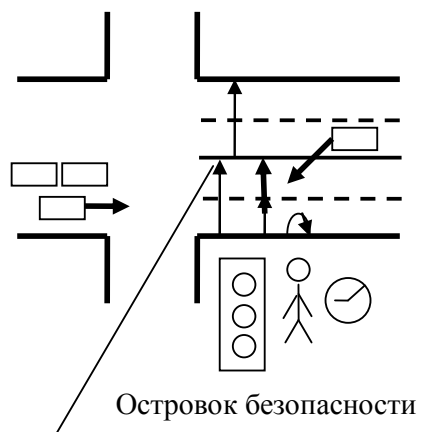


Рис. 2. Наглядный тест в форме рисунка

В процессе декомпозиции ОДИНОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ в зависимости от задачи может быть представлено только одним структурным элементом только одного из трех видов: ЦЕПОЧКА СЛЕДОВАНИЙ, ЦЕПОЧКА АЛЬТЕРНАТИВ, ПОВТОРЕНИЕ. Все эти элементы содержат ОДИНОЧНЫЕ СЛЕДОВАНИЯ, которые позднее также могут быть декомпозиро-

ваны. ЦЕПОЧКЕ СЛЕДОВАНИЙ соответствуют мысли о всегда неизменном порядке выполнения неизменного количества действий. ЦЕПОЧКА АЛЬТЕРНАТИВ (из одной и более) выявляется по признаку: имеются действия (действие), которые либо исполняются однократно и только при каких-то условиях, либо не исполняются (пропускаются). Признаком ПОВТОРЕНИЯ является многократность выполнения какого-то действия.

Приступаем к составлению инструкции. Глядя на тест, выясняем, что главным действием инструкции будет ЦЕПОЧКА из трех СЛЕДОВАНИЙ: сначала – «переход первой половины улицы»; далее – «действие на островке безопасности» и, наконец, – «переход второй половины улицы». Если бы кто-то обнаружил бы 3 или 10 пунктов в будущей инструкции – он бы ошибся, и его инструкция не соответствовала бы реальности, была бы непонятной без прохода большого числа маршрутов операций и, более того, была бы не тестируема! Отметим, что действия «переход первой половины улицы» и «переход второй половины» улицы схожи, но различны в деталях.

Здесь, и далее, не показаны состояния объектов, выявленные при изложении проделанной работы в полном объеме. С каждым все новым выявленным ОДИНОЧНЫМ СЛЕДОВАНИЕМ надо было бы работать с использованием модели «черного ящика».

Выполняем детализацию действия: переход первой половины улицы. Из рис. 2, а видно, что человек может осуществлять несколько попыток перехода. Используем структуру ПОВТОРЕНИЕ: пока человек не перешел первую половину улицы осуществлять действие «очередная попытка перехода».

Действие «очередная попытка перехода» выполняется двумя последовательными действиями: «ожидание благоприятных условий перехода» и «сам переход».

Ожидание благоприятных условий перехода: пока желтый свет светофора не сменится на зеленый и не будет угроз слева и справа, осуществлять выявление форс-мажорных обстоятельств.

Действие «сам переход» является повторением: пока не достигнута середина улицы или исходная сторона улицы, осуществлять движение.

Оставшиеся действия вы можете детализировать самостоятельно. На основе полученной семантической схемы действий инструкции можно составить текст, соответствующий нормам русского языка.

Обучение методике разработки описаний функционирования систем от общего к частному (составление инструкций вообще, описание бизнес-процессов) вполне доступно студентам второго курса специальностей как менеджмент, так и бухгалтерский учет, даже если они не изучали эту методику в курсе программирования.

Детально методика составления функциональных инструкций и методика обучения составлению функциональных описания изложена в учебнике [Камаев, В. А. Технологии программирования : учеб. / В. А. Камаев, В. В. Костерин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 454 с.].

УДК 658.8.001.18:681.3.06

Лу Лу, Л. Н. Бутенко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА ВЭНЬ ВАНА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: lulujnsd@mail.ru, butenko@vstu.ru

В статье представлены результаты использования системного подхода для прогнозирования текущей (экономической) ситуации на основе Теории Перемен. Каждая линия гексаграмм декомпозируется на составляющие и их интерпретация может осуществляться с помощью экспертной системы (ЭС) байесовского типа.

Ключевые слова: прогнозирование, гексаграмма, экспертная система, экономика.

Lu Lu, L. N. Butenko

USE OF SYSTEMS APPROACH IN FORECASTING THE DEVELOPMENT SITUATION ON THE BASIS CYCLE WEN-WAN

Volgograd State Technical University

The article presents the results of a systematic approach for predicting the current (economic) situation on the basis of a theory of change. Each line is decomposed into hexagrams contemplate and their interpretation by using ES Bayesian type.

Key words: anticipation, hexagram, expert system, the economy.

В настоящее время актуальным в прогнозировании является развитие сценарного подхода как самого сложного из известных [1]. В этом плане перспективно, по нашему мнению, использование «Книги Перемен», в частности, цикла Вэнь Вана [2]. Как показали современные исследования, «Книга Перемен» является инвариантной моделью саморазвития для любых предметных областей [3]. Ранее нами было показано [4], что на основе цикла Вэнь Вана возможно определение направлений стратегического развития для экономических систем. Общая схема прогнозирования на цикле Вэнь Вана может быть представлена следующим образом: 1) для построения сценария развития выбираются экономические показатели работы предприятия (по этим показателям определяется начальное состояние экономики предприятия); 2) для определения типа черты в гексаграмме, характеризующей начальное состояние, задается массив вопросов в экспертной системе (это позволяет сформировать всю гексаграмму); 3) далее по циклу Вэнь Вана опре-

деляются возможные варианты развития начальной ситуации; 4) каждая ситуация рассматривается с точки зрения интерпретации гексаграммы в «Книге Перемен» (это дает описание сценария развития ситуации); 5) далее возможен выбор нужной или доступной по ресурсам ситуации, в соответствии с которой можно принимать управляющие решения.

С точки зрения системного анализа, каждый показатель, характерный для той или иной черты гексаграммы, должен быть декомпозирован на составляющие, так как каждая система должна быть представлена как иерархическая [5]. Заметим также, что декомпозиция, в соответствии с «Книгой Перемен», должна учитывать соотношение «Земля – Человек – Небо». Следовательно, в вышеописанный алгоритм добавляется дополнительная стадия определения характера каждой черты в гексаграмме на основе сверстки субпоказателей.

Для определения этого, по каждой интегрирующей черте в гексаграмме, в ЭС должна задаваться группа вопросов по составляющим ее

субпоказателям. Всего возникает шесть групп задаваемых в ЭС вопросов.

Например, для определения экономического прогноза развития предприятия необходимо знать уровень по шести показателям: затраты, прибыль, конкурентоспособность, рыночная устойчивость, оценка риска, доходы (рис. 1) [6].

Декомпозиция каждого показателя на субпоказатели, в соответствии с системным подходом, показана на рис. 2.

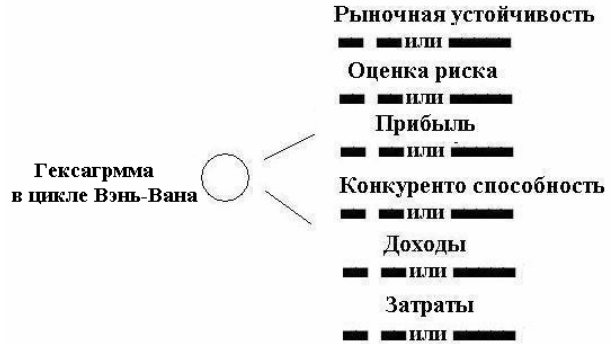


Рис. 1. Перевод экономических показателей на язык И Цзин

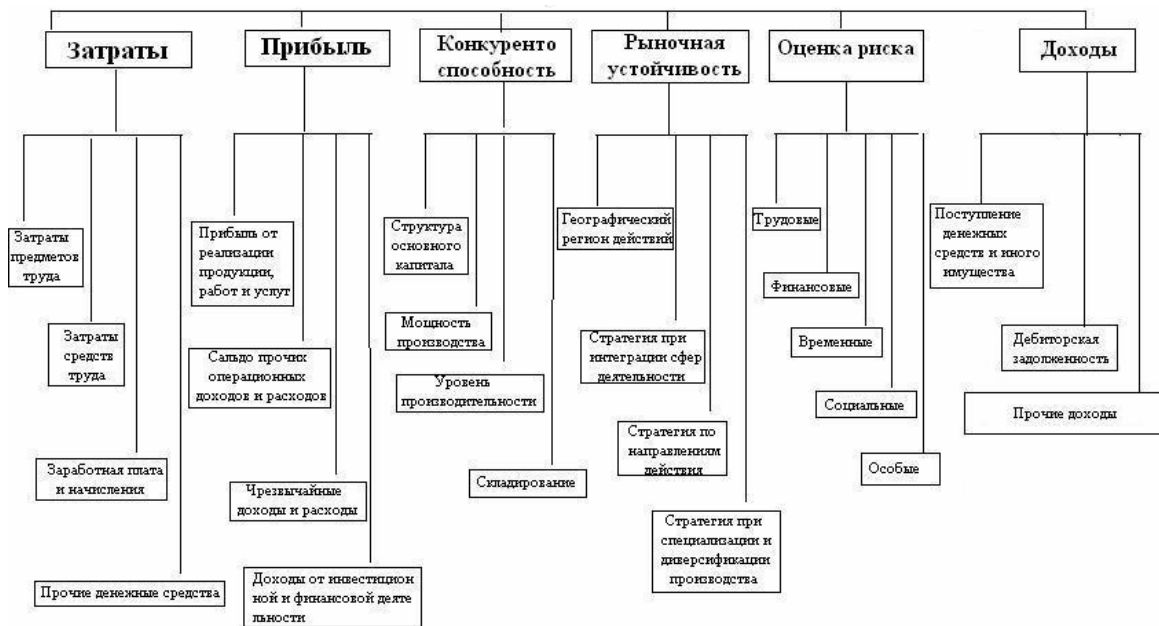


Рис. 2. Схема взаимосвязи показателей для стадии реализации процесса прогнозирования

Информационная база для формулирования вопросов к ЭС показана в табл. 1. Задавая вопросы, которые должны быть заранее введены в экспертную систему, мы сможем определить характер всех шести показателей, приведенных на рис. 1. ЭС в данном случае выступает в роли экономиста (эксперта), который задает менеджеру вопросы относительно результатов. Она запрашивает у пользователя оценку истинности

самого важного свидетельства, на основе ответа корректирует вероятности исходов и переходит к следующему свидетельству, выбрав снова самое актуальное.

Таким образом, достигается наискорейшее получение результата при минимальном количестве запросов. В табл. 1 показан характер информации, которую можно использовать для формирования базы знаний.

Таблица 1

Характер информации для определения типа черты в гексаграмме [6]

Стадии процесса определения гексаграммы	Субпоказатели	Характер информации
1. Определение уровня затрат	Затраты предметов труда. Затраты средств труда. Заработная плата и начисления. Прочие денежные средства	Распределение затрат на условно-постоянные и условно-переменные; зависимость изменения численности от объема производства; динамика средней заработной платы под влиянием инфляции; тенденции в изменении амортизационных отчислений; изменение переменных затрат; ожидаемый уровень прочих и общепроизводственных затрат

Стадии процесса определения гексаграммы	Субпоказатели	Характер информации
2. Определение уровня доходов	Поступление денежных средств и иного имущества. Дебиторская задолженность. Прочие доходы	Остатки продукции на начало периода; период оборачиваемости остатков; среднесуточный объем производства; ожидаемая величина остатков продукции на конец периода; ставки НДС, уровень сопоставимых и действующих цен
3. Определение уровня конкурентоспособности	Структура основного капитала. Мощность производства. Уровень производительности труда	Анализ рынка и выбор наибольшего конкурентоспособного товара – образца в качестве базы для сравнения и определения уровня конкурентоспособности; определение набора сравниваемых параметров двух товаров; расчета интегрального показателя конкурентоспособности товара
4. Определение уровня прибыли	Прибыль от реализации продукции, работ и услуг. Сальдо прочих операционных доходов и расходов. Чрезвычайные доходы и расходы. Доходы от инвестиционной и финансовой деятельности.	Остаток средств на начало периода; прогноз поступления и использования денежных средств; возможность использования краткосрочных и долгосрочных заемных средств; ожидаемый остаток средств на конец прогнозного периода
5. Определение уровня риска	Трудовые. Финансовые. Временные. Социальные. Особые	Чтобы управлять рисками, надо сначала знать о существующих рисках. Поскольку на деятельность любой организации непосредственно, либо потенциально влияют риски различной природы, необходима классификация рисков. Возможно, для различных целей понадобятся различные классификации, основанные на различных методологических принципах
6. Определение уровня рыночной устойчивости	Географический регион действий. Стратегия при интеграции сфер деятельности. Стратегия по направлениям действия. Стратегия при специализации и диверсификации производства	Точность определения рисков зависит от надежности и полноты информации о рыночных процессах и факторах, определяющих их уровень и развитие; степени устойчивости рынка и экономики в целом; адекватности прогнозной модели; технической вооруженности прогноза

В табл. 2 приведены вопросы, которые могут быть введены в базу знаний. Пользователь должен иметь возможность выбора значения показателя в полярной шкале, чтобы можно

было сформировать черту гексаграммы (сплошную и прерывистую), а в дальнейшем – саму гексаграмму, определяющую начальное состояние экономики предприятия.


Таблица 2



Вопросы для экспертной системы

Субпоказатели	Вопросы для экспертной системы
Затраты в организации	Каков объем затрат на предметы труда? Каков объем затрат средств труда? Каков налог, относимый на себестоимость? Какова себестоимость единицы продукции? Какова себестоимость основных видов продукции? Какова динамика средней заработной платы под влиянием инфляции? Какова тенденция в изменении амортизационных отчислений? Каково распределение затрат на условно-постоянные и условно-переменные? Какова заработная плата и начисления? Каков уровень прочих денежных средств?

Окончание табл. 2

Субпоказатели	Вопросы для экспертной системы
Доход организации	Каков объем покупок? Каков остаток продукции на начало периода? Каков период оборачиваемости остатков? Каков среднесуточный объем производства? Какова выручка от реализации продукции? Какова ставка НДС? Каково поступление денежных средств и иного имущества? Какова дебиторская задолженность? Каков уровень прочих доходов?
Конкурентоспособность организации	Каков объем потребности в выпускаемой продукции? Какова мощность производства? Какова уровень качества выпускаемой продукции? Какова уровень производительности труда? Каков срок транспортировки до потребителя? Каков интегральный показатель конкурентоспособности?
Прибыль организации	Каков объем затрат в производстве? Какова выручка от реализации продукции? Какова цена на продукцию на внутреннем рынке? Какова цена на продукцию на внешнем рынке?
Оценка риска	Какова сумма денежных инвестиций в производство? Какова техническая оснащенность предприятия? Какова чистая выручка от реализации продукции? Каков объем услуг на сторону? Каков объем производства за предшествующие периоды? Каков уровень временных рисков?
Рыночная устойчивость	Каков уровень издержек по изготовлению и реализации? Каковы суммарные затраты за период потребления товара? Каково состояние оборудования, сырья, материалов? Каково качество менеджмента? Какова эффективность маркетинговой деятельности? Каково обеспечение финансовой устойчивости?

Задав экспертной системе эти группы вопросов, мы должны получить шесть ответов для определения значения шести экономических показателей. Если получен положительный ответ «Да», то означает на языке И Цзин – «Ян», знак . Если получен отрицательный ответ «Нет», то это означает на языке

И Цзин – «Инь»; его знак  . Таким образом будет сформирована гексаграмма (рис. 3).

Таким образом мы определим на языке И Цзин начальную гексаграмму, характеризующую экономическое положение предприятия в настоящее время.

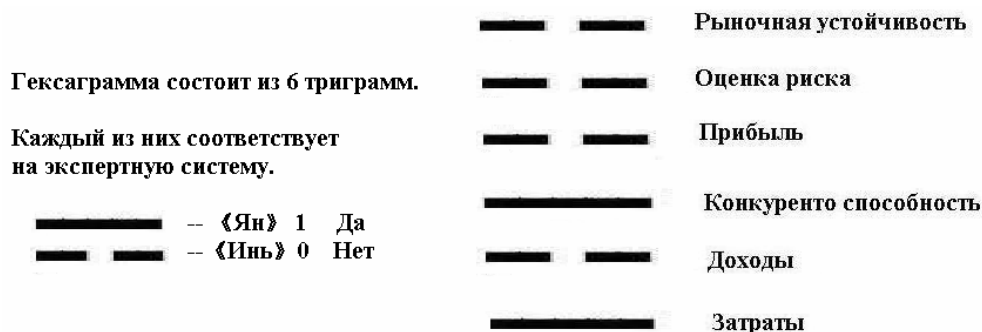


Рис. 3. Пример сформированной гексаграммы

Затем эта гексаграмма выбирается в цикле Вэнь Вана и строится дерево развития ситуа-

ции, которую эксперт может расшифровать с помощью описаний гексаграмм, входящих в

дерево, и по ним выполнить прогноз развития ситуации.

Кроме того, можно выбрать конечное состояние, которое допускает ресурсное обеспечение работы этого предприятия, и построить массив путей достижения этого состояния.

Таким образом, для детализации процесса прогнозирования на цикле Вэнь Вана нами, в соответствии с технологией системного подхода, предлагается декомпозиция базы интегральных показателей работы предприятия до входящих в них субпоказателей; разработаны методики определения их типа на языке И Цзин, построения возможных направлений развития ситуации. Это обеспечивает получение важной информации для принятия стратегических решений в процессе управления бизнес-процессами.

УДК 002.6:004.91

Ю. А. Орлова

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА ТЕКСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: yulia.orlova@gmail.com

Целью исследования является разработка алгоритмического обеспечения семантического анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения. Разработанные алгоритмы реализованы в виде системы автоматизации начального этапа проектирования программного обеспечения.

Ключевые слова: алгоритмическое обеспечение, анализ текста, модели программного обеспечения.

Y. A. Orlova

ALGORITHMIC SUPPORT TEXT ANALYSIS OF A TECHNICAL SPECIFICATION AND CONSTRUCTION OF SOFTWARE MODELS

Volgograd State Technical University

Purpose of this work is the development of algorithmic support semantic text analysis of a technical specification and construction of software models. The developed algorithms are implemented in the form of the initial stage of design automation software.

Key words: algorithmic support, text analysis, software models.

Целью исследования является повышение эффективности проектирования программного обеспечения за счет автоматизации семантического анализа текста технического задания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить основные задачи:

1. Разработать алгоритмическое обеспечение семантического анализа текста технического задания и автоматического построения моделей программного обеспечения.

2. Реализовать разработанные алгоритмы в

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидельников, Ю. В. Системный анализ технологии экспертного прогнозирования / Ю. В. Сидельников. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2007. – 348 с.
2. Чжан Мин. Теория перемен. Китайская книга перемен / Чжан Мин. – Пекин, 2006. – 133 с.
3. Степанов, А. М. И Цзин – древний канон перемен. Взгляд из третьего тысячелетия новой эры / А. М. Степанов, Б. Е. Агафонов. – М.: Препринт, 2005. – 122 с.
4. Прогнозирование развития экономической ситуации на основе цикла Вэнь Ванна / Лу Лу, Я. В. Кукин, Л. Н. Бутенко, Д. В. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 6). – С. 59–63.
5. Волкова, В. Н. Теория систем / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М.: Высшая школа, 2006. – С. 511.
6. Кукина, А. Н. Экономическая теория / А. Н. Кукина. – Москва, 2003. – 115 с.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-01-00135-а.

виде системы автоматизации начального этапа проектирования программного.

3. Провести исследование разработанной программной среды при проектировании программного обеспечения.

Общий алгоритм семантического анализа текста технического задания состоит из следующих блоков: предварительная обработка текста, синтаксический и семантический анализ и построение модели программного обеспечения.

Предварительная обработка текста осуществляется с использованием аппарата конечных автоматов, один из которых представлен на рис. 1.

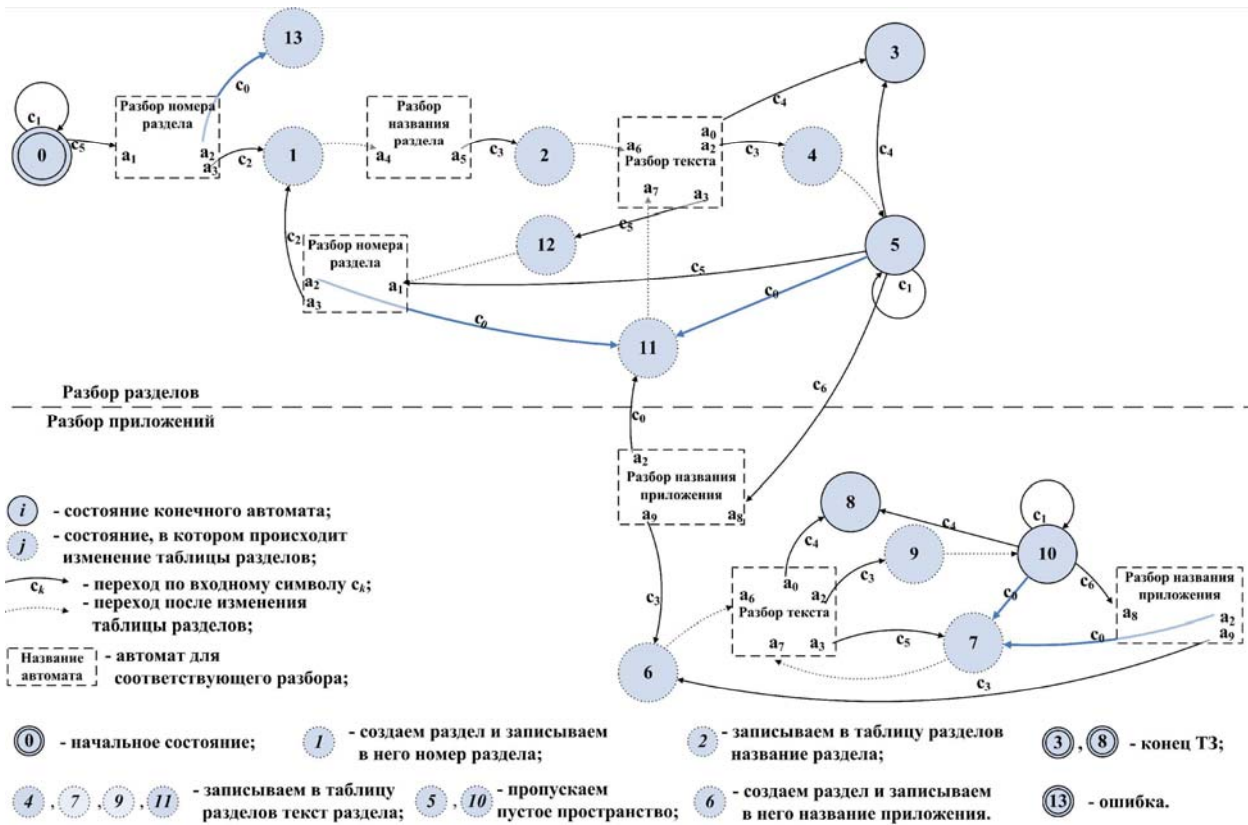


Рис. 1. Автомат разбора верхнего уровня текста технического задания

Входные символы конечного автомата: c_1 – пустое пространство; c_2 – пробел; c_3 – новая строка; c_4 – конец текста; c_5 – ‘1’..’9’; c_6 – ‘П’; c_0 – любой другой символ. Промежуточные состояния автомата: a_1 – начало разбора номера раздела; a_2 – последовательность символов – текст; a_3 – последовательность символов – нумерация; a_4 – начало разбора названия раздела; a_5 – последовательность символов – название раздела; a_6 – начало разбора текста раздела или приложения; a_7 – последовательность символов – продолжение текста раздела или приложения; a_8 – начало разбора названия приложения; a_9 – последовательность символов – название приложения; a_0 – конец ТЗ.

В процессе работы конечного автомата символы, поступающие на его вход, накапливаются в буфере. В определенных состояниях конечного автомата осуществляется запись текущего содержимого буфера в одну из таблиц, после чего буфер опустошается. Работа автомата продолжается до достижения конечного состояния.

На выходе алгоритма предварительной обработки текста формируется набор таблиц: разделов, предложений и лексем. После этого полученные таблицы поступают на вход алгоритма семантического анализа (см. рис. 2).

Семантический анализ текста производится на основе разработанной нечеткой атрибутивной грамматики над фреймовой структурой текста ТЗ:

1. Каждая лингвистическая переменная технического задания подвергается разбору, в результате чего получается лингвистическое дерево, конечными вершинами которого являются нечеткие переменные.

2. Нечетким переменным на конечных вершинах дерева назначается их смысл и затем с помощью системы правил P и соответствующих функций принадлежности $f_{k,i}$ определяется смысл лингвистической переменной, соответствующей левой части правила.

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.

Для некоторой лингвистической переменной $v_{k,i}$ значение функции принадлежности:

$$\mu_{k,i} = f_{k,i}(\mu_{k+1,1}, \mu_{k+1,2}, \dots, \mu_{k+1,n}),$$

где конкретное значение $\mu_{k,i}$ – степень принадлежности лингвистической переменной $v_{k,i}$. Первоначально будем говорить, что все лингвистические переменные нижнего уровня вно-

сят одинаковый вклад в значение функции принадлежности, поэтому можно говорить, что функция принадлежности лингвистической переменной $\beta_{k,i}$:

$$f_{k,i}(\{\mu_{k+1,j}\}) = q_{k+1,i} * \sum_{j=1}^n \mu_{k+1,j},$$

где $\mu_{k+1,j}$ – степень принадлежности лингвистической переменной $\beta_{k+1,j}$; $q_{k+1,i} = 1/n$ – вклад степеней принадлежности в значение функции. На нижнем уровне функции принадлежности определены.

Общий алгоритм семантического анализа



Алгоритм построения дерева лингвистических переменных $\beta_{k,i}$

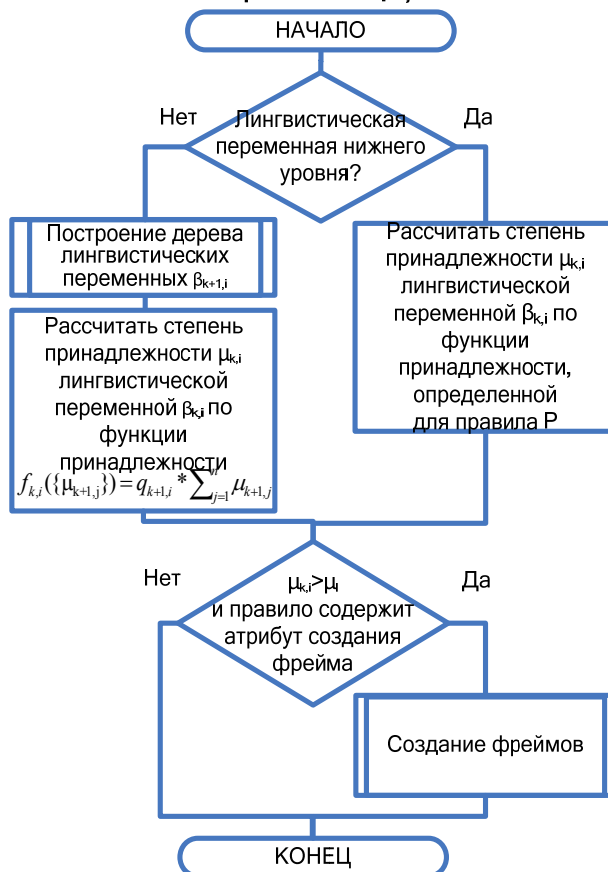


Рис. 2. Алгоритм семантического анализа текста технического задания

Вычисленная $\mu_{k,i}$ сравнивается с μ_i , являющейся предельным значением степени принадлежности. Если $\mu_{k,i} > \mu_i$, и в правилах указаны синтаксические или семантические атрибуты, то создаются фреймы и слоты, в которые помещается текст из лингвистической переменной.

3. После этого дерево урезают так, чтобы вычисленные лингвистические переменные оказались конечными вершинами оставшегося поддерева.

Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет вычислен смысл лингвистической переменной, соответствующей корню исходного дерева. Основное назначение описанной процедуры состоит в том, чтобы связать смысл лингвистической переменной со смыслом со-

ставляющих ее нечетких переменных посредством грамматики.

В ходе разбора синтаксический и морфологический анализ производится только в том случае, если имеется необходимость (что значительно сокращает время выполнения семантического анализа). Если в правиле грамматики встретился терминал, имеющий синтаксический атрибут, то запускается механизм синтаксического анализа для текущего разбираемого предложения.

После создания дерева лингвистических переменных начинается построение фреймового описания технического задания. Для этого используется информация о фреймах и названиях слотов, которая содержится в атрибутах символов грамматики.

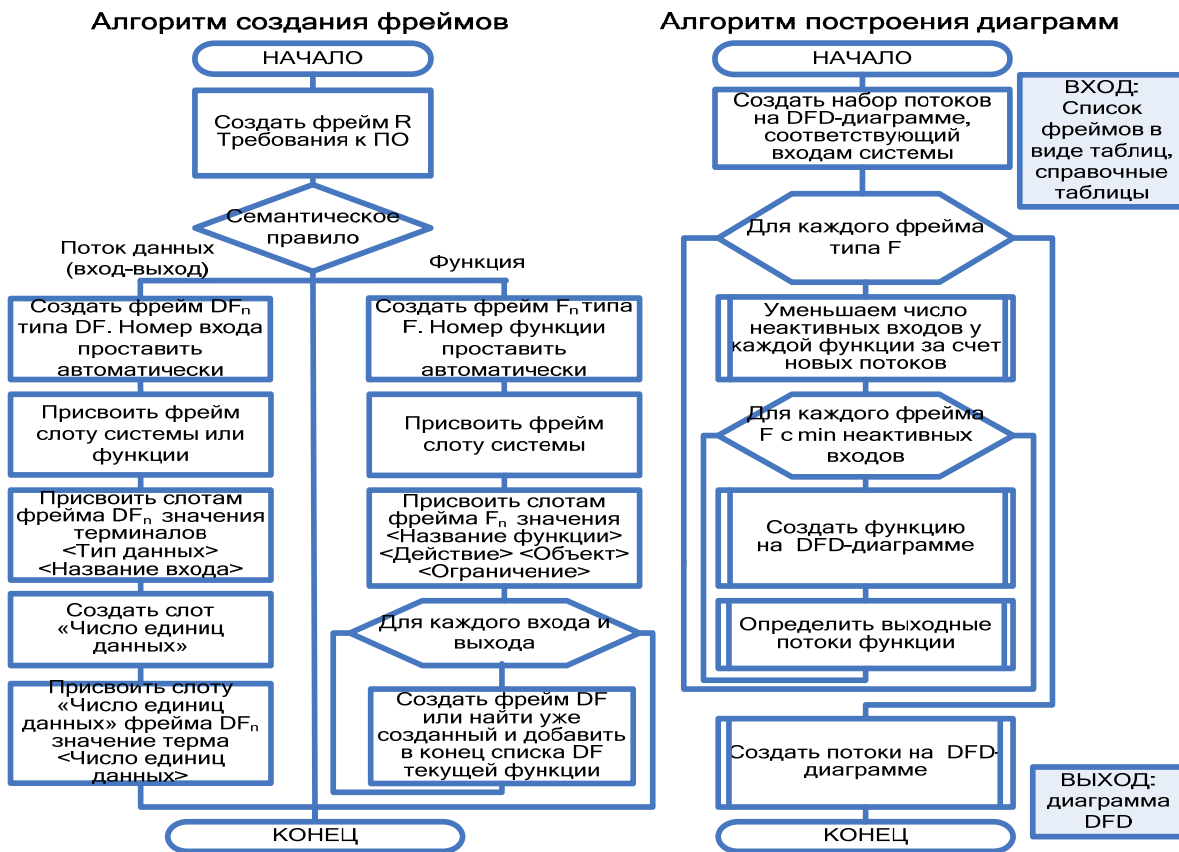


Рис. 3. Алгоритмы создания фреймов и построения ДПД

Полученная фреймовая структура содержит значимую информацию о системе: сведения о входах и выходах системы, функциях и ограничениях. Для каждой функции также выделяются входы и выходы. Это позволяет на основе фреймовой структуры получить диаграммы потоков данных системы, которая описана в техническом задании. Алгоритмы создания фреймов и построения диаграмм потоков данных представлены на рис. 3.

На основе представленных выше алгоритмов разработана автоматизированная система семантического анализа текста технического

задания «Семантика ТЗ», которая состоит из следующих подсистем: «Хранение документов», «Интерфейс», «Предварительная обработка текста», «Синтаксический анализ», «Семантический анализ», «Построение диаграмм потоков данных».

Проект разработан на платформе Microsoft.NET Framework (язык разработки C#). Таблицы разделов хранятся в формате XML, а их визуальное представление возможно с использованием XSL-преобразования. Полученное при семантическом анализе фреймовое описание также сохраняется в формате XML. Построение

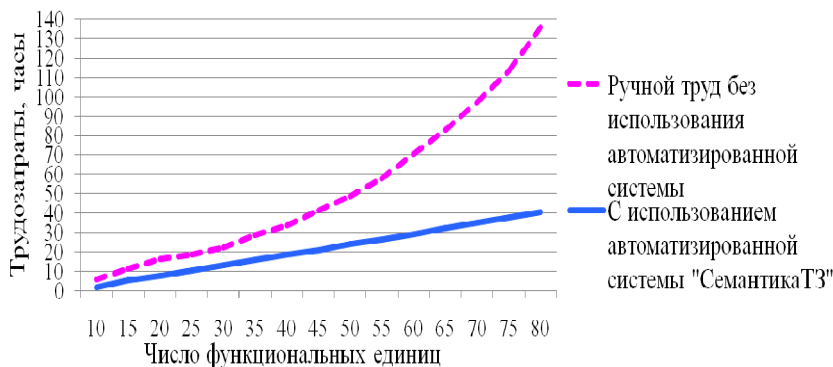


Рис. 4. Время, затрачиваемое на анализ ТЗ различного объема

диаграмм потоков данных осуществляется с помощью взаимодействия системы с программой MS Visio.

Показатели эффективности применения автоматизированной системы «СемантикаТЗ» для семантического анализа текста технического задания представлены на рис. 4. Эффективность применения программы тем выше, чем больше число функциональных единиц, представленных в техническом задании. Время анализа ТЗ с использованием системы сокращается на 40–70 %.

Таким образом, разработанная автоматизированная система позволяет повысить эффективность проектирования программного обеспечения на ранних этапах за счет сокращения времени работы над техническим заданием и увеличения качества получаемого результата.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработанные формализмы анализа текста технических заданий позволяют упростить процесс проектирования программного обеспечения на начальных этапах и могут использоваться для анализа других технических текстов, на других языках, в различных предметных областях.

2. В результате разработки и внедрения предлагаемой методики повышается эффективность проектирования за счет автоматизации рутинного труда человека по извлечению полезной информации из стандартного документа и отображению ее в виде модели программного обеспечения.

3. В результате использования разработанной системы повышается качество проектирования программного обеспечения за счет автоматизации рутинного труда человека по извле-

чению полезной информации из стандартного документа и отображению ее в виде модели программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Заболеева-Зотова, А. В.* Computer Support of Syntactic Text Analysis of a Technical Specification on Designing Software / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Intelligent Processing : suppl. to Int. Journal "Information Technologies and Knowledge" Vol. 3. – 2009. – Int. Book Series «Information Science & Computing», № 9. – С. 29–35. – Англ.
2. *Заболеева-Зотова, А. В.* Атрибутная грамматика формального документа «Техническое задание» / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 39–43.
3. *Заболеева-Зотова, А. В.* Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 49–52.
4. *Заболеева-Зотова, А. В.* Computer-aided system of the semantic text analysis of a technical specification / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Открытое образование : прил. к журн. [по матер. Междунар. конф., Ялта – Гурзуф, 20–30 мая 2008 г.]. – 2008. – Б/н. – С. 103–104. – Англ.
5. *Камаев, В. А.* Автоматизированная система прогнозирования транспортно эксплуатационного состояния дорог / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. В. Скоробогатченко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2004. – № 4. – С. 2–6.
6. *Розалиев, В. Л.* Предпосылки, возможности, перспективы создания автоматизированной системы распознавания эмоциональности речи / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – Сер. (Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – № 2. – С. 58–61.

УДК 612.087.1

А. А. Островский, Д. Н. Жариков, В. С. Лукьянов, Д. С. Попов ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет
E-mail: ostrovskiy_anton@mail.ru, dimitrol@mail.ru, ecmsys@vstu.ru

Рассматриваются динамические методы биометрической аутентификации, используемые для обеспечения защиты информации, а также безопасной передачи данных в сетях ЭВМ. Описанный алгоритм динамической биометрии позволяет проектировать программные и аппаратные преобразователи рукописного пароля пользователя в код его личного криптографического ключа.

Ключевые слова: биометрия, биометрическая аутентификация, защита информации, параллельное программирование, технология NVIDIA CUDA.

A. A. Ostrovsky, D. N. Zharikov, V. S. Luckianov, D.S. Popov DYNAMIC METHODS OF BIOMETRIC AUTHENTICATION Volgograd State Technical University

The dynamic methods of biometric identification used for information privacy and safe data transmission in computer networks. Described algorithm of dynamic biometry allows to project program and hardware biometry-to-code converters working with user's hand-written password.

Key words: biometry, biometric authentication, information privacy, parallel computing, NVIDIA CUDA technology.

Кафедра «Электронно-вычислительные машины и системы» Волгоградского государственного технического университета осуществляет разработку биометрических решений в области обеспечения защиты информации и безопасной передачи данных в компьютерных сетях.

Биометрия – это относительно новые методы и технологии идентификации и подтверждения личности человека, основанные на физических или поведенческих характеристиках. Примерами физиологических характеристик являются отпечатки пальцев, форма руки, характеристика лица, радужная оболочка глаза. К поведенческим характеристикам относятся особенности или характерные черты, либо приобретенные, либо появившиеся со временем (т. е. идентификация голоса, динамика подписи и нажатия на клавиши).

Системы биометрической аутентификации, использующие динамические методы биометрии, представляют высокий интерес в настоящее время. Это объясняется тем, что, во-первых, такие системы используют стандартное компьютерное оборудование и не требуют покупки дорогостоящих биометрических сканеров [5]. Во-вторых, пользователю не нужно запоминать длинный пароль, он просто знает свою подпись и по ней идентифицируется. И, наконец, в-третьих, не нужно применять какие-либо дополнительные мероприятия по безопасному хранению файла весов синапсов обученной НС [6, 7], так как, даже обладая этим файлом, злоумышленник не сможет аутентифицироваться в программе, либо попытаться восстановить подпись человека. Именно поэтому проведение исследований и разработок в данной области коммерчески выгодно и весьма перспективно.

На сегодняшний день разработано два программных продукта:

- система биометрической аутентификации личности, основанная на статических методах распознавания подписи (NSP). Данная программа анализирует отсканированный или введенный при помощи графического планшета образец подписи человека и, на основе заранее обученной нейронной сети, определяет категорию данной подписи (как «своя» или «чужая»);
- модуль распознавания голоса для системы биометрической аутентификации (NVP). Данная программа обеспечивает запись голосового пароля и его распознавание на основе механизма нечеткой математики (fuzzy logic). Вы-

вод (о разрешении или запрете доступа к информации) принимается на основе решения СЛАУ.

В данный момент мы занимаемся наиболее интересной и коммерчески-выгодной разработкой – созданием системы динамической биометрической аутентификации (DNSP) в соответствии с ГОСТ Р 52633–2006 «Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации». Данная программа, как и программа NSP, анализирует подпись человека. Однако она это делает не в статике, а в динамике. Таким образом, человек идентифицируется не по самой подписи, а по написанию ее. Здесь принимается во внимание множество параметров, которые невозможно учесть при статической биометрии, а именно – колебания пера во времени по осям абсциссы и ординаты, скорость расписывания, уровень нажатия пера и т. д. Эта разработка является весьма актуальной и перспективной, так как системы динамической аутентификации, преобразующие рукописный пароль (подпись) в 256-битный личный ключ пользователя практически не поддаются взлому и атакам перехвата.

Все указанные выше разработки могут использовать технологию NVIDIA CUDA [1, 2] для параллельных вычислений (что также является перспективным направлением).

В настоящее время по данному направлению (динамические методы биометрии) имеется ряд научных статей, гипотез и догадок. Однако нет еще ни одного коммерциализованного проекта, который удовлетворяет требуемому уровню надежности.

Единственная российская фирма, максимально приблизившаяся к разработке биометрической аутентификации по динамическим характеристикам подписи, – это ЗАО «Компания Безопасность». Они предлагают верную схему работы биометрических систем динамической аутентификации, однако не предлагают использование параллельного подхода. К тому же, они учитывают только одну биометрическую характеристику (подпись).

Многочисленные некоммерческие исследования ПНИЭИ направлены на динамические методы биометрии и имеют весьма обнадеживающие результаты. Но они не учитывают такую важную характеристику, как уровень давления пера (уровень нажатия стилуса на планшет). К тому же, вследствие отказа от парал-

лельного подхода, разработчики из ПНИЭИ учитывают только 416 параметров рукописной подписи (а это увеличивает вероятность ошибки второго рода (случайная авторизация «чужого»)).

Общая последовательность операций при реализации динамической биометрии одинакова:

- ввод биометрических данных;
- предварительная обработка;
- ДПФ (дискретное преобразование Фурье над функциями колебания пера);
- подача коэффициентов Фурье на вход НС (нейронной сети);
- принятие решения на основе значения 256-битного ключа, извлекаемого с выходных нейронов НС.

Однако сама разница в методах заключается в конкретной реализации тех или иных шагов. Например, при вводе биометрических данных, мы, в отличие от описанных выше аналогов, учитываем такой фактор, как уровень нажатия пера. Разработчики из ПНИЭИ и ЗАО «Компания Безопасность» при предварительной обработке данных отсеивают «плохие» и «сильно размытые» примеры. Мы же на данном этапе пытаемся учитывать и нормировать такие параметры, как масштаб подписи и степень ее наклона. Этот шаг – предварительная обработка – является своеобразным «ноу-хау» разработчика, и каждый пытается предложить что-то новое (однако, по понятным причинам, о таких вещах не пишут открыто). Также отличительной особенностью является выбранная топология НС. На данный момент еще не установлена оптимальная топология, поэтому успех того или иного решения оценивается только в результате многочисленных испытаний (а, именно, в статистической вероятности ошибок первого и второго рода). Остальные шаги являются довольно стереотипными, и мы не будем их описывать.

Процесс обучения в нашей программе можно условно разбить на несколько этапов:

1. Ввод имени пользователя. Под этим именем будет сохранен профиль. Именно он будет непосредственным отображением реальной личности во множестве ее поведенческих биометрических характеристик.

2. Ввод личного ключа пользователя. Этот ключ является паролем, который будет извлекаться из подписи человека. Он должен состоять не менее чем из 32 символов (также он может содержать специальные символы Unicode).

Далее – каждому символу введенного (или случайным образом сгенерированного) пароля будет поставлен в соответствие его двоичный код (по 8 бит на обычный символ; по 16 или 32 бита на некоторые спецсимволы). Таким образом, мы получили 256-битный ключ, который необходимо вырабатывать нейронной сети на выходе, в случае подачи на вход биометрических данных регистрируемой персоны.

3. Последовательный ввод серии рукописных паролей. При вводе пароля постоянно записываются следующие данные:

- текущее время (мс);
- координата пера по оси абсциссы;
- координата пера по оси ординаты;
- уровень нажатия пера;
- тип текущей точки (точка начала кривой, точка середины кривой или точка отрыва пера).

4. XML-сериализация профиля в файл. Однако хранение исходных биометрических данных на носителе является небезопасным (вследствие чего эти файлы сразу же удаляются после обучения и заменяются на бинарные, содержащие коэффициенты Фурье, по которым невозможно восстановить исходную биометрическую информацию).

После сбора биометрических данных программа переходит в режим обучения, который состоит из следующих операций:

1. Выбор профилей, на которых будет проводиться обучение. Все алгоритмы данной программы и обучение нейронной сети, в частности, имеют по две реализации – ориентированные на процессор общего назначения и ориентированные на графический процессор NVIDIA (используемое устройство выбирается в опциях приложения).

2. Ранее, при вводе подписи, мы получили данные следующего вида:

Текущее время, мс	Координата X пера	Координата Y пера	Уровень нажатия пера
0,0681	473	166	0,011
31,944	474	167	0,017
32,482	474	167	0,040
.....			
2711,9	689	202	0,408

Эти данные не являются периодическими и над ними нельзя выполнять дискретные интегральные преобразования. Поэтому необходимо осуществить некоторые операции по их предварительной обработке, а, именно, – используя нор-

мированную сетку и метод интерполяции бикубическими сплайнами, получить данные с единым периодом дискретизации (например, 4мс):

Текущее время, мс	Координата X пера	Координата Y пера	Уровень нажатия пера
0	420	169	0,011
4	421	142	0,018
8	551	157	0,052
.....			
2712	689	202	0,408

Таким образом, у нас есть набор данных, измеренных с одинаковым периодом.

3. Выполнение дискретного преобразования Фурье с частотой преобразования 250 Hz (период 4мс). Таким образом, мы получим коэффи-

циенты Фурье, представляющие введенную подпись (для каждой подписи – свой набор).

4. Последовательная подача коэффициентов Фурье на вход НС и обучение НС по алгоритму обратного распространения ошибки [3].

5. Удаление исходных данных профиля (xml-файла).

6. Запись весов синапсов нейронной сети в бинарный файл.

При распознавании подписи производится практически такая же цепочка действий [4].

Основная и единственная задача нейронной сети в данной программе – это преобразование подписи человека в 256-битный код его личного ключа [5]. Полученный ключ может использоваться далее в какой-либо программе, в которой необходимо обеспечение строгой аутентификации личности.



Внешний вид программы динамической биометрии подписи (данный рисунок отображает актуальность учета степени нажатия пера – чем больше давление, тем толще линия)

Говоря более простым языком, на входе у данной системы – подпись человека. При распознавании, программа ее оцифровывает, раскладывает в ряды Фурье, подает полученные коэффициенты на вход нейронной сети. На выходе мы имеем 256-битный ключ пользователя. Это пароль, который будет передан программе, использующей аутентификацию пользователя.

Описанная система биометрической аутентификации в настоящий момент времени находится на стадии разработки. Поэтому мы не можем предоставить эмпирические данные по данному проекту. Однако математические рассчитанные параметры разрабатываемой системы весьма перспективны, а некоторые подходы и алгоритмы, использованные нами, – инновационны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боресков, А. В. Основы CUDA [Электронный ресурс] / А. В. Боресков. – 2009. – Режим доступа : <http://steps3d.narod.ru/tutorials/cuda-tutorial.html>
2. Жариков, Д. Н. Применение технологии неграфических вычислений на видеокартах NVIDIA CUDA при создании биометрических систем идентификации личности по голосу, рукописному почерку и геометрии лица / Д. Н. Жариков, В. С. Лукьянов, А. А. Островский // Информационные технологии моделирования и управления. – 2009. – Т. 57, вып. 5. – С. 698–705.
3. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей : моногр. / Р. Каллан. – Вильямс, 2001. – 145 с.
4. Нейросетевые преобразователи биометрических образов человека в код его личного криптографического

ключа : моногр. / А. Ю. Малыгин [и др.] ; под ред А. Ю. Малыгина. – М. : Радиотехника, 2008. – 88 с.

5. Островский, А. А. Биометрическая аутентификация / А. А. Островский, Д. Н. Жариков // Материалы XIV Региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области. – 2009. – С. 43.
6. Скворцов, М. Г. Нейросетевая программно-аппаратная реализация диагностики освещенности объекта / М. Г. Скворцов, А. А. Островский // Информационные технологии в образовании, технике и медицине : мат. Междунар. конф. – 2009. – С. 134.
7. Скворцов, М. Г. Определение структурной сложности нейросетевых измерительных преобразователей по фрактальной размерности объекта / М. Г. Скворцов, А. А. Островский // Информационные технологии в образовании, технике и медицине. – 2009. – С. 135.

УДК 004.81:159.942.52

В. Л. Розалиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ РЕЧЕВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: rozaliev_v@mail.ru

В статье описано решение задачи повышения эффективности обработки информации и принятия решений при человеко-компьютерном взаимодействии за счет автоматизации определения эмоциональных реакций по речевому потоку. Описана также модель эмоционального тона, основанная на суперпозиции трех типов моделей.

Ключевые слова: распознавание эмоциональных реакций, суперпозиция моделей, речь человека.

V. L. Rosaliev

MODELING EMOTIONAL REACTIONS TO THE USER SPEECH INTERACTION WITH AUTOMATED SYSTEM

Volgograd State Technical University

This article describes a proposal for improving the efficiency of information processing and decision making in human-computer interaction by automating the definition of emotional reactions to the speech flow. The model of emotional tone, based on the superposition of three types of models is described.

Key words: recognition of emotional reactions, the superposition model, man speech.

В последние годы пристальное внимание уделяется вопросам обработки информации и принятия решений при человеко-компьютерном взаимодействии. Эффективность данного процесса во многом зависит от качества распознавания информации, поступающей от пользователя автоматизированной системы и целенаправленности воздействия человека на объекты исследования. Достижение цели диалогового взаимодействия ЭВМ и пользователя возможно при учете большинства аспектов, характеризующих речевые потоки, возникающие в процессе общения.

Одним из направлений повышения качества обработки информации является определение

эмоциональных реакций человека. Компании Nokia, Siemens, Philips, понимая особую важность передачи эмоциональных реакций, включили такую возможность в опытные образцы своих решений. На современном этапе развития информационных технологий разработка методов автоматического определения эмоциональных реакций человека по голосу является актуальной задачей, позволяющей решить ряд экономических, социальных, бытовых проблем и играющей важную роль в вопросах безопасности.

В рамках работы проанализирована возможность существования аналогии между эмоциональным реагированием и иммунным ответом организма [1]. Для этого рассмотрены основные положения теории иммунных систем. Определены главные компоненты и их взаимо-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-01-00165-а.

действие. Выделены преимущества использования иммунных систем для описания эмоциональных реакций. [1] Выполнен сравнительный анализ моделей и алгоритмов, основанных на принципах функционирования иммунных систем: модель иммунной сети, модель мультиагентной сети, алгоритм отрицательного отбора, алгоритм клональной селекции, модель центра зарождения, модель теории опасностей и др. Среди множества моделей иммунных систем выделена модель Марчука, представляющая собой систему дифференциальных уравнений [2]. Модель отражает процесс простейшего им-

мунного ответа. Если эмоциональную реакцию считать оценкой внешнего воздействия (реакцией на внешний раздражитель), то наиболее адекватно она будет представлена моделью иммунной системы. Безусловно, самой эффективной моделью адаптации к изменению внешних условий и распознаванию раздражителей, прежде никогда не предъявляемых, является иммунная система человека.

Эмоциональный тон служит реакцией на какое-либо ощущение, а ощущение возникает при всяком событии. Таким образом, эмоциональный тон – это следствие всякого события.

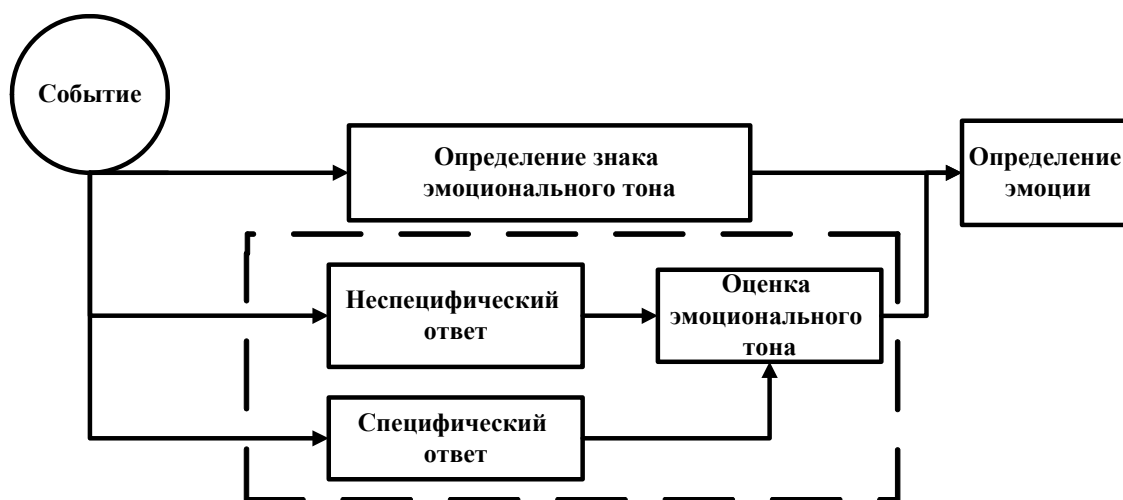


Схема определения эмоционального тона и эмоций

Процесс идентификации эмоциональной реакции, переживаемой человеком, осуществляется в соответствии с методикой, приведенной на рисунке: на первом этапе – определение знака эмоционального тона; на втором – построение модели эмоционального тона; на третьем – построение модели эмоций, на основе аппарата алгебры эмоций.

Для отображения модели эмоционального тона эмоциональная реакция представляется в виде иммунного ответа организма. Иммунный ответ разделяется на неспецифический и специфический (т. е., другими словами, на врожденный и приобретенный в результате обучения). Неспецифический ответ представляется в виде иммунного ответа организма на внешнее событие, а в специфическом ответе для получения значения эмоционального тона применяется аппарат нечетких продукций. Знак эмоционального тона устанавливается по предлагаемой методике определения знака эмоционального тона.

Методика определения знака эмоционального тона состоит из следующих этапов:

первый этап – выделение и расчет акустических параметров, определение по экспериментально полученной функциональной зависимости между числовыми параметрами сигнала и переживаемым эмоциональным тоном значения эмоционального тона;

второй этап – выделение слов, характеризующих эмоциональные реакции. Этот этап необходим, если полученные на первом уровне значения выходят за границы интервала $[-3, 3]$. Если такие слова отсутствуют, то переходим к третьему этапу;

третий этап – определение эмоционального тона. Здесь осуществляется выделение характеристик фонем четырех гласных звуков и лингвистических переменных, заполнение базы нечетких правил, определение эмоционального тона посредством нечеткого вывода.

Среди множества акустических параметров были выделены параметры, инвариантные к

действию повышенного уровня сигнала, описывающие статистические характеристики амплитудно-частотного речевого потока и основного тона, особенности спектральной структуры. В качестве интегральных признаков речевого потока (т. е. при произвольном контексте речи) используются статистические оценки распределения параметров текущего спектра речи (спектральные признаки) и частоты основного тона, характеризующие этот поток в целом за определенный промежуток времени.

В качестве интегральных спектральных признаков выбраны следующие группы индивидуальных признаков: среднее значение спектра; нормированные значения спектра; нормированное время пребывания сигнала в полосах спектра; признаки медианных значений спектра; относительная мощность спектра речи в полосах; вариации огибающих спектра; нормированные значения вариаций; коэффициенты кросскорреляции.

В результате исследования различных подходов к построению моделей (классический логический подход, нечеткая логика, нейронные сети, имитационное моделирование) и анализа возможности их применения для построения модели эмоционального тона, был сделан вывод, что наиболее подходящим аппаратом для описания модели эмоционального тона является аппарат иммунных систем [3]. При этом математическая модель строится на основе соотношения баланса для каждого из компонентов, участвующих в возникновении и протекании эмоционального тона. Ввиду такой концепции, частные особенности не являются существенными для анализа динамики развития эмоционального тона. На первый план выступают основные закономерности протекания процесса. Ограничимся рассмотрением трех компонент: объекта, вызывающего эмоциональное реагирование (стимула); знаний об объекте, вызывающем эмоциональное реагирование (описание того, как нужно противодействовать стимулу), и способностей к обучению (позволяющих получать знания о стимуле).

Эмоциональное реагирование является механизмом поддержания некоторого состояния (нормального для данного человека). Это отражено в разработанной математической модели.

Переменными модели являются следующие величины:

– количество информации о появлении объектов, вызывающих эмоциональное реагирование $V(t)$;

– количество информации об объектах, вызывающих эмоциональное реагирование (защита, нейтрализующая действие информации о появлении объектов) $F(t)$;

– общий размер доступной индивиду информации, которую он может воспринять $C(t)$. Сюда входит вся информация об объекте, вызывающем эмоциональное реагирование. Современная отражает способности к обучению;

– наступление эмоционального реагирования (относительная характеристика) $m(t)$.

Модель эмоций представлена в виде системы дифференциальных уравнений. Первое уравнение описывает изменение количества информации о появлении объекта, вызывающего эмоциональную реакцию:

$$dV = \beta V dt - \gamma F V dt. \quad (1)$$

Второе уравнение описывает рост информации об объекте. Соотношение, описывающее прирост информации (возмущения) над нормальным уровнем C^* (постоянным уровнем знаний человека), имеет вид:

$$dC = \alpha F(t - \tau) V(t - \tau) dt - \mu_c (C - C^*) dt. \quad (2)$$

Третье уравнение показывает баланс количества информации о появлении объекта и информации об объекте. Будем исходить из соотношения

$$dF = \rho C dt - \eta \gamma F V dt - \mu_f F dt. \quad (3)$$

Четвертое уравнение показывает относительную характеристику переживания человеком эмоциональной реакции. Пусть M – характеристика нормального состояния, а M' – соответствующая характеристика нормального состояния человека, на которого уже начал действовать стимул. Введем в рассмотрение величину m по формуле

$$m = 1 - M'/M, \quad m \in [0, 1],$$

тогда
$$\frac{dm}{dt} = \sigma V - \mu_m m. \quad (4)$$

Таким образом, разделив на dt (1), (2), (3), получили систему дифференциальных уравнений, описывающих протекание эмоционального тона:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= (\beta - \gamma F) V, \\ \frac{dC}{dt} &= \xi(m) \alpha V(t - \tau) F(t - \tau) - \mu_c (C - C^*), \\ \frac{dF}{dt} &= \rho C - (\mu_f + \eta \gamma V) F, \\ \frac{dm}{dt} &= \sigma V - \mu_m m. \end{aligned} \quad (5)$$

При формализации эмоциональных реакций будем опираться на введенный Г. А. Голицыным принцип максимума взаимной информации между условиями среды и реакциями системы. Согласно этому принципу, эмоциональные реакции рассматриваются как средства оптимального управления поведением системы (субъекта), направляющие ее к достижению максимума ее целевой функции (максимума взаимной информации между условиями среды и реакциями системы) [4].

$$e = \frac{dL_i}{dt}. \quad (6)$$

В соответствии с принципом максимума, оценка есть отношение:

$$c_{ij} = \frac{dx_i}{dx_j}. \quad (7)$$

Представим модель эмоционального тона в общем виде:

$$\frac{dx}{dt} = f(\bar{x}, \bar{\alpha}, \bar{x}^\infty), \bar{x}(0) = \bar{x}^0, \quad (8)$$

где \bar{x} – вектор переменных модели; $\bar{\alpha}$ – вектор коэффициентов; \bar{x}^∞ – вектор концентраций взаимодействующих элементов.

Так как эмоциональный тон есть оценка внешнего события, то относительная характеристика переживания человеком эмоциональной реакции будет определять значение эмоционального тона.

Однако данная модель будет срабатывать при одном виде объектов. Если же на человека воздействует несколько различных событий или действие объекта неопределенно, то необходимо использовать следующую модель эмоционального тона, представленную в виде специфического ответа:

$$ETS = \langle Ob, t, ETN, ETM, \Pi \rangle,$$

где Ob – это некоторый объект, вызывающий эмоциональное реагирование; t – время появления объекта; ETN – значение эмоционального тона, определенного по неспецифическому ответу; ETM – значение и знак эмоционального тона, полученные с использованием методики определения знака эмоционального тона; Π – согласованное множество отдельных нечетких продукционных правил.

Полученные в результате неспецифического и специфического ответов значения эмоционального тона, а также его знак, определенный с использованием методики определения эмо-

ционального тона по речи, позволяют построить модель эмоции. Для построения модели использованы принципы алгебры и дерева эмоций И. Б. Фоминых [4]. Тогда модель эмоции в случае предъявления последовательности событий будет иметь вид:

$$E = \prod_i e_i^\pm \quad (9)$$

и в случае параллельных событий:

$$E = \sum_i e_i^\pm, \quad (10)$$

где индекс « \pm » означает, что знак эмоционального тона может быть как положительным, так и отрицательным.

Внедрение результатов работы в деятельность компании сотовой связи показало, что разработанное программное обеспечение, построенное с использованием автоматизированного подхода проектирования программного обеспечения [5, 6], повышает эффективность обработки информации и принятия решений при человеко-компьютерном взаимодействии за счет автоматизации определения эмоциональных реакций по речевому потоку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розалиев, В. Л. Иммунологический подход к моделированию эмоций / В. Л. Розалиев // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2009) : сб. ст. 3-й Всерос. науч. конф., 21–24 сент. 2009 г. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – Т. 2. – С. 233–244.
2. Марчук, Г. И. Математические модели в иммунологии // Вычислительные методы и эксперименты. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1991. – 300 с.
3. Розалиев, В. Л. Моделирование эмоций человека с использованием гибридных систем / В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (AIS-IT 09), Дивногорское, 3–10 сент. 2009 г.: тр. конгресса / ФГОУ ВПО «Южный федерал. ун-т» [и др.]. – М., 2009. – Т. II. – С. 203–209.
4. Фоминых, И. Б. Интеграция логических и образных методов отражения информации в системах искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / И. Б. Фоминых. – [1998]. – Режим доступа : <http://www.raai.org/library/ainews/1998/3/fominyh.doc>.
5. Орлова, Ю. А. Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / Ю. А. Орлова // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации : сб. науч. тр. Всерос. конф. с элементами науч. школы для молодежи (г. Ульяновск, 1–5 дек. 2009 г.). В 4 т. Т. 3 / Ульяновский гос. техн. ун-т [и др.]. – Ульяновск, 2009. – С. 30–38.
6. Заболеева-Зотова, А. В. Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М., Машиностроение. – 2008. – Вып. 9. – С. 26–34.

УДК 65.012.122.

И. А. Сосновский, С. В. Коробенко, А. В. Меньшиков

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВКОЙ ОПЕРАТОРОВ НА УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВАХ

Ростовский военный институт ракетных войск

E-mail: Korobenkoff@yandex.ru, Alex_znam@rambler.ru

В статье раскрывается новый подход к управлению содержанием подготовки операторов сложных технических комплексов различного назначения, позволяющий повысить качество функционирования последних за счет снижения технологического риска, связанного с текущим уровнем подготовленности операторов.

Ключевые слова: сложный технический комплекс, технологический риск, подготовленность оператора, план управления тренировкой, управление параметрами потока информации.

I. V. Sosnovsky, S. V. Korobenko, A. V. Menshikov

ALGORITHMIC SUPPORT FOR AUTOMATED ADAPTIVE CONTROL SYSTEM AND MANAGEMENT TRAINING OPERATORS FOR EDUCATIONAL TRAINING EQUIPMENT

Rostov Military Institute of Rocket Troops

In this article a new approach to the control of operators, training of technical complexes for different purposes is revealed, making possible to improve the functioning quality of the above-mentioned complexes due to the decrease of technological risk, connect with the current level of operators training.

The key words: complex technical complex, technological risk, preparedness of the operator, plan of drill management, management parameter flow to information.

Введение

Эффективность эксплуатации сложных технических комплексов (СТК) напрямую связана с профессиональной компетенцией персонала (операторов, экипажей, команд), качеством его профессиональной подготовленности. Недостаточный уровень подготовленности персонала, управляющего СТК, является одной из причин наметившейся тенденции роста аварий и происшествий, обусловленных проявлением «человеческого фактора». В частности, мировая статистика свидетельствует, что только в авиации причиной более 80 % авиакатастроф являются люди (пилоты, допустившие ошибки при управлении летательным аппаратом как в нештатных, непредвиденных, аварийных ситуациях, так и в обычных условиях) [1, 2, 6].

Таким образом, эксплуатация СТК, как правило, сопряжена с определенной долей риска, и чем выше подготовленность персонала, тем ниже доля риска. Минимизировать риск при управлении СТК – значит постоянно поддерживать персонал в достаточной степени готовности к исполнению функциональных обязанностей.

В обобщенном виде показатель оценки технологического риска (ТР) в операторской деятельности вычисляется по формуле [1]

$$R = P \cdot \bar{Y}, \quad (1)$$

где P – частота неблагоприятных событий; \bar{Y} – величина среднего ушерба.

Однако такой подход к оценке риска обладает рядом недостатков:

– вычисление частоты ошибочных действий операторов СТК осуществляется усреднением соответствующего статистического материала, полученного за группу операторов, что не позволяет оценить значение риска в текущий момент времени, связанного с работой конкретного оператора;

– существующий показатель ТР не учитывает подготовленность оператора, вследствие чего отсутствует возможность прогноза величины ТР на конкретный момент времени. Кроме того, существующий показатель не позволяет определить влияние содержания тренировок оператора на величину ТР риска.

В связи с чем представляется актуальной задача разработки нового показателя ТР, учитывающего текущий уровень подготовленности оператора, а также синтеза алгоритмического обеспечения управления содержанием подготовки на основе выведенного показателя.

В общем случае деятельность операторов СТК может быть описана совокупностью задач функциональной деятельности (ЗФД), состоящей из N задач.

Процесс изменения подготовленности оператора к выполнению каждой ν -й $\nu = \overline{1, N}$ ЗФД необходимо рассматривать с учетом интервалов времени приобретения (восстановления) умений и навыков и их утраты (рис. 1) [3, 4, 5].

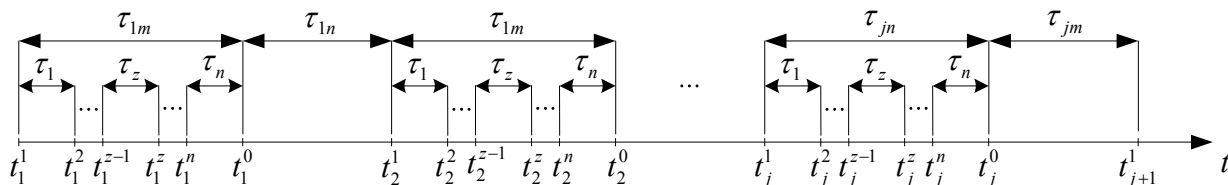


Рис. 1

Здесь $t_1^1, t_2^1, \dots, t_j^1, t_1^2, t_2^2, \dots, t_j^2, t_1^{z-1}, t_2^{z-1}, \dots, t_j^{z-1}, t_1^z, t_2^z, \dots, t_j^z, t_1^n, t_2^n, \dots, t_j^n$ – моменты времени начала проведения тренировки по 1, 2, ..., z-1, z, ..., n-й задаче, соответственно, на различных циклах проведения тренировки $j = \overline{1, n_j}$; n_j – количество рассматриваемых циклов подготовки; $t_1^0, t_2^0, \dots, t_j^0$ – моменты времени окончания тренировки; $\tau_{1m}, \tau_{2m}, \dots, \tau_{jm}$ и $\tau_{1n}, \dots, \tau_{jn}$ – продолжительности проведения тренировки и перерыва между ними, соответственно.

Содержание каждой тренировки однозначно определяется планом управления, составленным для ее проведения:

$$\Pi = \{u_v(t)\},$$

где $u_v(t)$ – управляющая функция, удовлетворяющая следующим ограничениям:

$$u_v(t) \in \Gamma = \{0, 1\} \quad \forall t \in \tau_{jm}, \quad (2)$$

$$u_v(t) = 0 \quad \forall t \notin \tau_{jm}, \quad (3)$$

$$\int_{t_j^1}^{t_j^0} u_v(t) dt \Big|_{u_v=1} = \tau_{jm}, \quad (4)$$

$$\sum_{v=1}^N u_v(t) = 1 \quad \forall t \in \tau_{jm}, \quad (5)$$

$$\sum_{v=1}^N \int_{t_j^1}^{t_j^0} u_v(t) dt = \tau_{jm}, \quad (6)$$

$$n \Big|_{u_v=1} < N. \quad (7)$$

Пример плана управления тренировкой для случая $N = 4$ и $n = 3$ представлен на рис. 2.

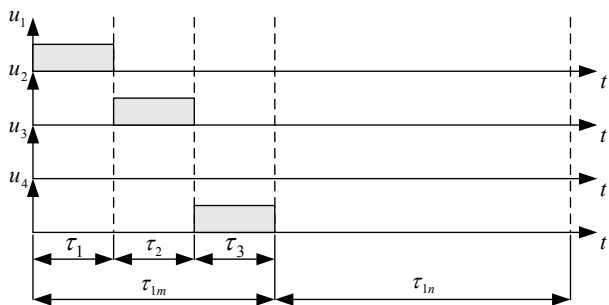


Рис. 2

Таким образом, если $u_v(t) = 1$, задача выносятся на тренировку; если $u_v(t) = 0$, задача на тренировку не выносятся (в рамках приведенного примера $u_1(t) = 1, u_2(t) = 1, u_3(t) = 0, u_4(t) = 1$).

Применительно к одной ЗФД предлагаемый показатель оценки ТР имеет вид:

$$R_v [t, J_v(t, u_v(t))] = C_v^* \cdot J^* - \frac{C_v^*}{t - t_0} \int_{t_0}^t J_v(t, u_v(t)) dt, \quad (8)$$

где J^* – максимальное значение оценки подготовленности оператора; $J_v(t, u_v(t))$ – текущее значение оценки подготовленности оператора к выполнению v-ой ЗФД как функция от времени и реализуемого в системе подготовки управления $u_v(t)$; t_0, t – начальный и текущий моменты времени; C_v^* – максимальная оценка предполагаемого ущерба, возможного в результате неправильного выполнения оператором v-й ЗФД.

В отличие от размерности показателя риска в обобщенном виде (у. е · год) размерность предложенного показателя выражается в условных единицах стоимости (у. е). Предлагаемый показатель позволяет получить прогнозируемое значение риска в произвольный момент времени. Более того, получаемое значение учитывает уровень подготовленности оператора и позволяет минимизировать риск за счет выбора оптимального плана управления тренировкой.

Общее значение ТР представляет собой сумму рисков по всем задачам:

$$R_{\Sigma}(J_v(t, u_v(t)), t) = \sum_{v=1}^N R_v [t, J_v(t, u_v(t))]. \quad (9)$$

1. Постановка задачи

С учетом ограничений (2)–(7) и (9), сформулируем задачу.

Полагая известными множество ЗФД, выполняемых оператором – $v = \overline{1, N}$; продолжительность перерыва в тренировках τ_{jm} и их продолжительность τ_{jm} , а также максимальные стоимостные значения ущербов C_v^* , возмож-

ных при неправильном выполнении ν -й ЗФД, необходимо синтезировать алгоритмическое обеспечение управления содержанием тренировки оператора с учетом накопления данных об уровне его подготовленности и индивидуальных параметрах, позволяющее минимизировать значение суммарного технологического риска R_Σ эксплуатации за рассматриваемый период T при ограничениях (2–7).

Таким образом, критерий качества имеет вид:

$$R_\Sigma(J_\nu(t, u_\nu(t)), t) \xrightarrow{\Pi} \min. \quad (10)$$

Рассмотрим более подробно $J_\nu(t, u_\nu(t))$.

В [4, 5] модели изменение оценки умений и навыков выполнения ν -й ЗФД b -м оператором при проведении тренировки представляется выражением:

$$J_\nu^b(t) = J^* - [J^* - J_\nu^b(t_v^*)] \exp(-\alpha_\nu^b \cdot t), \quad (11)$$

где $J_\nu^b(t_v^*)$ – значение оценки умений и навыков b -го оператора на момент времени t_v^* начала тренировки по выполнению ν -й ЗФД; α_ν^b – параметр модели приобретения навыков b -го оператора по ν -й ЗФД, представляющей собой случайную величину с равномерным законом распределения.

При отсутствии тренировки

$$J_\nu(t) = J_\nu^b(t_v^*) + [J^* - J_\nu^b(t_v^*)] \exp(-\beta_\nu^b \cdot t), \quad (12)$$

где $J_\nu^b(t_v^*)$ – значение оценки умений и навыков b -го оператора на момент времени t_v^* окончания последней тренировки по выполнению ν -й ЗФД; β_ν^b – параметр модели утраты навыков b -го оператора по ν -й ЗФД, представляющей собой случайную величину с равномерным законом распределения.

Однако такое описание изменения подготовленности оператора способно только отразить изменение оценки при проведении отдельной тренировки или при перерыве и не позволяет определить ее значение в произвольный момент времени. Кроме того, модели (11) и (12) учитывают лишь зависимость подготовленности оператора от времени тренировки и перерыва и не позволяют управлять содержанием тренировки с целью обеспечения минимума функционала (10).

Поэтому представляется актуальной разработка новой модели динамики подготовленности оператора к выполнению ν -й ЗФД, свободной от указанных недостатков. Наиболее кон-

структивные результаты, с точки зрения рассматриваемой задачи, позволяет получить дискретная модель следующего вида:

$$J_\nu^b(t_s, u_\nu(t_s)) = J^* - [J^* - J_\nu^b(t_s - t_v^*) \cdot \exp\{-\beta_\nu^b \cdot t_s \cdot (1 - u_\nu(t_{s-1}))\}] \cdot \exp\{-\alpha_\nu^b \cdot t_s \cdot u_\nu(t_{s-1})\}, \quad (13)$$

где t_s – дискретные значения текущего времени; $s = \overline{0, \mu}$,

где $\mu = \frac{t_s}{\Delta t} + 1$, $\Delta t = t_s - t_{s-1}$ – шаг дискретизации.

Ограничения (4, 6) с учетом введенной дискретизации примут вид:

$$\sum_{t_j^0}^{t_j^1} u_\nu(t_s) \cdot \Delta t \Big|_{u_\nu = 1} = \tau_{jm}, \quad (14)$$

$$\sum_{v=1}^N \sum_{t_j^0}^{t_j^1} u_\nu(t_s) \cdot \Delta t = \tau_{jm}. \quad (15)$$

Предложенный показатель оценки ТР и разработанная математическая модель динамики подготовленности оператора к выполнению ЗФД позволяют синтезировать алгоритм адаптивного управления содержанием тренировки, обеспечивающий минимальное значение ТР.

2. Алгоритмическое обеспечение адаптивной автоматизированной системы контроля и управления тренировкой операторов на учебно-тренировочных средствах

Алгоритм синтеза оптимального плана управления тренировкой основывается на методе полного перебора и в общем виде содержит следующую последовательность операций:

– экспериментально определяются параметры законов распределения величин индивидуальных параметров α_ν^b , β_ν^b ;

– для известных параметров проведения тренировки N , а также n производится генерация вариантов планов управления тренировкой, которые отличаются друг от друга Π_j^i , $i = \overline{1, q}$, где q – максимальное количество планов управления тренировкой;

– по выражению (13) производится расчет изменения подготовленности оператора $J_\nu(t_j^0)$ на момент времени окончания рассматриваемой j -й тренировки для каждого из сформированных Π_j^i планов. При этом вместо параметров α_ν^b , β_ν^b используется их математическое ожидание;

– по выражению (8) для полученных значений $J_v(t_j^0)$ рассчитывается прогнозируемое значение ТР $R_v(t_j^0)$ на момент окончания тренировки для каждого из сформированных Π_j^i планов;

– по выражению (9) для каждого плана Π_j^i рассчитывается прогнозируемое суммарное значение ТР $R_\Sigma(J_v(t_j^0), u_v(t_j^0), t_j^0)$;

– определяется план, тренировка по которому обеспечивает минимальное значение прогнозируемого суммарного ТР после ее проведения:

$$R_\Sigma(J_v(t_j^0), u_v(t_j^0), t_j^0) \xrightarrow{\Pi_j^i} \min. \quad (16)$$

При проведении следующей тренировки алгоритм повторяется.

Пример.

Пусть деятельность оператора может быть описана четырьмя ЗФД $N = 4$, из которых на тренировку выносятся только три $n = 3$. Заданы продолжительность $\tau_{jm} = 60$ мин и периодичность $\tau_{jn} = 7$ сут. проведения тренировки. Значения остальных переменных приведены в табл. 1.

Таблица 1

α_v	β_v	$J_v(t_v^0)$	C_v
1	0,18	0,000014	15 300
2	0,1	0,000028	17 500
3	0,12	0,000019	12 000
4	0,16	0,000023	16 300

В результате реализации предлагаемого алгоритма управления содержанием тренировки получены следующие значения параметров (табл. 2).

Таблица 2

	$J_v(t_j^0, \Pi_j^i)$	$R_v(t_j^0, \Pi_j^i)$ у.е	$R_\Sigma(t_j^0, \Pi_j^i)$ у.е
$\Pi_j^1 = \{1, 1, 1, 0\}$	0,99	9	1760
	0,97	58	
	0,96	42	
	0,63	595	
$\Pi_j^2 = \{1, 1, 0, 1\}$	0,99	9	1380
	0,97	58	
	0,61	463	
	0,98	24	

Окончание табл. 2

	$J_v(t_j^0, \Pi_j^i)$	$R_v(t_j^0, \Pi_j^i)$ у.е	$R_\Sigma(t_j^0, \Pi_j^i)$ у.е
$\Pi_j^3 = \{1, 0, 1, 1\}$	0,99	9	1260
	0,75	430	
	0,96	42	
	0,98	24	
$\Pi_j^4 = \{0, 1, 1, 1\}$	0,78	334	1140
	0,97	58	
	0,96	42	
	0,98	24	

Применяя правило выбора (15), получим, что использование четвертого плана проведения тренировки $\Pi_j^4 = \{0, 1, 1, 1\}$ обеспечит для указанных начальных условий минимальное значение ТР.

В случае использования других планов для проведения тренировки значение суммарного риска увеличивается. При этом относительный эффект от использования предложенного алгоритма можно определить как

$$W(\Pi_j^i, \Pi_j^4) = \left(1 - \frac{R_\Sigma(t_j^0, \Pi_j^i) - R_\Sigma(t_j^0, \Pi_j^4)}{R_\Sigma(t_j^0, \Pi_j^i)} \right) \cdot 100 \%$$

Он, соответственно, составит:

$$W(\Pi_j^1, \Pi_j^4) = 35 \%; \quad W(\Pi_j^2, \Pi_j^4) = 17 \%;$$

$$W(\Pi_j^3, \Pi_j^4) = 9 \%$$

Среднее значение выигрыша при проведении одной тренировки для указанных исходных данных: $\bar{W} = 20\%$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад «О состоянии промышленной безопасности, рациональном использовании и охране недр РФ в 2008 году» / под ред. В. М. Кульчева. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности РФ», 2008.
2. Гутников, В. Н. Антропоцентрический подход к автоматизации подготовки операторов технических комплексов / В. Н. Гутников, С. В. Коробенко, И. А. Сосновский // Автоматика и вычислительная техника. – 2005. – № 2.
3. Ломов, Б. Ф. Основы инженерной психологии : учеб. для техн. вузов / Б. Ф. Ломов. – М.: Высшая школа. – 1986.
4. Методика построения учебно-тренировочных средств с автоматической адаптацией параметров подготовки / А. Н. Михалин, С. П. Коробков, А. С. Решенкин, И. А. Сосновский // Материалы XXXI академических чтений по космонавтике. – М., 2007. – С. 296–297.
5. Свиридов, А. П. Основы статистической теории обучения и контроля знаний : метод. пособие / А. П. Свиридов. – М.: Высшая школа, 1981.
6. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В. Е. Шукшунов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005.

УДК 681.3:547.0

*В. В. Тихонина, Л. Н. Бутенко***АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ «СТРУКТУРА-СВОЙСТВА»
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: tikhonina@vstu.ru, butenko@vstu.ru

В работе рассматривается проведение конструктивного анализа сложных полимерных композиций. Данный анализ включает в себя проведение декомпозиции полимерного материала на составные элементы, определение функций этих элементов, экспертную оценку качества выполнения этих функций, формирование массива недостатков элементов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, система, концептуальный анализ, зависимость «структура-свойство».

*V. V. Tikhonina, L. N. Butenko***ANALYSIS OF THE INTERACTION PARAMETERS «STRUCTURE-PROPERTY»
OF POLYMER MATERIALS****Volgograd State Technical University**

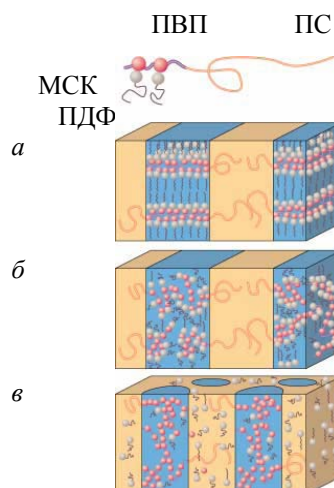
In this article considered a meaningful analysis of a complex polymer compositions. This analysis includes a decomposition of the polymer material, Definition of functions of these elements, expert assessment of the quality of these functions, and the formation of array shortcomings elements.

Key words: polymer composite material, system, conceptual analysis, dependency structure-property.

С каждым годом количество полимерных материалов и композитов на их основе растет; данная тенденция будет наблюдаться и в дальнейшем. В то же время происходит переизбыток информации, вследствие которого процесс выбора требуемого полимерного материала с заданными свойствами может занять длительное время; также не исключено, что может потребоваться создание композиции, удовлетворяющей заданным свойствам. Специфические свойства полимеров обусловлены особенностями их структуры, знание основных параметров которой необходимо для создания научно обоснованных методов их регулирования.

В качестве примера можно привести такое явление, как самоорганизация молекул. Варьируя химическое строение синтезируемых макромолекул, природу и распределение функциональных групп, удастся гибко управлять процессом молекулярной сборки, добиваясь получения сложных регулярных наноструктур с уникальными свойствами. Сейчас уже известно достаточно много полимерных систем с перестраиваемой микроархитектурой, способных функционировать как молекулярные электронные устройства. Один из примеров показан на рисунке.

Эта система состоит из двухблочного сополимера поли-4-винилпиридин (ПВП)/полистирол (ПС), протонированного по атомам азота пиридиновых групп метилсульфоновой кисло-



Супрамолекулярный ансамбль с перестраиваемой микроархитектурой при температуре $T \leq 100$ °C (а), 100 °C $< T < 150$ °C (б) и $T \geq 150$ °C (в)

той (МСК), к которой, в свою очередь, могут присоединяться амфифильные молекулы пентадецилфенола (ПДФ) за счет водородных связей. При температуре ниже 100 °C молекулярная самосборка приводит к формированию иерархической ламеллярной морфологии с чередованием двух типов слоев, построенных из блоков ПВП-ПДФ и ПС (а). Небольшое повышение температуры разрушает слоевую микроструктуру первого типа (б). При этом электропроводность системы резко возрастает. Выше 150 °C блоки ПВП-ПДФ организуются в цилиндры (в), а электропроводность скачкообразно

падает. Таким образом, в узком температурном интервале данная система может работать как молекулярное электронное устройство [3].

Собрано множество общих сведений о структуре полимеров; выделяют некоторые предположительные зависимости свойств от структуры, но нельзя выявить определенные зависимости, касающиеся отдельных полимеров или их композиций. То есть из-за того, что не известно взаимодействие между различными уровнями структуры нельзя точно прогнозировать свойства полимеров (можно только предполагать).

Так как модели взаимодействия различных уровней в структуре полимера сложны и на сегодняшний день не установлены, задачу выбора полимерной композиции, обладающей определенными свойствами, можно решить только в обход этой зависимости путем систематизации известных эмпирических данных экспертов в области химии полимеров.

Полимерные композиционные материалы (ПК) необходимо рассматривать в качестве системы.

Система – это множество взаимосвязанных объектов и ресурсов, организованных процессом системогенеза в единое целое и противопоставляемое среде; система в системном анализе – совокупность сущностей (объектов) и связей между ними, выделенных из среды на определенное время и с определенной целью; система – это множество объектов, на котором реализуется отношение с заранее заданным свойством.

Для систем выделены следующие группы инвариантных свойств:

1) связанные с целью: а) синергичность – однонаправленность (или целенаправленность) действий компонентов усиливает эффективность функционирования системы; б) приоритет интересов системы более широкого (глобального) уровня перед интересами ее компонентов; в) эмерджентность – цели (функции) компонентов системы не совпадают с целями (функциями) системы; г) мультипликативность – и позитивные, и негативные эффекты функционирования компонентов в системе обладают свойством умножения, а не сложения;

2) связанные со структурой: а) целостность – первичность целого по отношению к частям; б) неаддитивность – принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее компонентов; в) структурность –

возможна декомпозиция системы на компоненты, установление связей между ними; г) иерархичность – каждый компонент системы может рассматриваться как система (подсистема) более широкой глобальной системы;

3) связанные с ресурсами и особенностями взаимодействия со средой: а) коммуникативность – существование сложной системы коммуникаций со средой в виде иерархии; б) взаимодействие и взаимозависимость системы и внешней среды; в) адаптивность – стремление к состоянию устойчивого равновесия, которое предполагает адаптацию параметров системы к изменяющимся параметрам внешней среды (однако «неустойчивость» не во всех случаях является дисфункциональной для системы, она может выступать и в качестве условия динамического развития); г) надежность – функционирование системы при выходе из строя одной из ее компонент, сохраняемость проектных значений параметров системы в течение запланированного периода;

4) а также: а) интегративность – наличие системообразующих, системосохраняющих факторов; б) эквифинальность – способность системы достигать состояний, независимых от исходных условий и определяющихся только параметрами системы; в) наследственность; г) развитие; д) порядок; е) самоорганизация.

Зависимость «структура-свойство» характеризуется тремя понятиями: зависимость; структура; свойство. *Зависимость* – связанность явлений, предопределяющая их существование или сосуществование – это обусловленность чего-либо какими-либо обстоятельствами, причинами и т. п. [1]. *Структура* – совокупность устойчивых связей предмета, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранение основных свойств при различных изменениях – это устойчивое взаимное расположение в пространстве всех образующих его элементов, их внутреннее строение и характер взаимодействия между ними. *Свойство* – это философская категория, выражающая такую сторону предмета, которая обуславливает его различие или общность с другими предметами и обнаруживается в его отношении к ним. Свойства делятся на существенные и несущественные, обобщенные и специфические, необходимые и случайные (и т. д.), в зависимости от вида взаимодействия объектов и характера образующейся между ними связи, вида связи. Всякое свойство относительно: свойство не

существует вне отношений к другим свойствам и вещам. Свойства вещей внутренне присущи им, существуют объективно, независимо от человеческого сознания. В зависимости от того, каким образом изменяются свойства, их можно разделить на два вида: свойства, не обладающие интенсивностью и потому не могущие ее менять (например, экономический, исторический и т. д.); свойства, обладающие в предмете определенной интенсивностью, которая может быть большей или меньшей. Отметим также определяющее для полимерных композиций соотношение таких категорий, как свойство и качество. *Качество* – признак, способность, характеризующие кого-, что-нибудь, и составляющие отличительную особенность кого-, чего-нибудь. Сторона проявления качества: качество существует у предмета всегда, а свойства могут проявляться, а могут и не проявляться.

Нами был проведен конструктивно-функциональный анализ композиционного материала на примере поливинилхлоридного пластиката. Этот анализ включает в себя проведение декомпозиции полимерного материала на составные элементы, определение функций этих эле-

ментов, экспертную оценку качества выполнения этих функций, формирование массива недостатков элементов. Анализ данных [2] выявил, что композиция имеет 23 недостатка. Инверсия этих недостатков позволяет сформулировать цели совершенствования этих композиций. Следует отметить, что возникают не только тривиальные задачи, но и задачи создания условий для управления свойствами полимерной матрицы. Таким образом, применение морфофункционального системного подхода к анализу полимерных композиций позволяет упорядоченно решать задачу целеполагания и делает процесс совершенствования полимерных композиций направленным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова, В. Н. Теория систем / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М., Высшая школа, 2006. – 511 с.
2. Руководство по разработке композиции на основе ПВХ / под ред. Р. Ф. Гроссмана. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
3. Халатур, Г. Самоорганизация полимеров / Г. Халатур // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 4. – Т. 7. – С. 36–43.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.67; 574.24

Н. В. Веденина, А. Г. Кравец

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЕЩЕСТВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: n.v.vedenina@mail.ru, agk@gde.ru

Предложен программный комплекс для определения расчетного класса опасности химических соединений и малоизученных веществ на основе системного анализа и обработки информации об их элементном составе, а также выборочных физико-химических и токсикологических характеристик их классификационных моделей. С помощью предложенного программного комплекса представляется возможным более точно выполнить прогноз экологической опасности химических соединений и малоизученных веществ. Даны описания реализации программного комплекса на языке C# с использованием технологии Microsoft.NET.

Ключевые слова: программный комплекс, химические соединения, малоизученные вещества, элементный состав, физико-химические характеристики, токсикологические характеристики, классификационные модели, обработка информации, системный подход.

N. V. Vedenina, A. G. Kravets

THE ANALYSIS AND FORECASTING OF DANGER OF CHEMICAL COMPOUNDS AND SUBSTANCES

Volgograd State Technical University

The software for determination of chemical compound and scantily explored matters danger class based on the system analysis and information processing of their elementary composition, physical and chemical properties and toxic characteristic their classification model. The high-quality prognosis of ecological danger of chemical compound and scantily explored matters is carry out by this software. This publication presents description of software in C# language with use of Microsoft.NET technology.

Key words: Software Complex, class of danger, chemical compound, scantily explored matters, classification model, information processing, system analysis.

Создание экологически безопасных технических систем – одна из важнейших задач экологии, которая невозможна без прогнозирования экологических факторов. Учеными проводятся исследования, находящиеся на стыке самых разных наук: полимеры и биотехнология, плазмохимия, нанотехнологии, химия высокочастотных излучений, химия электромагнитных и электрических полей, тонкая органическая химия. За последнее время, благодаря таким исследованиям, был синтезирован большой ряд новых химических соединений, обладающих комплексом полезных свойств [1] найдены новые перспективные соединения.

Многие из новых синтезированных соединений являются эффективными синтетическими заменителями различных продуктов при-

родного происхождения в многочисленных отраслях промышленности. Например, в медицине успешно развивается новое направление синтеза и изучения свойств биологически активных веществ. В настоящее время синтезируются новые биологически активные вещества, перспективные для создания препаратов защитного характера. Также созданы новые лекарственные препараты, биоинертные, тромборезистентные материалы для сердечно-сосудистой хирургии, эндопротезирования.

Для всех новых соединений необходимо установить так называемый паспорт соединения, который будет включать в себя краткую характеристику вещества, его физико-химические свойства и экологические параметры, так как данные соединения в обязательном порядке

подлежат государственной регистрации и сертификации. Физико-химические свойства веществ и их состав на стадии проектирования являются параметрами если не известными, то легко прогнозируемыми, чего не скажешь об их экологических особенностях.

Для предупреждения неблагоприятных воздействий вредных веществ на окружающую среду в разных странах используют системы предупредительных мероприятий, среди которых основная – токсикологическая оценка веществ и материалов, включающая их предварительный отбор для использования в промышленном обороте и ограничение допустимых уровней воздействия на человека.

В России в рамках экологического нормирования организована многоступенчатая токсикологическая оценка веществ, конечным итогом которой для веществ технического назначения является распределение их по классам опасности.

Актуальность данной проблемы влечет за собой необходимость разработки механизмов, средств и систем, позволяющих эффективно выполнить прогноз опасности химических соединений и малоизученных веществ на основе системного анализа и обработки информации об их элементном составе, а также выборочных физико-химических и токсикологических характеристик их классификационных моделей.

В современной нормативной экологической литературе для веществ установлены четыре класса опасности, которые в соответствии с ГОСТ 12.1.007–76 распространяются на вещества, содержащиеся в сырье, продуктах, полупродуктах и отходах производства. Для отходов предусматривается также пятый класс опасности. При этом класс опасности связывают, прежде всего, с токсичностью, под которой понимают меру несовместимости вещества с жизнью человека.

Экспериментальное определение конкретных токсикологических характеристик веществ (ПДК, LD, ЛК, ОБУВ, МНК, ОТД, ХТД и др.), на основе которых устанавливается (или характеризуется) класс опасности как нормативный (в государственном смысле) индикатор, является сложной дорогостоящей и длительной процедурой во многих случаях изыскательской, предпроектной и проектной деятельности, малооправданной с экономической точки зрения, когда можно для поддержки принятия решений использовать ориентировочные (расчетные) зна-

чения классов опасности веществ. Поэтому, по нашему мнению, создание новых и совершенствование существующих методик определения расчетного класса опасности в экологическом нормировании, является на сегодняшний день очень важной научной задачей [2].

В настоящей работе с помощью методов системного анализа были составлены специальные таблицы (см. табл. 2), в которых собраны данные о нормированных органических веществах [3, 5]. На основе этих данных были подсчитаны среднеарифметические значения отдельных параметров (\bar{Y}_i), которые характеризуют класс опасности как специфический набор веществ. Далее высказано предположение, что между средними значениями характеристик веществ (\bar{Y}_i) в наборах и классом опасности (X) существует зависимость вида $\bar{Y} = f(X)$.

В данном исследовании введено понятие «статистический образ веществ в классе опасности» (брутто-формула), что значительно упрощает процесс автоматизации. Под *брутто-формулой* понимается сумма элементов в наборе веществ, имеющих в соответствующем классе опасности [4]. Пример фрагментов статистических образов дан в табл. 1, а представления элементного описания класса опасности – в табл. 2.

Анализ статистического образа показывает, что в первом и во втором классе сосредотачиваются органические вещества, в большей степени содержащие гетероатомы As, Hg, S, P, Cl, F, Br, Pb, K, Na и др. В других классах, представляющих меньшую опасность, их разнообразие падает (рис. 1).

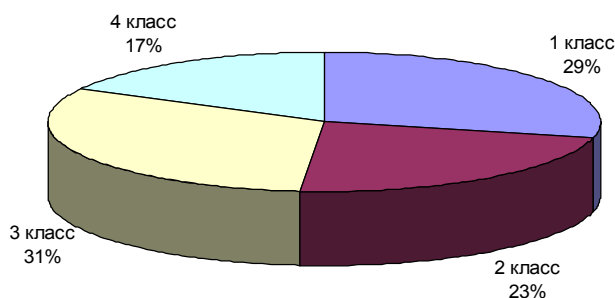


Рис. 1. Разнообразие элементов в классах опасности веществ

Наибольшим разнообразием элементов отличается третий класс. Проведенные исследования показали, что существуют закономерности, связывающие класс опасности с его статистическим образом (рис. 2).

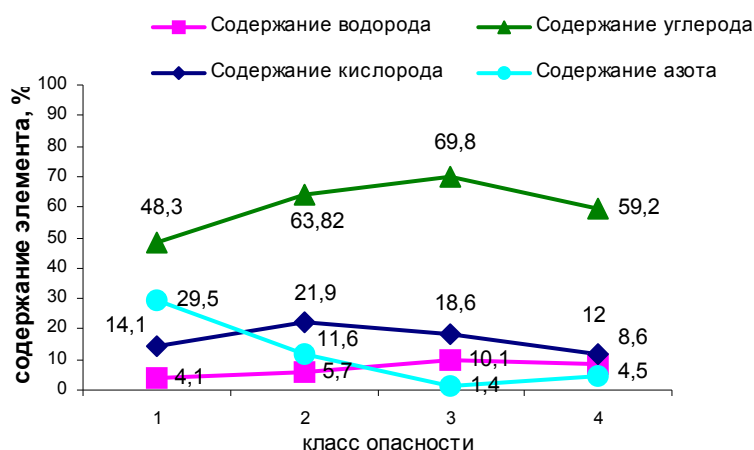


Рис. 2. Зависимость среднего арифметического содержания углерода, водорода, кислорода и азота в статистическом образе от класса опасности

Фрагменты подготовки обучающей выборки программного комплекса даны частично в виде статистических образов классов опасности вредных веществ (табл. 1) и в выборочном наборе веществ (табл. 2). Данные получены путем

обобщения сведений для 90 % веществ из генеральной совокупности, то есть для 913 веществ: 48 веществ в I классе опасности, 290 веществ во II классе опасности, 277 веществ в III классе опасности и 298 веществ в IV классе опасности.

Таблица 1

Фрагменты статистических образов веществ в четырех классах опасности

Класс опасности	Статистический образ вредного вещества (брутто-формула)	Содержание элементов (элементный состав), % (по нормированной брутто-формуле)						
		C	H	O	N	Cl	S	Др.
I	$C_{7,32}H_{7,39}O_{2,32}N_{0,53}Cl_{0,58}S_{0,16}Pb_{0,05}Hg_{0,05} + фхх$	47,27	4,00	19,96	4,00	11,06	2,76	...
II	$C_{6,50}H_{7,03}O_{1,48}N_{0,50}Cl_{0,40}F_{0,48}Si_{0,03} + фхх$	53,38	4,84	16,19	4,79	9,63	0,00	...
III	$C_{5,67}H_{8,35}O_{1,40}N_{0,44}Cl_{0,42}F_{0,07}Br_{0,07}S_{0,06}K_{0,06}Na_{0,02} + фхх$	51,74	6,39	17,02	4,68	16,58	1,46	...
IV	$C_{4,33}H_{7,08}O_{0,50}Cl_{0,42}F_{0,54} + фхх$	56,35	7,73	8,67	0,00	27,26	0,00	...

Таблица 2

Элементный состав выборочной совокупности веществ в обучающей выборке

Вещество	Область применения	Брутто-формула	Элементный состав, %									
			C	H	O	N	Cl	F	S	Pb	...	
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	...	
I класс опасности												
1,2,3,4,5-Гексахлорциклогексан (гексахлоран)	Пестицид	$C_6H_6Cl_6$	24,8	2,0	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	...	
Азидотимидин (вудазин)	Ветеринария	$C_{10}H_{13}N_5O_4$	44,9	5,0	23,9	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0	...	
О,О-Диметил-О-(4-нитрофенил) тиофосфат	Гербицид	$C_8H_{10}NO_5PS$	33,1	3,8	30,4	5,3	0,0	0,0	12,2	(P) 11,8	...	

Окончание табл. 2

Вещество	Область применения	Брутто-формула	Элементный состав, %								
			C	H	O	N	Cl	F	S	Pb	...
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	...
II класс опасности											
Гидропероксид кумола	Полимеризация	C ₉ H ₁₂ O ₂	71,0	7,9	2,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
Фталевый ангидрид	Органический синтез	C ₈ H ₄ O ₃	64,8	2,7	32,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
4-Амино-N-(4,6-диметилпири-мидон-2-ил)бензолсульфонамид	ПАВ	C ₁₂ H ₁₄ N ₄ O ₂ S	51,8	5,1	11,5	20,1	0,0	0,0	11,5	0,0	...
III класс опасности											
2-Амино-6-метил-4-метокси-1,3,5-триазин (6-метил-4-метокси-1,3,5-триазин-2-амин)	Фармакология	C ₅ H ₈ N ₄ O	42,9	5,8	11,4	39,9	0,0	0,0	0,0	0,0	...
Ацетофенон	Органический синтез	C ₈ H ₈ O	79,9	6,7	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
Капроновая кислота	Органический синтез	C ₆ H ₁₂ O ₂	62,2	10,3	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
IV класс опасности											
3-Амино-1-гидроксибензол (3-аминофенол)	Синтез красителей	C ₆ H ₇ NO	66,1	6,5	14,6	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	...
Пентан	Растворитель	C ₅ H ₁₂	83,3	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
1,1,2,2-Тетрахлорэтан	Растворитель	C ₂ H ₂ Cl ₄	14,2	1,2	0,0	0,0	84,6	0,0	0,0	0,0	...

Из представленных зависимостей (рис. 2) видно, что функции $\bar{Y} = f(X)$ нелинейны.

При проведении прогноза очень важно соотносить между собой физико-химические параметры веществ, делая выводы о том, какие из них меняются сильно, а какие – слабо. Амплитуда возможных колебаний параметра может составлять и сотни единиц, и сотые доли, что способно сильно изменить влияние отдельных факторов на оценку фазового расстояния, вы-

бранного в качестве инструмента классификации. В табл. 3 даны выборочные характеристики некоторых веществ – ингредиентов полимерных композиций, – иллюстрирующие сказанное. В данной работе предложено применить к исходному пространству параметров обучающей выборки линейное преобразование так, чтобы амплитуда изменений у всех параметров оказалась одинаковой (для удобства в качестве значения амплитуды взята 1) [4].

Таблица 3

Исходные характеристики веществ

Технологическое (химическое) название вещества	X _j				
	Молекулярная масса	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Плотность ρ, г/см ³	ПДК ₃ , мг/м ³
<i>j</i>	1	2	3	4	5
1. Неозон А (N-фенил-α-нафтиламин)	219,3	62,0	335,1	1,44	2,99
2. Неозон Д (N-фенил-β-нафтиламин)	219,3	108,0	399,5	1,20	-
3. Азинфос-метил (0,0-диметил-S-(5,6-бензо-3,4-дигидро-4-оксо-1,2,3-триазинил-3-метил)дитиофосфат)	317,3	74,3	504,0	1,40	0,20
4. Азолят (смесь натриевых солей алкил-, диалкил- и триалкилбензолсульфонокислот)	372,0	369,0	504,0	1,46	2,30
Размах (амплитуда), <i>a_j</i>	152,7	307,0	168,9	0,26	2,79

Для реализации предложенного алгоритма использовали формулу:

$$x'_j = \frac{x_j - m_j}{a_j}, \quad j = \overline{1, m} \quad \text{или} \quad x'_j = \frac{x_j - x_{j_{\min}}}{a_j},$$

где x_j – максимальное значение; m_j – текущее значение; a_j – размах.

Программный комплекс реализует прогнозирование класса опасности с применением формулы фазового расстояния Пирсона [3, 4]:

$$D = w \sum_{i=1}^k |X_i - T_i|,$$

где X_i – координаты классифицируемого объекта в K -мерном пространстве; T_i – координаты центра класса; w – весовой коэффициент, рав-

ный $(n+k)^{-1}$; n – число элементов в классе опасности; k – число факторов, участвующих в вычислении.

Экзаменационная проверка методики определения расчетного класса опасности химических соединений с использованием элементного состава веществ показала, что прогнозирование класса опасности веществ осуществляется с достоверностью в первом классе – 90,0 %; во втором классе – 88,5 %; в третьем классе – 91,0 %; в четвертом классе – 84,0 %; в среднем по контрольной выборке – 88,4 %.

Обобщенные результаты, характеризующие достоверность тестирования с использованием экзаменационных выборок, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Достоверность оценок класса опасности вредных веществ по результатам тестирования экзаменационных выборок

Условия тестирования	Класс опасности				Среднее значение
	I	II	III	IV	
Число соединений в контрольной выборке*	5/5	15/17	15/16	15/18	$\Sigma = 106$
Достоверность тестирования, %					
Экстраполяция	100	96	98	92	96,5
Интерполяция	80	81	84	76	80,3

* В числителе – интерполяция; в знаменателе – экстраполяция

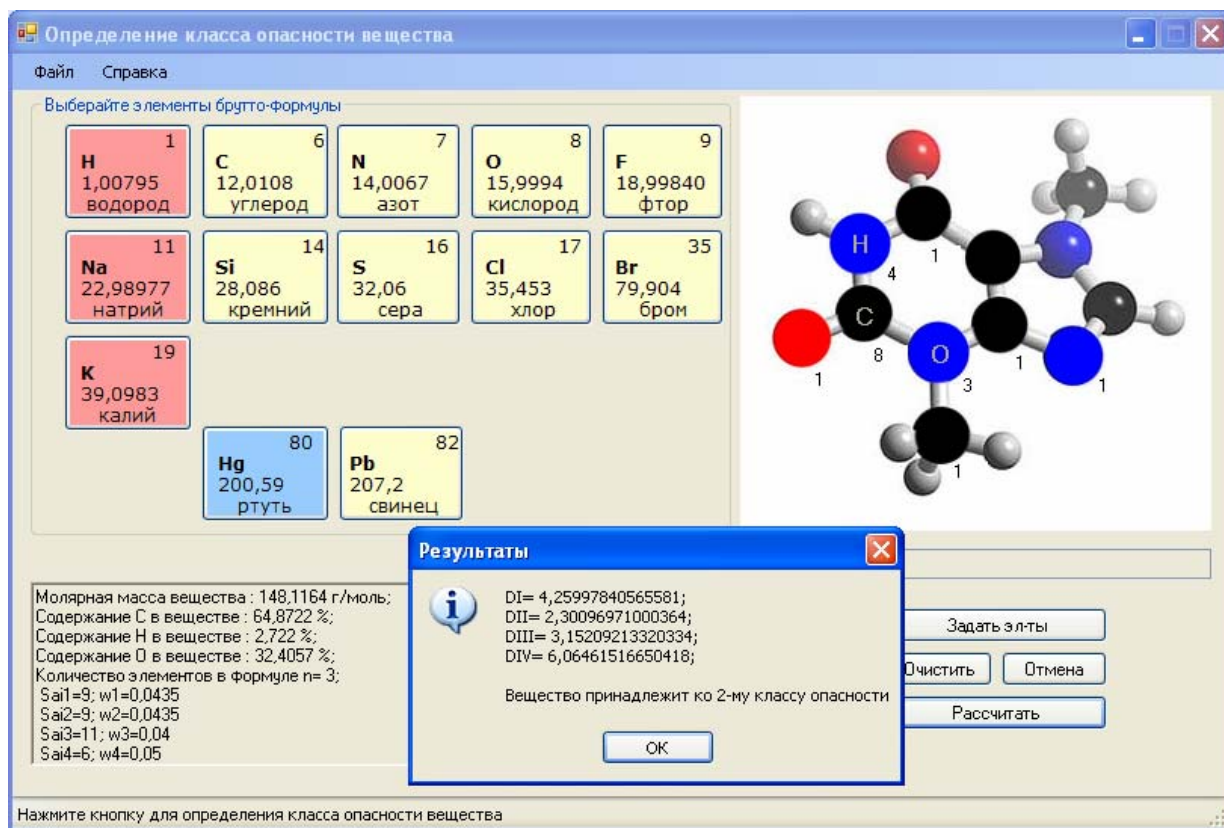


Рис. 3. Экран программного комплекса определения класса опасности вещества

На основе данного метода разработаны информационная структура, алгоритмы и инструментальные средства программного комплекса для определения расчетного класса опасности.

Программный комплекс реализован на языке C# с использованием технологии Microsoft .NET. Для начала работы программы необходимо задать элементы, входящие в состав брутто-формулы вещества. Выбранные элементы показываются на схематичном изображении формулы вещества, после чего задается их количество. По результатам проведения расчета отображается отчет, содержащий информацию о промежуточных шагах вычислений и классе опасности вещества. Пример расчета класса опасности для фталевого ангидрида приведен на рис. 3.

Предлагаемый программный комплекс представляет собой современную разработку, использующую преимущества новейших средств разработки программного обеспечения. На сегодняшний день в России отсутствуют подобные программные комплексы.

Авторы предполагают следующие перспективные направления работы:

- совершенствование обучающих и контрольных выборок по мере накопления новых данных о свойствах вредных веществ;

- развитие представлений о статистическом образе вредного вещества с учетом его структурных характеристик;
- развитие банка данных вредных химических соединений и веществ;
- разработка интеллектуальных процедур определения класса опасности новых и малоизученных химических соединений и веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение расчетного индекса экологической опасности веществ методами нечеткой математики / И. В. Гермашев [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2003. – № 11. – С. 27–34.
2. Методика компьютерной экспертизы экологической опасности веществ / Е. В. Дербишер [и др.] // Актуальные проблемы современной науки. Естественные науки. Ч. 8. Экология : тр. 3-й Междунар. конф. молодых ученых и студентов, 30.09-2.10.2002 / Поволжская молодежная академия наук. – Самара, 2002. – С. 15.
3. Исследование зависимостей «физико-химические свойства – класс опасности вещества» / Е. В. Дербишер [и др.] // Альманах-2007 : сб. тр. Междунар. акад. авторов науч. открытий и изобретений (МААНОИ), Волгогр. отд. [и др.]. – Волгоград, 2007. – С. 135–140.
4. Оценка класса опасности намечаемых к промышленному использованию веществ с помощью евклидова расстояния / Е. В. Дербишер [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2007. – № 6. – С. 32–38.
5. Осипов, А. Л. Методы статистической классификации химических веществ по степени токсичности / А. Л. Осипов, В. В. Александров // Автотметрия. – 2003. – № 1. – С. 114–117.

УДК 004.9:324

В. А. Головин, К. В. Кумунжиев

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ГЕНЕРАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПРЕДВЫБОРНОЙ КАМПАНИИ

Ульяновский государственный университет

E-mail: golovina.ulgu@gmail.com, kvk@kvk.ulsu.ru

В статье представлена структура системы поддержки генерации решений по формированию предвыборной кампании. Описаны основные подсистемы, механизмы поиска и адаптации решений. Представленная система позволяет генерировать сценарий предвыборной кампании, а так же накапливать опыт в данной сфере.

Ключевые слова: система поддержки генерации решений, формализация предметной области, адаптация, метод прецедентов, нейронная сеть.

V. A. Golovin, K. V. Kumunzhiev

THE SUPPORT SYSTEM OF THE GENERATION OF THE SOLUTION ON ELECTION CAMPAIGN FORMATION

Ulyanovsk State University

In article the structure of system of support of generation of decisions on election campaign formation is presented. The basic subsystems, search engines and adaptations of decisions are described. The presented system allows to generate the election campaign scenario and as to accumulate experience in the given sphere.

Key words: the support system of the generation of the solution, subject domain formalization, adaptation, case-based reasoning, neural network.

Введение

На современном рынке информационных технологий чаще всего можно встретить автоматизированные системы для таких подразделений, как бухгалтерия, отдел продаж, складское хозяйство, кадровая и финансовая службы. И практически отсутствуют компьютерные решения для управления политической деятельностью.

На сегодняшний день существуют некоторые программные продукты в сфере политической деятельности и политического PR, но все они имеют ряд недостатков. Некоторые из этих программных средств пытаются прогнозировать результаты выборов, основываясь на статистических данных, и рассчитать бюджет предвыборной кампании. Но для этого необходимо проделать большую работу по сбору нужных данных, которые зачастую не соответствуют реальному положению дел. Другие же программные продукты всего лишь «подталкивают» пользователя к креативному мышлению, необходимому для разработки предвыборной кампании, и не дают готового «рецепта». Таким образом, в рассматриваемой предметной области нет системы, которая бы генерировала решения, исходя из поставленных пользователем целей. Поэтому становится актуальной и целесообразной разработка системы поддержки генерации решения (СПГР), которая бы выдавала рекомендации по реализации предвыборной

кампании, а также поддерживала процесс накопления опыта в этой сфере.

По результатам исследования предметной области предложена структура системы поддержки генерации решений. Разработан ряд моделей, адекватно отражающих предметную область, реализована вопросно-ответная система как связующее звено между пользователем и СПГР.

Разработка моделей

Под *моделью* [1, 2] будем понимать множество, состоящее из структурных компонентов, которые связаны между собой, взаимодействуют между собой и адекватно представляют исследуемый объект.

На основании исследования предметной области была создана онтологическая модель предметной области; кроме этого разработаны модели кандидата, ситуации и сценария предвыборной кампании.

Модель предметной области содержит информацию о цели предвыборной кампании, решаемых для достижения цели задачах и методах, применением которых решаются задачи. Целью будет являться результат, который требуется достичь по итогам предвыборной кампании. Задачи отвечают за стратегию предвыборной кампании, реализация которой делает возможным достижение цели. *Методы* – это тактические действия, предпринимаемые для решения стратегических задач предвыборной кампании.

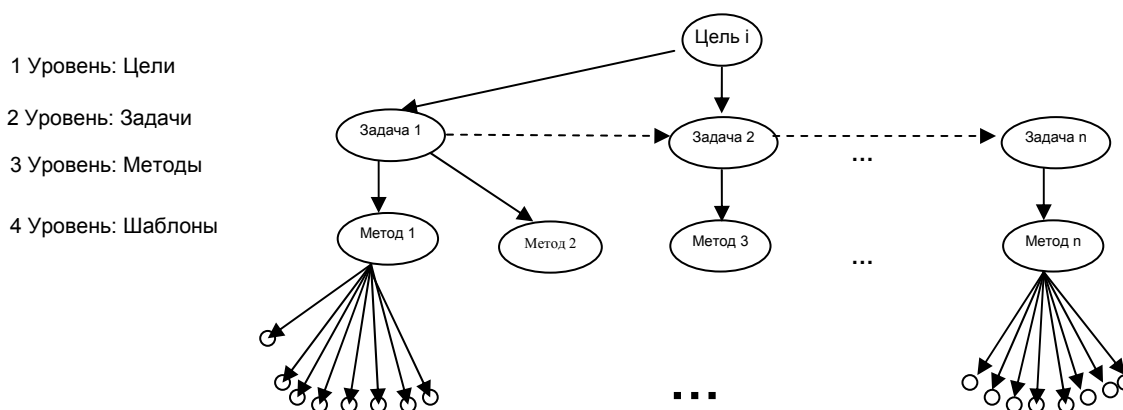


Рис. 1. Модель предметной области

Модель предметной области имеет вид:

$$PRModel = \{Purpose, Task, Method, MetaData | ortree, <, view\},$$

где Purpose = {цель_i, i = 1, E} – множество названий целей, Task = {задача_i, i = 1, Z} – мно-

жество задач, Method = {метод_i, i = 1, M} – множество методов решения задачи; MetaData = {< key_i >, hash – function, 1, H} – метаданные модели, где < key_i > – кортеж ассоциативных ключей, hash – function – хэш-функция поиска

элемента; ortree – иерархическое отношение, < – отношение порядка, view – ассоциативная функция.

Модель кандидата должна учитывать информацию о личных данных и политических взглядах кандидата. Модель кандидата имеет вид:

$$\text{Candidate} = \{\text{Person, Policy, Other}\},$$

где Person = {age, education, family, work}, Policy = {party, program, relation}, Other = {adm_resource, smi, kapital}.

Персональная информация состоит из таких позиций, как возраст кандидата, образование, семейное положение, сфера профессиональной деятельности. Политические взгляды представлены информацией о политической программе кандидата, его отношении к нынешней власти, партийной принадлежности кандидата. Раздел «Другое» содержит информацию о наличии у кандидата дополнительных средств к ведению предвыборной кампании, таких как административный ресурс, влияние на СМИ, поддержка кандидата путем вливания в предвыборную кампанию больших финансовых средств.

Выбор методов ведения предвыборной кампании сильно зависит от положения дел в государстве. Поэтому модель ситуации должна содержать информацию о состоянии внешней и внутренней политики, экономической и политической ситуации на момент предвыборной кампании. Модель ситуации имеет вид:

$$\text{Situation} = \{\text{Internal, External, Economic, Political}\},$$

где Internal – информация о внешнеполитической ситуации; External – информация о внутренней ситуации в стране; Economic – информация об экономической ситуации в стране; Political – информация о политическом лидере и правящей партии.

Модель сценария предвыборной кампании предназначена для формирования стратегии и тактики, которые обеспечат достижение цели предвыборной кампании, и имеет вид:

$$\text{Scenariy} = \{G (\text{vertex, edge}), \text{Reflection}\},$$

где G (vertex, edge) – ориентированный граф ситуации; Reflection – множество отображений вершин в объекты предметной области.

Разработка вопросно-ответной системы

Сбор информации для предложенных моделей осуществляется с помощью вопросно-ответной системы. Работа системы начинается с вы-

бора цели предвыборной кампании, а затем происходит ввод данных по кандидату и ситуации.

Методы организации вопросно-ответных систем хорошо изучены и имеется достаточно большое количество материала по их построению и использованию [3, 4], поэтому не имеет смысла останавливаться на этом вопросе.

Структуры метода и прецедента

СПГР использует две независимые базы данных: база объектов предметной области, в которой будут храниться тактические методы предвыборной кампании, разделенные по решаемым задачам; база прецедентов, содержащая описания реальных предвыборных кампаний из мировой практики.

Метод должен хранить в себе следующую информацию: ключ, название, решаемую задачу, информацию о ситуации, информацию о кандидате, направление метода, характер метода, оценку эффективности метода, текст описания метода.

Помимо разделения по решаемым задачам, методы классифицируются по «направлениям»: «Семья», «Профессионализм», «Политическая составляющая», «Общественная жизнь». Определив направление метода, необходимо выбрать его характер – «агрессивный», «нейтральный» или «пассивный» в зависимости от подачи информации в методе. Оценка эффективности методу присваивает пользователь. Она особенно нужна в процессе адаптации, при выборе наиболее эффективных методов для окончательного решения. Для детального обзора и изучения метода вводится его текстовое описание.

Что же касается структуры прецедента, то необходимо реализовать хранение следующей информации: ключ, название, цель, решаемые задачи и задействованные методы, информация о кандидате, информация о ситуации, оценка эффективности прецедента, текст описания прецедента.

Структура системы поддержки генерации решений

В соответствии с определенными в ходе анализа целями функционирования СПГР, было принято решение о выделении ряда подсистем в рамках системы. Каждая из подсистем решает свой подкласс задач и является самостоятельной компонентой.

Структура системы поддержки генерации решений показана на рис. 2.

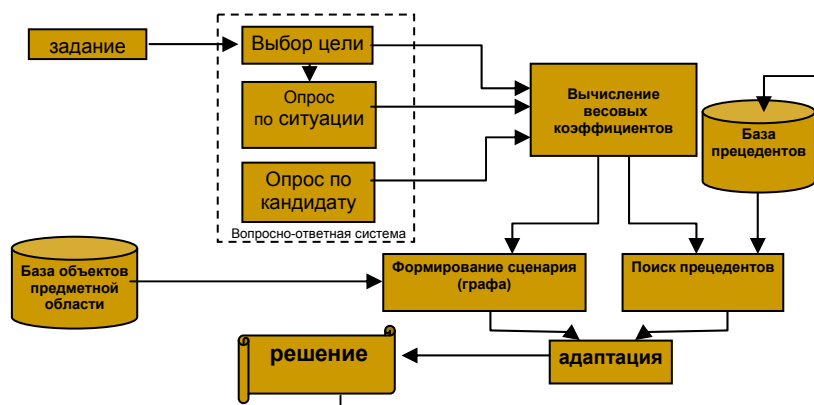


Рис. 2. Структурная схема системы поддержки генерации решения

**Подсистема
расчета весовых коэффициентов**

По результатам работы подсистемы ввода данных в СПГР заполняются переменные, характеризующие кандидата и ситуацию, сложившуюся накануне выборов. Важность параметров определяет эксперт из данной предметной области. Далее, происходит расчет весового коэффициента для каждого из параметров: учитывается вес возможного ответа для некоторых вопросов по кандидату; учитывается влияние параметров ситуации на некоторые характеристики кандидата.

Для того, чтобы наилучшим образом выбрать тактические методы предвыборной кампании, необходимо свернуть определенные параметры в группы и вычислить оценочный коэффициент для каждой из них на основании весов параметров, вошедших в эти группы.

**Подсистема
формирования графа сценария**

Итак, из предыдущей подсистемы на вход системы формирования графа подаются оценочные коэффициенты групп параметров. В зависимости от того, в каком промежутке лежат значения этих коэффициентов, делается вывод о применении тех или иных методов – будут ли это «агрессивные», «нейтральные» или «пассивные» методы.

Далее, происходит обращение к базе объектов предметной области. После выбора и добавления методов для каждой из стратегических задач граф является окончательно сформированным.

**Подсистема
поиска прецедентов**

На вход подсистеме поиска прецедентов подаются параметры введенной информации и

их оценки. Далее, в процессе работы нейронной сети находятся прецеденты, наиболее близкие к ситуации, описанной введенными параметрами. Механизмы работы и методология нейронных сетей хорошо изучены и представлены во многих публикациях [5, 6], поэтому не имеет смысла останавливаться на этом подробно.

Подсистема адаптации

После того, как выбран подходящий прецедент, при поиске решения для целевой проблемы выполняется адаптация – модификация имеющегося в нем решения с целью его оптимизации. Сравнивая методы в построенном графе сценария и найденном прецеденте, выбираются те, оценка эффективности которых выше. Далее вносятся коррективы, с учетом замены методов, и формируется окончательное решение, содержащее информацию о цели предвыборной кампании, ее стратегических задачах и тактических методах. Пользователю выдается адаптированное решение с возможностью просмотра прецедента, на основе которого проведена адаптация.

Необходимость процесса адаптации объясняется очень просто. Дело в том, что количество методов, применяемых в процессе предвыборной кампании, с каждым годом увеличивается. Естественно, что какие-то из них устаревают, и на смену им приходят современные и более эффективные. Таким образом, процесс адаптации просто необходим и существенно влияет на конечный результат работы системы.

**Подсистема
добавления объектов в базы данных**

Для успешной и эффективной работы СПГР необходимо регулярное пополнение базы данных объектов предметной области и базы пре-

цедентов. Накопление опыта является одной из ключевых задач, решаемых СПГР. Пользователю предоставляется возможность собственноручно вносить новые методы и новые прецеденты в базы.

Выводы

По результатам анализа выделены основные задачи, стоящие перед системами подобного рода: генерация решения, накопление опыта. В соответствии с задачами определена структура СПГР. Предложены следующие модели: модель предметной области, модель кандидата, модель ситуации, модель сценария предвыборной кампании. Сформулированы и разработаны механизмы поиска и адаптации решения, основные требования к организации работы с ба-

зами данных. Макетирование СПГР подтвердило ее работоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков, И. П.* Основы автоматического проектирования / И. П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.
2. *Новиков, Ф. А.* Дискретная математика для программистов / Ф. А. Новиков. – СПб.: Питер, 2000. – 304 с.
3. *Соснин, П. И.* Человеко-компьютерная диалогика / П. И. Соснин. – Ульяновск, 2001. – 285 с.
4. *Соснин, П. И.* Вопросно-ответное моделирование в разработке автоматизированных систем / П. И. Соснин. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 333 с.
5. *Уоссермен, Ф.* Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1992. – 127 с.
6. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

УДК 621.02:658.3.012.2

А. В. Исаев, Я. С. Кошечкин, А. Г. Кравец

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: korneti@vstu.ru, cad@vstu.ru

Авторами статьи приведена концепция построения структуры образовательной системы сопровождения учебного курса. Основным преимуществом предлагаемой системы является принципиальная ее возможность динамичного формирования индивидуализированных образовательных траекторий обучаемых.

Ключевые слова: автоматизированная система сопровождения учебного курса, дистанционное обучение, образование.

A. V. Isaev, I. S. Koshechkin, A. G. Kravets

APPROACHES TO THE CONSTRUCTION OF CONSTRUCTION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF SUPPORT OF THE TRAINING COURSE

Volgograd State Technical University

Authors of article bring for discussion the concept of structure of educational system of support of a training course. The basic advantage of offered system is its basic possibility of dynamical formation of the individualized educational trajectories of trainees.

Key words: the automated system of support of a training course, remote training, educational.

Актуальность разработки автоматизированной системы сопровождения учебного курса

До недавнего времени ключевым при подготовке специалиста являлся определенный набор требований, предъявляемых к выпускнику и определяемых как знания и умения. Тем самым предполагалось, что выпускник либо уже знает место последующего своего трудового участия, либо достаточно четко предполагает профессиональную специфику своих будущих трудовых отношений. Переход к *компетентной модели* обучения студентов в высшей школе обусловлен необходимостью обеспече-

ния уровня их профессиональной подготовки, отвечающей требованиям работодателей, которые в настоящее время формулируются не столько в системе «знаний» специалистов, сколько в терминах «способов деятельности» [1, 2]. Компетентностный подход – это совокупность общих принципов определения целей образования, отбора содержания образования, организации образовательного процесса и оценки образовательных результатов. Набор компетенций, которыми должен обладать выпускник, также не является неизменяемым. В силу динамики рынка, этот набор довольно силь-

но трансформируем, что прослеживается и в стандартах третьего поколения – в предлагаемом разбиении набора выходных компетенций обучаемого на базовую и вариативную части. Принцип формирования компетенций: та или иная компетенция может быть сформирована в ходе освоения либо одной, но чаще – нескольких дисциплин. Отсюда – высокие требования к согласованию рабочих учебных программ.

Авторами статьи выносятся на обсуждение концепция структуры образовательной системы сопровождения учебного курса, предполагающей значительную автоматизацию построения образовательной траектории обучаемого и ее документального сопровождения. Данная система может быть адаптирована и к системам очного образования. Основным преимуществом предлагаемой системы является принципиальная ее возможность динамичного формирования индивидуализированных образовательных траекторий обучаемых, с учетом варьируемых требований (пожеланий) участников образовательного процесса, реального уровня подготовки обучаемого и динамики его обучения, а также автоматизация документального сопровождения.

Автоматизированная система сопровождения учебного курса

В предлагаемой системе индивидуальные образовательные траектории строятся с учетом уже существующих типовых образовательных программ, что позволяет адаптировать данную систему под существующие типовые учебные планы, а также с учетом возможности транс-

формации этого набора в зависимости от личных предпочтений, требований работодателя и возможностей формирования заданных компетенций вузом (рис. 1).

Для обеспечения приоритета оперативной корректировки учебной траектории в структуре предлагаемой автоматизированной системы предусмотрены управляющие факторы: преподаватель, контролирующий обучение студента в пределах одного курса и куратор, осуществляющий контроль за образовательной траекторией подготовки специалиста (согласование курсов).

На рис. 2 представлена диаграмма взаимодействия основных модулей автоматизированной системы сопровождения учебного курса.

Автоматизированная система сопровождения учебного курса состоит из четырех подсистем:

- подсистема регистрации и авторизации студента: формирует список компетенций, которыми студент должен обладать в результате процесса обучения; обеспечивает доступ студента к учебному модулю и контролируемый доступ к модулю разработки учебных курсов;
- модуль разработки учебных курсов: формирует учебные блоки, учебную траекторию, стартовый набор учебных блоков, последовательность учебных блоков, ведет «карточку» студента (характеристика индивидуализированной траектории обучаемого);
- учебный модуль: обеспечивает проведение стартового контроля, предоставляя студенту список учебных блоков, которые он может изучать на данном этапе; выполняет информацион-

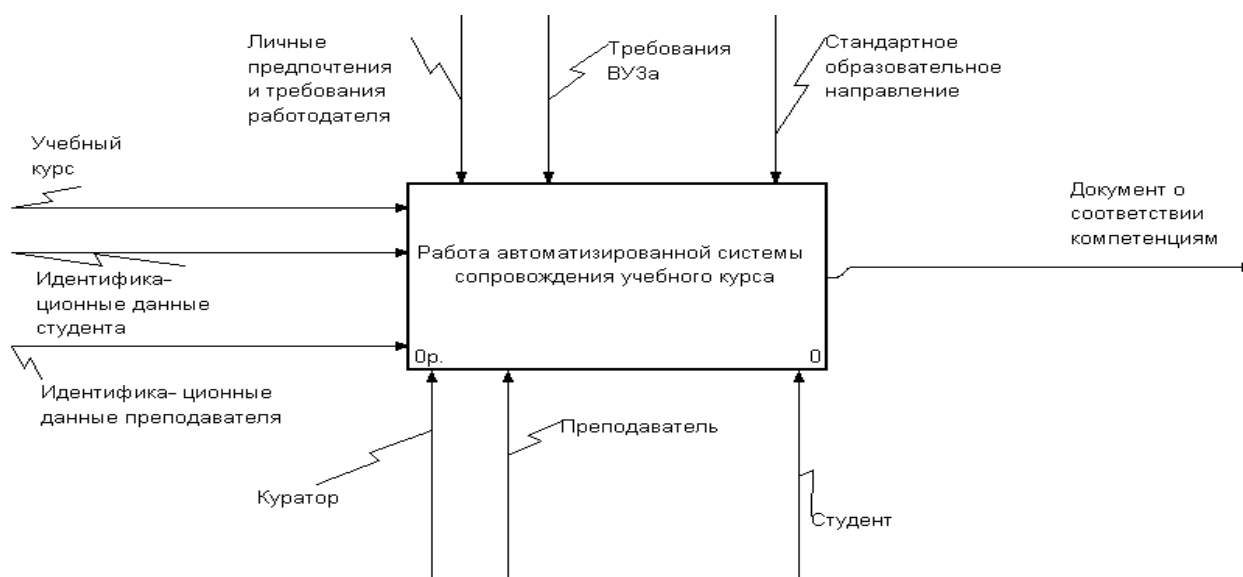


Рис. 1. Автоматизированная система сопровождения учебного курса (верхний уровень)

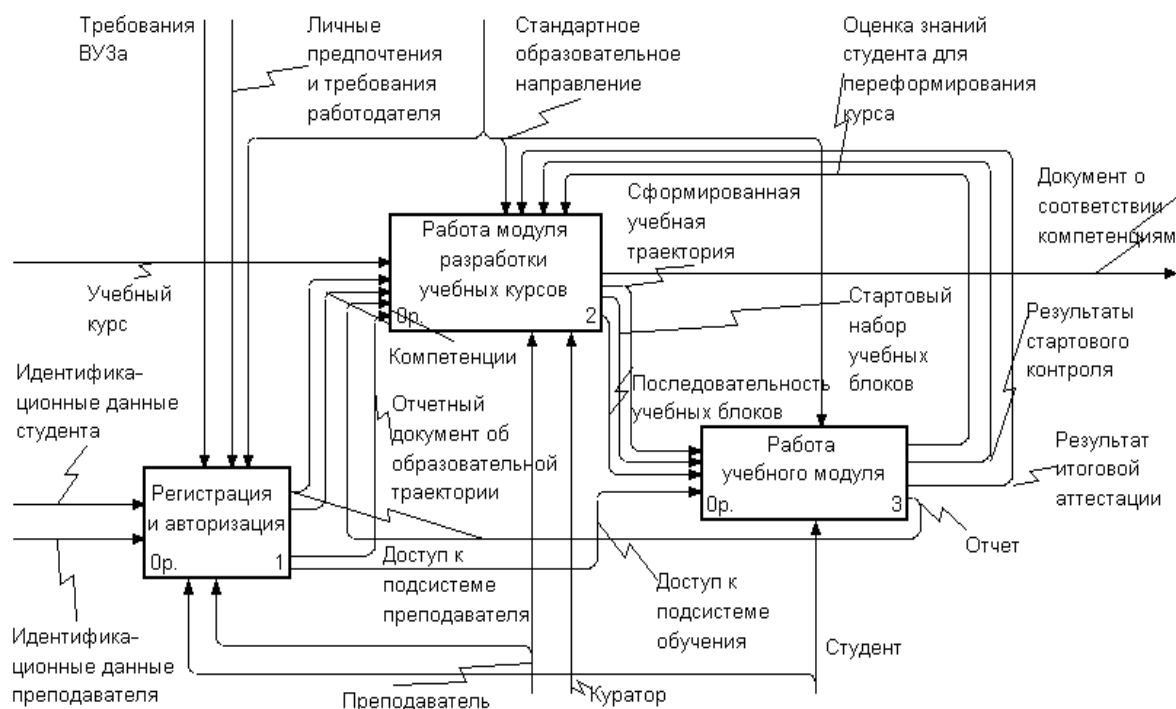


Рис. 2. Автоматизированная система сопровождения учебного курса (нижний уровень)

ную поддержку обучения студента по выбранным учебным блокам, обеспечивая оперативный и итоговый контроль уровня компетентности обучаемого; формирует необходимую «отчетную» документацию.

Осуществление согласованного выбора исходной образовательной траектории выполняется в подсистеме «Регистрация и авторизация». При этом обеспечивается выбор либо стандартной образовательной траектории и ее последующая корректировка с учетом личностных предпочтений студента, требований потенциального работодателя и возможностей вуза, либо формируется иная образовательная траектория, обеспечивающая формирование в процессе обучения заданного набора профессиональных компетенций.

Взаимодействие представленных в структуре данной подсистемы классов выполняется в следующей последовательности. После регистрации и получения разрешения на вход в подсистему потенциальный обучаемый выбирает либо стандартную образовательную траекторию, либо, с учетом своих пожеланий и пожеланий работодателя корректирует итоговый набор своих профессиональных компетенций. В подсистеме «Формирование списка компетенций» выполняется согласование индивидуальных компетенций со стандартными учебными планами подготовки специалиста, реали-

зуемыми в вузе. Процедура данного сопоставления предусмотрена для обеспечения преемственности существующей системы построения учебного процесса и предлагаемой автоматизированной системы (поскольку предполагает лишь некоторую корректировку существующих учебных планов, регламентирующих учебный процесс в рамках лицензированных направлений подготовки специалистов).

Выходными параметрами работы подсистемы «Регистрация и авторизация» являются сформированный набор требуемых компетенций и получение доступа обучаемыми к последующему учебному модулю или модулю разработки учебных курсов.

Работа учебного модуля строится на базе, предложенной в работах по педагогической технологии А. В. Исаева [3, 4]: весь учебный материал дифференцируется на элементарные учебные блоки, для которых строго описаны входные и выходные параметры. Построение индивидуализированной учебной траектории предполагает интегрирование на основе оперативного контроля уровня подготовки (успешности освоения учебного материала), отдельных учебных блоков в единую взаимосвязанную систему. При этом выделяются последовательные и параллельные цепочки взаимосвязанных учебных блоков. Аналогом подобного построения в современной структуре учебного

процесса являются отдельные дисциплины, изучаемые в одном семестре. Параллельные цепочки – учебный материал отдельных дисциплин – являются независимыми, либо взаимодополняющими. Последовательные – учебные дисциплины, которые предполагают освоение обучаемым материала других дисциплин и являются базовыми для изучения данной дисциплины. Подобные дисциплины, как правило, разнесены в учебном плане по различным семестрам.

Работа учебного модуля начинается с организации стартового контроля обучаемого с целью выявления реального уровня его подготовки. Принципиально, в предлагаемой концепции автоматизированной системы сопровождения учебного курса исключается «выбраковка» слушателей из-за их недостаточной начальной подготовки.

После оценки уровня подготовки студенту предоставляется схема его дальнейшего обучения (индивидуализированная учебная траектория): указываются те информационные блоки, которые он может осваивать на данном этапе своего обучения и та цепочка информационных блоков, изучение которых будет доступно при изучении того или иного из них. Успешность изучения материала блоков контролируется в подсистеме «Контроль знаний студента». Результаты проведенного контроля используются в данной системе не только для фиксации (оценки) уровня подготовки обучаемого, но и для корректировки его учебной траектории. Предлагаемое построение учебной траектории применимо как внутри одного учебного курса, так и для организации всего учебного процесса подготовки специалиста.

Для обеспечения вариативности выбора направления обучения предлагается добавить функцию выбора индивидуальных компетенций. Студент, помимо стандартного направления, сможет выбрать способности, которыми он хотел бы обладать в конце обучения. По завершении выбора формируется список компетенций, который состоит из стандартного набора и набора, выбранного студентом.

Для повышения эффективности процесса обучения предлагается добавление функции

корректировки учебной траектории на основе результатов контроля знаний. Контроль знаний проводится:

- после перехода к новой дисциплине (Стартовый контроль);
- изучения выбранного студентом учебного блока (Контроль знания учебного блока);
- изучения всей учебной траектории (Итоговая аттестация).

Основные выводы по статье

1. Обоснована актуальность разработки автоматизированной системы сопровождения образовательного процесса как возможности обеспечения индивидуализации образовательных траекторий обучаемых в условиях высокой мобильности рынка труда.

2. Рассмотрены основы педагогической технологий, на базе которых разработана предложенная концепция построения автоматизированной системы сопровождения учебного курса.

3. Представлена структура автоматизированной системы сопровождения учебного курса (верхний уровень) и структуры составляющих ее подсистем.

4. Описаны основные функции, входные и выходные параметры подсистем автоматизированной системы сопровождения учебного курса и их взаимодействие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кравец, А. Г.* Согласованное управление ресурсами рынка труда и процессом подготовки специалистов: модели и методы / А. Г. Кравец // Открытое образование. Приложение «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. IT + S&Ed'07». – 2007.
2. *Кравец, А. Г.* Теория и практика согласованного управления ресурсами рынка труда и процессом подготовки специалистов : моногр. ИПК ВГСХА «Нива» / А. Г. Кравец. – Волгоград, 2007. – 294 с.
3. *Исаев, А. В.* Инерционное развитие социального субъекта: теоретические основы / А. В. Исаев // Среднее профессиональное образование. – 2008. – № 12. – С. 72–75.
4. *Исаев, А. В.* Блочное построение учебного курса в рамках дистанционной формы образования / А. В. Исаев // Наука и образование = Известия Южного отделения Российской академии образования и Ростовского государственного педагогического университета. – 2006. – № 1. – С. 94–99.

УДК 621.02:658.3.012.2

А. В. Исаев, А. Г. Кравец, А. Ш. Шахлამджян

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: korneti@vstu.ru, cad@vstu.ru

Авторами проведен анализ ряда образовательных систем с целью выявления основных функций, характеризующих современную информационно-обучающую среду поддержки дистанционного образования.

Ключевые слова: информационная образовательная система, индивидуализированная образовательная траектория, система автоматизированной поддержки образовательных траекторий.

A. V. Isaev, A. G. Kravets, A. Sh. Shakhlamdzyan

DISTANCE EDUCATION: ANALIZ INFORMATION RESOURCES

Volgograd State Technical University

Author of this article are analyzed systems the automated support of the individualized educational trajectories in which the teaching material is considered as a set of the certain unified educational blocks is offered.

Key words: the Information educational system, the individualized educational trajectory, system of the automated support of the educational trajectories.

На рынке труда в последнее время все более заметной становится тенденция увеличения заинтересованности потенциальных работодателей в работниках, чьи профессиональные компетенции характеризуются не только уже наработанным уровнем профессиональных умений и навыков, но и их способностью к адаптации в новых условиях работы – освоение новых знаний и технологий, применение нового инструментария, восприятие изменившейся специфики (предметной области) своей трудовой деятельности. Как следствие, это наблюдается в последнее время увеличение заинтересованности как работника, так и работодателя в краткосрочных образовательных программах. В ходе освоения подобных программ работник (специалист) формирует (расширяет) новые профессиональные компетенции, а работодатель получает возможность привлекать уже зарекомендовавшего себя работника к выполнению иных для него профессиональных задач.

Говоря об организации образовательного процесса, следует остановиться на двух его основных формах: синхронной и асинхронной. Несмотря на явные преимущества синхронного обучения, в последнее время все большей популярностью пользуется асинхронное обучение – обучение, при котором обучаемый и обучающий разнесены во времени и территориально. Такая популярность объясняется, во-первых, широкими возможностями современных информационных технологий (это и интерактивные учебники, и различные системы виртуального тренинга, проведение web-конференций в том числе и в режимах on-line), а, во-вторых,

дефицитом временного ресурса обучаемого специалиста, задействованного в системе трудовых отношений.

В данной работе авторами приведен анализ информационных образовательных ресурсов, с целью выявления наиболее востребованных функциональных возможностей подобных систем и реализованного порядка взаимодействия «учитель – система – ученик». Результаты данного анализа легли в основу разработки концепции построения автоматизированной системы поддержки образовательных программ, реализуемых в системе дистанционного образования.

Были проанализированы следующие следующие системы дистанционного обучения (СДО): СДО WebTutor [1]; Системы дистанционного обучения и инструменты создания контента| ElearningForce [2]; СДО STELLUS [3]; СДО «Прометей» [4]; Системы дистанционного обучения Competentum. [5]; Система на сайт дистанционного обучения Broco [6]; ЛОИРО. СДО на платформе MOODLE [7].

В результате проведенного анализа функциональных возможностей рассмотренных систем дистанционного образования выделим следующие укрупненные группы:

- учебные: каждая из систем позволяет осуществлять в автоматическом режиме запись слушателя на тот или иной учебный курс; выполнять информационную поддержку учебного процесса (различные формы предоставления учебного материала); осуществлять текущий и итоговый контроль успешности обучения слушателя;

- пользовательские (интерфейс): организация взаимодействия обучаемого и обучающего (ведущего преподавателя); организация проведения занятий (индивидуальных, групповых); организация информационной поддержки;

- административные: организационное; документальное; возможно, правовое сопровождение учебного процесса;

- аппаратные: техническая поддержка дистанционных образовательных курсов.

Наряду с общими характеристиками, присущими большинству систем дистанционного образования, необходимо выделить некоторые, являющиеся специфическими. К таковым следует отнести:

- реализованный в системах STELLUS и Competentum. МАГИСТР 2008 модульный принцип построения учебного курса по принципу конструктора;

- возможность системы поддерживать большие группы пользователей. Так, разработчиками системы STELLUS подобная способность системы выделена как ее преимущественная особенность;

- унификация форматов представления учебного материала различных учебных курсов, что дает возможность осуществления экспорта/импорта их материалов в учебном процессе.

Обозначим основные положения предлагаемой авторами [8] концепции построения ав-

томатизированной системы поддержки учебного процесса:

- учебный материал любого из курсов (в традиционном его понимании как учебная дисциплина) представим набором учебных блоков;

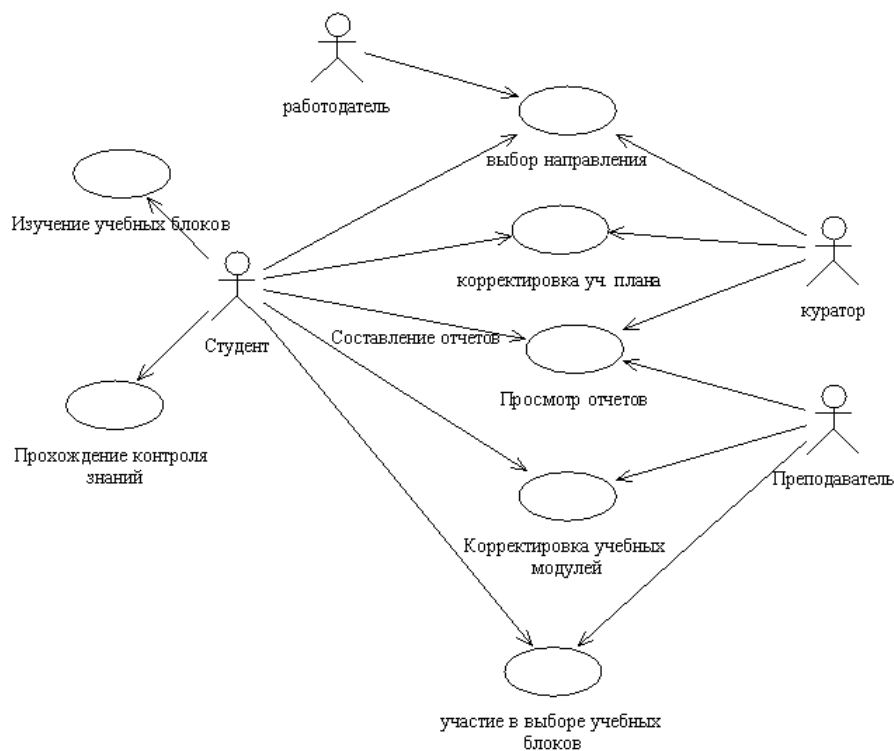
- учебный процесс является индивидуализированной учебной траекторией, ограниченной исходным набором профессиональных компетенций и набором итоговых, приобретенных обучаемыми в ходе учебного процесса профессиональных компетенций;

- построение учебного курса рассматривается как процесс подбора и согласования последовательности учебных блоков;

- подбор учебных блоков осуществляется в автоматизированном режиме с учетом желания обучающегося, его настоящего уровня подготовки и приоритетным управлением обучающего;

- возможность выбора учебного блока из числа доступных на данном уровне подготовки, осуществляемую студентом, означает потенциальную возможность реализации синхронных форм обучения: тренинги, деловые игры и т. д.

Основными участниками образовательного процесса (рассматриваемого как процесс подготовки специалиста) являются студент, преподаватель и работодатель (см. рисунок). Цель обучения – формируемый у обучаемого набор профессиональных компетенций. Очевидно, что для гарантированного трудоустройства студента



Структура взаимодействия участников учебного процесса

необходимо согласование этих компетенций с потребностями работодателя, возможностями учебного заведения и желаниями самого студента. В предлагаемой концепции СДО подобное согласование представлено следующей схемой: при получении доступа к электронному ресурсу студент может выбрать одно из имеющихся (стандартных) направлений подготовки. Каждое из направлений характеризуется набором результирующих профессиональных компетенций, формирование которых гарантируется учебным заведением, при соблюдении установленными правилами и требованиями. Однако данный набор профессиональных компетенций может быть трансформирован с учетом пожеланий работодателя. Вариативность результирующих профессиональных компетенций выпускника ограничена профессиональным качеством кадрового состава, приборной (материальной) базой учебного заведения, методическим и программным обеспечением и иными показателями, характеризующими качество учебного процесса.

После формирования списка компетенций разрабатывается индивидуализированная образовательная траектория студента. Далее эта траектория может быть скорректирована с учетом успешности освоения обучающимся материалов учебных курсов. Для реализации возможности корректировки учебной и образовательной траекторий в структуре СДО предусмотрены функциональные роли: преподаватель (корректировка учебной траектории внутри отдельного курса) и куратор (корректировка образовательной траектории – согласование учебных курсов).

Для обеспечения возможности реализации синхронных форм обучения в СДО должна быть предусмотрена возможность динамичного формирования групп студентов, характеризуемых близким уровнем их индивидуальной профессиональной подготовки и локальным перекрытием их образовательных траекторий – изучение на данном этапе своего обучения одного и того же учебного блока или модуля.

Основные выводы по статье

Основываясь на приведенных выше принципах предлагаемой авторами концепции построения автоматизированной системы дистанционного образования и результатах проведенного анализа ряда существующих систем, определим функции современной СДО, выде-

лим ее основные задачи и предъявляемые к ней требования.

С точки зрения прохождения обучения в СДО, должны быть реализованы следующие функции:

- возможность выбора компетенций;
- коллективная работа студентов;
- самостоятельное зачисление на курс (групповое зачисление на курс, уведомления по электронной почте о зачислении на курс, пользовательские группы с собственной средой курса, домашняя страница группы пользователей);
- прохождение курса, включая оффлайновую работу с материалом и онлайн-общение с преподавателем;
- оценка знаний студентов;
- тестирование.

С точки зрения построения курсов, СДО должна обладать следующим необходимым набором функций:

- создание новых курсов (из уже имеющихся наборов компетенций или с помощью создания новых);
- корректировка курса;
- создание компетенций;
- выставление оценок;
- управление процессом обучения – назначение курсов (индивидуальное и групповое, автоматическое по описанным в системе правилам, проведение конференций, практических лабораторных занятий по итогам тестирования или других форм оценки);
- контроль процесса обучения студента (определение в любой момент времени, на каком этапе обучения находится студент);
- возможность управления группами (создание групп, корректировка уже имеющихся групп).

Также в СДО необходимо администрирование системы и ряд реализованных функций, связанных со структурой. СДО должна иметь модульную структуру построения учебного процесса. Администрирование включает в себя ряд функций:

- осуществление различных уровней доступа;
- осуществление работы с базой данных электронных курсов (импорт, экспорт);
- организация интерфейса: создание инструментов совместной работы студентов и преподавателей (обмен файлами, форум, чат), организация домашних страниц групп пользователей, организация проведения конференций для групп пользователей;

- автоматическое формирование групп студентов, находящихся на равном уровне знаний;
- поддержка стандартов международного обмена материалов (SCORM 1.2, SCORM 2004);
- организация документооборота (регламентирующие (нормативные) документы, договора и личные дела обучающихся и преподавателей);
- конфиденциальность обмена и хранения информации;
- накопление информации о ходе выполнения учебного плана как обучающимся, так и преподавателем;
- контроль над сроками выполнения тех или иных действий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СДО WebTutor [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : http://www.websoft.ru/db/wb/root_id/webtutor_sdo/doc.html.

2. Системы дистанционного обучения (СДО) и инструменты создания контента ElearningForce [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://elearningforce.ru>.

3. СДО STELLUS [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.stel.ru/do/>.

4. СДО «Прометей» [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://prometeus.ru/index.html>.

5. Системы дистанционного обучения Competentum [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.physicon.ru/>.

6. Система на сайт дистанционного обучения Broco [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://elearning.brocompany.com/>.

7. ЛОИРО. СДО на платформе MOODLE [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://ict.loiro.ru/>.

8. Исаев, А. В. Блочное построение учебного курса в рамках дистанционной формы образования / А. В. Исаев // Наука и образование = Известия Южного отделения Российской академии образования и Ростовского государственного педагогического университета. – 2006. – № 1. – С. 94–99.

УДК 338

В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. С. Аль-Катабери

АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ DATA MINING*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vstu@gebeus.ru, qataberi@rambler.ru

Рассматривается проблема выявления закономерностей в развитии социально-экономических объектов и анализ данных паспортов муниципальных образований с использованием инструментов анализа данных (data mining). Решается задача анализа демографической ситуации и рождаемости и анализа бизнес-активности в поселениях.

Ключевые слова: муниципальные образования, социально-экономическое развитие, инвестиционная привлекательность, анализ данных, самоорганизующиеся карты, дата майнинг, кластерный анализ, нейронные сети.

V. A. Kamaev, M. V. Shcherbakov, A. S. Al-Qataberi

ANALYSIS OF VOLGOGRAD REGION MUNICIPAL FORMATIONS SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT USING DATA MINING

This article deals with the problem of discovery of the regularities in the socio-economic objects development and the socio-economic data analysis using data mining tools. The main task is solved in the project: analysis of demographic situation and business activities.

Key words: Municipal units, socio-economical development, investment prospects, data analysis, SOM, data mining, cluster analysis, neural networks.

Введение

В основе данного исследования лежит проблема выявления закономерностей социально-экономического развития в муниципальных образованиях Волгоградской области. В ходе исследования поселений ставились и решались следующие частные задачи:

1) определение закономерностей демографического развития: определение и подтверждение благоприятных и неблагоприятных факторов, влияющих на рождаемость;

2) выявление факторов, влияющих на инвестиционную привлекательность сельских поселений и для организации малых форм предпринимательства.

Исходные данные для исследования – паспорта муниципальных образований в формате

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант 10-07-97008-р_поволжье_а.

Excel с информацией о социально-экономических показателях за 2007–2008 гг (в разрезе одного года). Данные разделены на 29 тематических секций; общее количество параметров – 707. Имеются значительные пропуски в данных; по некоторым показателям они достигают 100 % (рынок труда и занятость и инвестиции). Следует отметить, что данные фиксировались по итогам календарного года, что затрудняло осуществление анализа динамики изменения ситуации. Принимается во внимание, что данные являются достоверными, и выводы анализа формируются исключительно на основании имеющейся информации.

Модели и методы кластеризации

Для анализа данных использовались системы: Viscovery SOMine, Deductor и iCDMS [1]. Viscovery SOMine реализует два алгоритма кластеризации, которые основаны на классическом иерархическом агломеративном методе Варда (Ward) [2]. Суть этого метода заключается в том, что перед началом кластеризации все объекты считаются отдельными кластерами, которые в ходе алгоритма объединяются. Вначале выбирается пара ближайших кластеров, которые объединяются в один. В результате, количество кластеров становится равным N . Процедура повторяется, пока все классы не объединятся. На любом этапе объединение можно прервать, получив нужное число кластеров. Для определения расстояния между произвольной парой кластеров (r) and (s) первым методом используется модифицированная формула Варда, так как самоорганизующиеся карты (SOM) могут содержать пустые кластеры:

$$d_{rs} := \begin{cases} 0 & \text{if } n_r = n_s = 0 \\ \frac{n_r n_s}{n_r + n_s} \cdot \|\bar{X}_r - \bar{X}_s\|^2, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (1)$$

где n_r, n_s – количество объектов, принадлежащих кластерам r, s .

Второй метод «SOM-Ward», который используется в Viscovery SOMine, – это модификация первого метода; применяется следующая формула для определения расстояния:

$$d'_{rs} := \begin{cases} d_{rs}, & \text{если кластеры являются соседними} \\ \infty, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Предполагается, что если два кластера не находятся друг с другом, то они не могут быть объединены.

Системы Deductor и iCDMS использовались для выявления зависимости с использованием нейронных сетей.

Применение интеллектуальных моделей для решения практических задач

Характеристика кластеров поселений. С использованием Viscovery SOMine, были выделены три кластера (сегмента) поселений.

Кластер S1 – самый многочисленный (64, 66 %), объединяющий в себя небольшие городские и сельские поселения.

Кластер S2 объединил в себе малые городские (с невысоким доходом) и крупные сельские поселения (30,17 %).

Кластер S3 – включает городские поселения (5,17 %). Для кластера S3 характерны: высокая численность населения, в том числе и трудоспособного; высокие среднемесячные доходы; высокий процент родившихся и умерших людей; высокий процент прибывших и уехавших из поселения. Отметим, что выполнялась предварительная обработка информации [3].

Анализ демографической ситуации в муниципальных образованиях Волгоградской области

Целью анализа является выявление наиболее благоприятных, с позиции естественной прироста (рождаемости), поселений и благоприятных и неблагоприятных факторов. В модель, в качестве независимых переменных, были включены переменные различных групп данных: информация о населении, предприятиях, медицинское обеспечение и в качестве управляющих воздействий – расходы местного бюджета на ЖКХ, образование, здравоохранение и социальную политику. Выходными переменными являлись показатели рождаемости и смертности, как абсолютные, так и относительные. Количество записей – 117, из них 15 % были отобраны на тестирование модели. Модели представляли собой полносвязанные нейронные сети. Оптимальная структура модели выбиралась в ходе проведения экспериментов. Кроме этого, была построена обратная модель, где в качестве входных воздействий выступали относительная рождаемость и смертность (разница между показателями рождаемости и смертности в 2008 и 2007 гг.), а выходного – абсолютные расходы бюджета на ЖКХ, образование, здравоохранение и социальное развитие. Точность обучения модели составила 88 % для обучающей выборки. Далее, с использованием модели «что –

если», моделировались различные ситуации. Задавая желаемые значения изменения рождаемости и смертности, модель рассчитывала, какие расходы из бюджета должны быть в этих случаях.

Результаты анализа можно свести к следующим выводам:

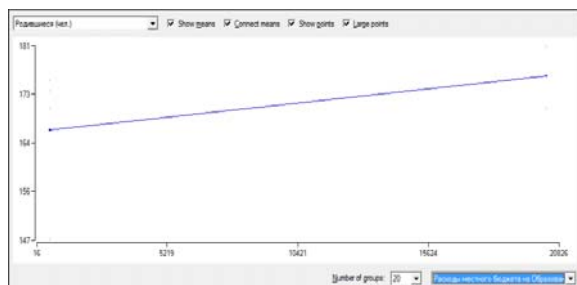
1) расходы бюджета на социальную политику не влияют в краткосрочной перспективе (два года) на рождаемость населения, а даже

указывают на обратную динамику;

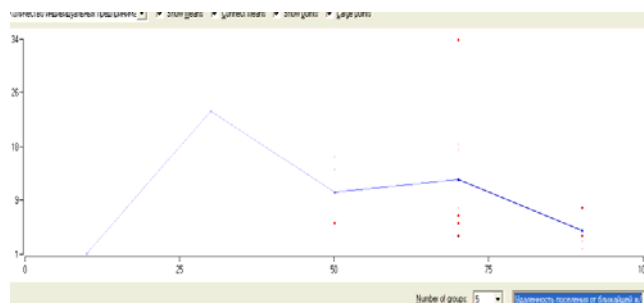
2) для значительного увеличения рождаемости (примерно в 3–4 раза) необходимы значительные затраты бюджета в сфере ЖКХ, здравоохранения и образования;

3) затраты на образование в большей степени влияют на рождаемость;

4) чем больше число заболеваний алкоголизмом, тем меньше рождаемости в поселении.



а



б

Зависимости исследуемых параметров:

а – рождаемости от расходов местного бюджета на образование; б – количества ИП от удаленности от ближайшей станции

Инвестиционная привлекательность сельских поселений для организации малых форм предпринимательства

В данном исследовании мы попытались решить несколько вопросов:

1) оценить, какие факторы влияют на количество малых форм предпринимательства и фермерских хозяйств;

2) сформулировать требования к сельскому поселению для успешного развития предпринимательства.

Для решения задачи мы применяли классический подход извлечения знаний из данных KDD. В качестве базовой модели использовалась модель кластеризации на основе карт Кохонена. Далее анализировались автоматически полученные кластеры. Выделялись муниципальные образования с наиболее благоприятным развитием малых форм предпринимательства (количество ИП, фермерских хозяйств) и определялись значения анализируемых параметров, присущих данным образованиям.

В результате, можно выделить следующие особенности данных поселений:

1) в этих поселениях население трудоспособного возраста и число населения – выше среднего для кластера показателя. Подтвердилась закономерность увеличения занятого населения с увеличением числа малых предприятий;

2) достаточно высокие потребительские расходы на душу населения;

3) большее количество магазинов и объектов общественного питания в данных поселениях (что существенно);

4) отличительной чертой являются повышенные расходы местного бюджета на национальную безопасность;

5) как показывает график зависимости, сильное влияние на количество ИП оказывает расстояние от поселения до ближайшей ж.-д. станции (поз. б рисунка).

Требования к сельскому поселению для успешного развития предпринимательства:

1) данное поселение не должно находиться далеко от ж.-д. станции;

2) в поселении должно быть зарегистрировано число трудоспособного населения, выше среднего показателя;

3) высокая защищенность населения с точки зрения безопасности (расходная часть бюджета на национальную безопасность).

Результаты и выводы

1. В рамках проведенного исследования социально-экономического развития муниципальных образований были решены частные вопросы, связанные с изучением закономерностей рождаемости и инвестиционной привлекательности муниципальных образований. Выделены кластеры поселений, в которых наблюдаются различные закономерности, влияющие на наблюдаемые параметры. Построены карты па-

раметров, дающие возможность оценки ситуации и сравнения с другими сельскими поселениями. Построены и проанализированы модели «что – если», позволяющие осуществлять поддержку принятия решений управленческих решений по управлению демографической ситуации.

2. В результате решения второй задачи были выявлены муниципальные образования, наиболее привлекательные с точки зрения бизнес-активности среди других муниципальных образований этого же кластера. Сформулированы требования к поселению для развития инвестиционной активности.

3. Для более тщательного и точного анализа влияния параметров (в том числе и управляющих воздействий) необходима более глубокая динамика данных (5–10 лет), более детальное фиксирование изменений параметров (раз в неделю) и включение в модели параметров «внешнего» окружения, т. е. социально-экономической среды в России и за рубежом. Для увеличения точности моделей необходимо,

в первую очередь, создавать и использовать системы мониторинга показателей социально-экономического развития муниципальных образований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков, М. В. ICDMS – программное обеспечение как сервис для решения задач идентификации на основе коннективистских систем / М. В. Щербаков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12(60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 88–91.

2. The Ward cluster algorithm of Viscosity SOMine [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://www.viscosity.net/download/public/The_SOM-Ward_cluster_algorithm.pdf

3. Щербаков, М. В. Формализация информации о социально-экономическом развитии муниципальных образований для решения задач управления / М. В. Щербаков, А. С. Аль-Катабери // XII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 22–24 июня 2009 г. : тез. докл. / РАН. – Самара, 2009. – С. 532–535.

УДК 004.8

А. И. Крыжановский, П. С. Пыхтин

ПРИМЕНЕНИЕ КООПЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: anatoly.kryzhanovsky@gmail.com, mainbeliar@gmail.com

В работе рассматривается применение различных подходов, основанных на выделении учебных групп, к организации кооперативного обучения в мультиагентных системах для повышения его эффективности в гетерогенных системах, а также применение средств Data Mining для реализации механизмов прогнозирования.

Ключевые слова: мультиагентные системы, искусственный интеллект, кооперативное обучение, Data Mining, прогнозирование.

A. I. Kryzhanovsky, P. S. Pyhtin

APPLYING OF COOPERATIVE LEARNING AND FORECASTING TECHNIQUES IN MULTI-AGENT SYSTEMS

Volgograd State Technical University

Applying of various approaches to organizing cooperative learning in heterogeneous multi-agent systems, which are based on splitting agents into learning groups, and using of Data Mining techniques for forecasting system states are considered.

Key words: multi-agent systems, artificial intelligence, cooperative learning, Data Mining, forecasting.

Одной из проблем, существующих в МАС, являются коллизии в результате борьбы за общие ресурсы. Уменьшить эти коллизии (что в итоге приведет к снижению временных затрат, связанных с борьбой за разделяемые ресурсы) можно за счет введения в МАС дополнительных модулей: кооперативного обучения и прогнозирования состояния агента.

Кооперативное обучение

Кооперативное обучение расширяет возможности индивидуального, позволяя воспользоваться преимуществами «командной» работы, такими как расширение наблюдаемой части окружения; повышение скорости обучения за счет одновременного сбора информации множеством агентов и т. д.

Очевидно, что возможность построения МАС на основе агентов различных типов с различными характеристиками позволяет придать ей более высокую гибкость. Однако при использовании кооперативного обучения все агенты стремятся повторить действия наиболее успешного агента, что приводит к потере их индивидуальности.

Что же произойдет, если в системе будут присутствовать несколько различных классов задач? Вознаграждение, получаемое агентами при решении задач таких задач, может отличаться вплоть до порядков. Также будет различаться и динамика обучения агентов. Да и сами решения для двух различных задач могут предполагать взаимоисключающие линии поведения. Таким образом, встает вопрос, рассматриваемый в данной работе: может ли дифференциация группы агентов, имеющих различные характеристики, в соответствии с их типами привести к повышению эффективности группы в целом, и если да, то какой из критериев следует для этого использовать?

В качестве критериев дифференциации в работе рассматриваются: непосредственно наблюдаемые характеристики агентов; эффективность решения типовых задач (набор которых задается проектировщиком); стратегии поведения агентов.

Для оценки описанных подходов нами была предложена следующая задача. Агенты помещены в среду, описываемую двумерной сеткой размера $N \times M$. Моделирование происходит дискретными промежутками, в течение которых агенты и «хищники» последовательно совершают свои действия. Если по окончании шага симуляции один или несколько агентов оказываются в некорректном состоянии, они откатываются к предыдущему состоянию и получают штраф.

Характеристики агентов описываются двумя параметрами: S – боеспособность (параметр, определяющий вероятность выживания агента в бою); C – грузоподъемность (параметр, определяющий количество пищи, переносимое агентом).

Входной вектор агента формируется из набора флагов, описывающих состояние среды и наблюдаемых объектов, а также флага загрузки агента. Наблюдаемые объекты среды описываются логическими флагами, соответствующими наличию объекта определенного типа по одному из четырех направлений относительно аген-

та. Ограничение по дальности наблюдения среды агентами отсутствует.

Также в окружающей агентов среде присутствуют такие объекты, как «гнездо», «источники пищи» и «хищники». Источники пищи и гнездо занимают по одной ячейке сетки и присутствуют в течение всей симуляции. При попадании агента в ячейку с пищей агент, не имеющий в данный момент загрузки, помечается как загруженный и получает вознаграждение, пропорциональное его грузоподъемности.

При попадании загруженного агента в ячейку с «гнездом» агент получает вознаграждение, пропорциональное его грузоподъемности. «Хищники» являются активными объектами среды. Они, как и прочие объекты занимают одну ячейку. Хищники генерируются в случайных ячейках сетки с заданной вероятностью каждый ход симуляции. После появления хищник начинает двигаться к ближайшему агенту. Если агент и хищник после очередного хода симуляции оказываются в одной ячейке, то с вероятностью, равной характеристике S агента, агент побеждает и получает вознаграждение $R_b(T_g)$, где T_g – количество ходов, прошедшее с момента генерации агентов. Функция R_b является монотонно убывающей неотрицательной функцией.

Описанная выше задача была реализована в виде программного средства, осуществляющего процесс моделирования.

Для описания состояний системы использовалась фреймовая модель. В качестве агентов в системе применялись рефлексивные агенты, основанные на полезности. В качестве алгоритма обучения был использован эвристический алгоритм:

Листинг алгоритма обучения агента

```
Learn(actionHistory, environmentHistory, reward)
{
    if(reward != 0)
    {
        for(i = 0; i < historyDepth; i++)
            QValues[stateHistory[i]][environmentHistory[i]] =
                QValues[stateHistory[i]][environmentHistory[i]]
                + reward * learningRate * discount(i);
    }
}
```

Здесь QValues – матрица, задающая вероятности совершения того или иного действия в определенной ситуации; actionHistory – стек с действиями, совершенными агентом; stateHis-

toyu – стек с состояниями среды, наблюдавшимися агентом; historyDepth – глубина просмотра истории; reward – вознаграждение/штраф, полученный агентом; discount (t) – коэффициент дисконтирования «воспоминаний», зависящий от времени.

В качестве показателей эффективности были выбраны следующие параметры: среднее вознаграждение, полученное агентом за одну симуляцию; среднее суммарное вознаграждение, получаемое системой, за одну симуляцию; среднее количество потерянных агентов за одну симуляцию.

На данный момент реализованы две серии экспериментов. Первая серия экспериментов позволяет ответить на вопрос «Может ли дифференциация группы агентов, имеющих различные характеристики, в соответствии с их типами привести к повышению эффективности группы в целом?». В этой серии экспериментов участвовало два класса агентов – «сборщики» и «солдаты».

Агенты-сборщики имели более высокую грузоподъемность в сравнении с агентами-солдатами, однако при столкновении с хищни-

ками всегда погибали. Таким образом, этот класс агентов выработал стратегию транспортировки пищи от источника к гнезду и уклонения от хищников. Агенты-солдаты имели минимальную грузоподъемность, но гарантированно побеждали при столкновении с хищниками. В результате этот класс агентов принял на себя функции по защите агентов-сборщиков.

Согласно результатам моделирования, разделение на группы не оказало существенного влияния на функционирование агентов-сборщиков, однако существенно повысило эффективность агентов-солдат. Причиной подобных результатов может служить то, что среднее вознаграждение, получаемое агентами-сборщиками, оказывается выше аналогичного для агентов-солдат. Таким образом, агенты-сборщики, как более успешные, навязывают свою стратегию солдатам, что приводит к еще большему снижению их эффективности. Результаты моделирования представлены на рис. 1. По оси X указано число симуляций обучения; по оси Y – среднее вознаграждение, полученное агентами по результатам сравнительного теста.

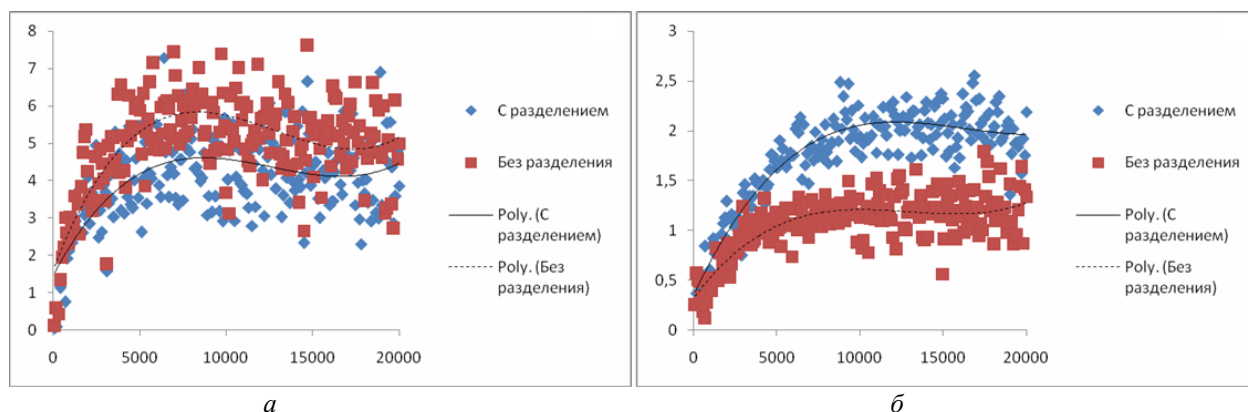


Рис. 1. Динамика показателей эффективности от количества обучающих симуляций с разделением и без на учебные группы:

a – для агентов-сборщиков; b – для агентов-солдат

Таким образом, моделирование дает положительный ответ на поставленный вопрос – действительно, дифференциация множества агентов на учебные группы при наличии позволяет повысить эффективность системы. Вторая серия экспериментов ставила целью ответить на вопрос «Возможно ли разделение множество агентов МАС на учебные группы без участия человека?». Для данной серии экспериментов была реализована кластеризация агентов по их характеристикам (грузоподъемности и боеспособности). Характеристики агентов были заданы случайным образом с учетом корреляции

между значениями характеристик. Сравнительные результаты для различного числа учебных групп приведены на рис. 2. Агент A имеет характеристики, наиболее близкие к классу сборщиков; агент C наиболее близок к классу агента-солдата. Агент B имеет промежуточные характеристики.

В будущем планируются дальнейшие исследования с различными методиками обмена опытом внутри групп (в частности, реализация обучения на основе обмена эпизодами), а также реализация дифференциации агентов на основе эффективности решения типовых задач.

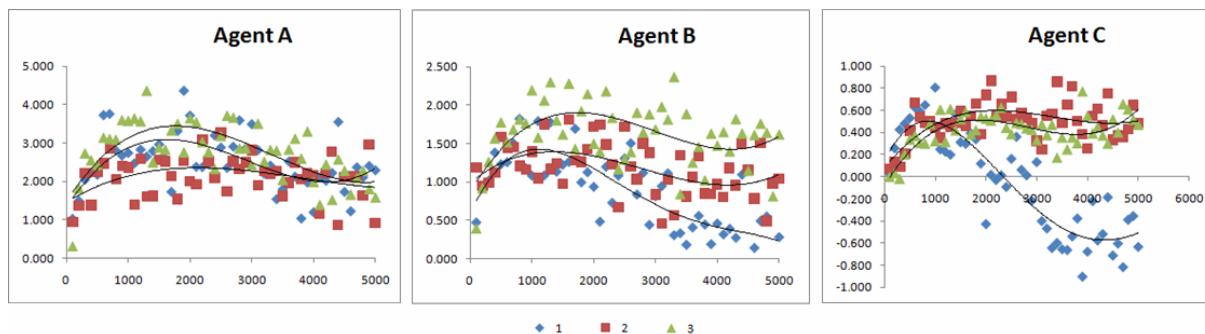


Рис. 2. Сравнительные динамика показателей эффективности для различного числа учебных групп

Прогнозирование

На сегодняшний день принято использовать классические методы прогнозирования, адаптируя их под конкретную задачу. Используемые методы можно разделить на следующие группы: 1) математическая статистика; 2) data mining; 3) методы, основанные на знаниях.

Однако эти методы не учитывают особенности МАС, среди которых наиболее значимыми (при рассмотрении задачи прогнозирования) являются следующие:

- агент не знает состояния всей системы целиком;
- между агентами существуют каналы связи.

Другой проблемой, возникающей при использовании задачи прогнозирования, является выбор модели представления знаний. В своем исследовании мы предпочли фреймовое представление знаний агентов, как минимально простое и достаточное на первом этапе. Для проверки работы блока прогнозирования была выбрана следующая задача. Рассматривается мульти-агентная система, представляющая дорожную сеть. В качестве агентов выступают водители (личного и маршрутного транспорта). Каждый агент описывается следующим образом:

$$A = \langle P, S, G, L \rangle,$$

где P – маршрут (набор точек, которые должен посетить агент; в каждой точке он может провести некоторое время); S – скорость; G – группа. Внутри каждой группы агенты обмениваются знаниями в виде:

$$K = \langle s, l \rangle,$$

где S – «загруженность» участков дорог на момент прохождения агентом; l – положение агента и текущая точка маршрута следования; L – текущее положение (сегмент дороги, на котором находится агент, а также информация об окружении).

В качестве показателя эффективности используется величина, обратная времени дости-

жения агентом своей цели (т. е. прохождение всех точек маршрута). Агенты системы функционируют в двух режимах:

- нормальный режим – в этом режиме агенты руководствуются алгоритмами поиска кратчайшего пути между двумя точками на графе (в виде которого представлена дорожная сеть);
- режим коллизий – при борьбе за занятый ресурс (в качестве которого в данном случае выступает участок дороги) агент применяет алгоритм прогнозирования, для поиска альтернативного ресурса.

Для оценки эффекта применения подсистемы прогнозирования в системе присутствуют агенты двух типов – с фиксированным маршрутом и водитель с «гибким» маршрутом. В результате моделирование описанной системы были получены следующие результаты:

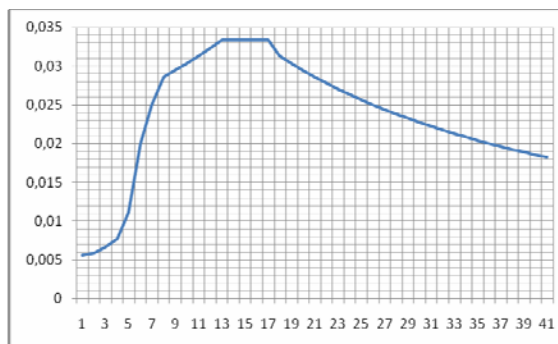


Рис. 3. Зависимость показателя эффективности работы системы от глубины прогнозирования

В дальнейшем планируется смена выбранной модели представления знаний на онтологию, для расширения возможности описания знаний агентов и состояний системы [Волков, В. В. Организация распределенной обработки данных с применением принципов децентрализованного управления коллективом мобильных роботов / В. В. Волков, Ли. Джилин, И. А. Каляев // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 554–560].

УДК 378.16:004

А. О. Матлин, С. А. Фоменков

ИНТЕРАКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alexander.matline@gmail.com, saf@vstu.ru

Рассматриваются области применения интерактивных средств обучения в образовательном процессе и описывается концепция информационной системы создания интерактивных средств обучения.

Ключевые слова: виртуальные тренажеры, информационная система, интерактивные средства обучения.

A. O. Matlin, S. A. Fomenkov

INTERACTIVE LEARNING TOOLS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Volgograd State Technical University

This article considers the application of interactive learning tools in the educational process and describes the key provisions of the information system of creating interactive learning tools.

Key words: virtual simulators, information system, interactive learning tools.

Отечественное образование всегда отличалось фундаментальной теоретической подготовкой учащихся. Но для того, чтобы студент смог успешно влиться в трудовой коллектив и решать стоящие перед промышленностью и бизнесом задачи после окончания учебного заведения, ему необходимо уже во время обучения приобрести практические навыки работы. Однако существует ряд причин, снижающих эффективность обучения и приобретения студентами практических навыков в рамках учебного процесса.

Во-первых, у многих учебных заведений нет возможности обеспечить студентов материалом, инструментом и другими средствами, с помощью которых они приобрели бы практические навыки, усвоив при этом ранее полученные теоретические знания.

Во-вторых, скоротечность протекания исследуемых процессов может быть столь велика, что студент не успеет зафиксировать и осмыслить произошедшие изменения.

Выходом из сложившейся ситуации может являться использование интерактивных средств обучения как дополнения традиционных теоретических и практических занятий.

Интерактивные средства обучения представляют собой совокупность виртуальных работ, каждая из которых включает в себя:

1) справочный материал – текстовая информация, поясняющая суть выполняемой лабораторной работы и позволяющая студенту получить теоретические знания;

2) видеоизображения, демонстрирующие порядок проведения лабораторной работы;

3) 2D/3D-модель для самостоятельного выполнения студентом интерактивной лабораторной работы.

Преимуществами использования интерактивных средств обучения является автоматизированная проверка действий студента. В ходе выполнения студентом лабораторной работы автоматизированная система контролирует действия учащегося без участия преподавателя, проверяя правильность выполнения лабораторной работы, использование текстовых и графических подсказок. После выполнения студентом интерактивной виртуальной работы вся информация о результатах доступна преподавателю, который может в режиме реального времени контролировать успеваемость академической группы.

Студент имеет возможность получить доступ к выполнению виртуальной лабораторной работы через Интернет, используя при этом только веб-браузер и не устанавливая дополнительное программное обеспечение. Эта возможность позволяет студенту выполнять запланированные в учебном плане лабораторные работы независимо от того, где он территориально находится. Конечно, интерактивные средства обучения не могут полностью заменить проведение практических занятий с реальными объектами, но они способны предоставить студенту больше возможностей вспомнить порядок выполняемых действий, уточнить ожидаемые визуальные образы (и т. п.), что, в конечном итоге, подготовит его к выполнению реальной практической работы.

Нами уже реализованы и успешно внедрены виртуальные тренажеры для медицинских [1] и

машиностроительных [2] специальностей. В частности, реализованы интерактивные тренажеры по предметам: «Технологическая оснастка», «Измерительные приборы» и «Хирургические доступы».

Важным фактором востребованности виртуальных тренажеров является способ их создания. Для того, чтобы интерактивные средства обучения широко использовались в массовом порядке, необходимо предоставить пользователю (преподавателю), не имеющему навыков программирования, соответствующее средство (среду) создания такого рода тренажеров.

Ключевыми требованиями к системе построения интерактивных средств обучения являются:

1) простота использования – пользователь не должен иметь специальных навыков программирования для создания виртуального тренажера. Пользователю системы достаточно быть специалистом в предметной области, для которой создаются тренажеры;

2) универсальность – система должна предоставлять возможность создания интерактивных средств обучения для различных предметных областей.

Для построения информационной системы (далее – ИС) создания интерактивных средств обучения необходимы следующие компоненты, (см. рисунок):

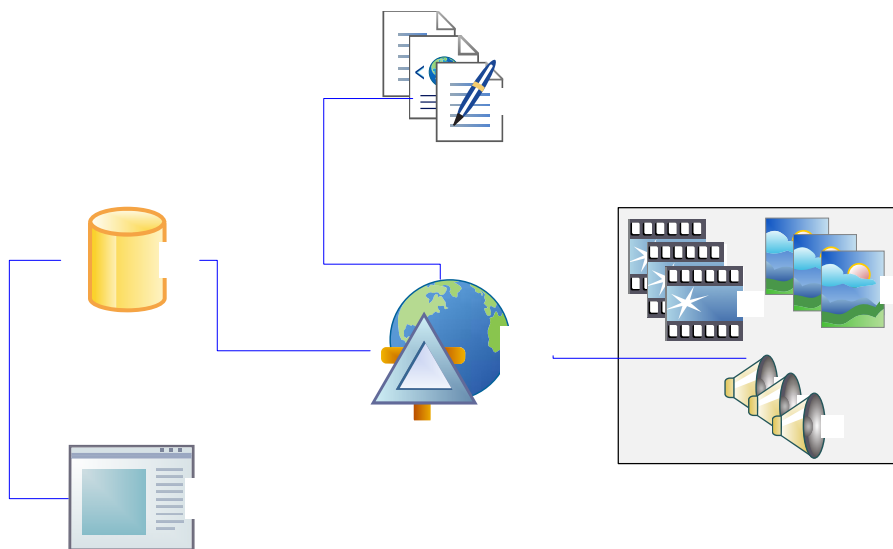
1) библиотеки мультимедийных материалов, на базе которых строятся интерфейс и компоненты интерактивного средства обучения;

2) правила построения интерактивных средств обучения, которые определяют параметры взаимодействия мультимедийных компонентов ИС и правила проверки действий пользователя;

3) база данных интерактивных средств обучения, содержащая множество уже построенных интерактивных средств обучения, которые могут быть использованы в ИС воспроизведения интерактивных средств обучения;

4) ИС воспроизведения интерактивных средств обучения, отображающая созданные ранее интерактивные средства обучения и управляющая взаимодействием ИС с пользователем.

На данный момент в рамках диссертационной работы разработана концепция ИС создания интерактивных средств обучения, проведено проектирование и разработаны экранные формы ИС.



Основные компоненты ИС

В качестве архитектуры ИС выбрана клиент-серверная архитектура, позволяющая пользователям работать с системой через сеть Интернет из веб-браузера, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы.

В качестве перспектив развития данной работы мы видим программную реализацию предложенных в ней подходов и методов для создания в достаточной степени удобного инструмента построения виртуальных тренажеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интерактивные виртуальные медицинские тренажеры / А. О. Матлин [и др.] // Сб. материалов тр. VI Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». – М., 2009. – С. 122–123.
2. Матлин, А. О. Автоматизированная система «Интерактивные виртуальные тренажеры» / А. О. Матлин, Д. С. Осинцев, С. А. Фоменков // Сб. материалов тр. V Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых учен. «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». – М., 2008. – С. 75–76.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 519.68+519.876

А. С. Горобцов, Д. А. Стуров, К. Ш. Нгуен

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ СЕТИ GRID-СИСТЕМЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: gorobtsov@avtlg.ru, scomvlg@gmail.com

Локальная сеть, построенная на управляемых коммутаторах, дает возможность применения настроек коммутаторов для повышения надежности, управления ресурсами и приоритезацией вычислительного трафика в сети. Для этого реализована подсистема конфигурации и мониторинга управляемого коммутационного оборудования и вычислительных узлов, которая предоставляет текущую и ретроспективную информацию о состоянии отслеживаемых, передаваемых данных в различных срезам и различными методами, позволяя выполнять многомерный анализ информации в нужном аналитическом разрезе, создавая отчеты.

Ключевые слова: грид, распределенные вычисления, архитектура ПО мониторинга, конфигурирование управляемых коммутаторов.

A. S. Gorobtsov, D. A. Sturov, Q. S. Nguyen

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF CONSTRUCTION SYSTEM FOR MONITORING OF THE GRID-NETWORK SYSTEM

Volgograd State Technical University

Local area network, built on managed switches, enables the use of configuration switches to improve reliability, resource management and prioritization of computer traffic on the network to improve the calculation. This is implemented subsystem configuration and monitoring of controlled switching equipment and computing nodes, which provides current and retrospective information on the status of monitored transmitted data in different sections and different methods, allowing you to perform multidimensional analysis of information in the required analytical section, creating reports.

Key words: grid, distributed computing, software architecture for monitoring, configuring managed switches.

Введение

Существует большое количество задач в различных областях науки, требующих выполнения сложных вычислительных операций. Использование суперкомпьютера для решения таких задач достаточно дорого и поэтому интересна идея организации Grid-сети на современном коммутационном оборудовании с использованием всего потенциала управляемых коммутаторов. Но тогда возникает необходимость всестороннего мониторинга работоспособности вычислительной сети.

Grid-системы представляют собой комплекс, обеспечивающий обработку вычислительных задач; хранение, вывод результатов вычислений. В большинстве случаев возникает необходимость глубокого анализа промежуточных данных для последующего функциони-

рования системы. Основная роль в процессе организации Grid-вычислений принадлежит подсистеме конфигурирования современного коммутационного оборудования вычислительной сети и мониторинга вычислительных узлов и транспортных механизмов – управляемых коммутаторов.

Понятие системы мониторинга в рамках Grid-системы

Система мониторинга Grid-системы представляет текущую и ретроспективную информацию о состоянии отслеживаемых, передаваемых вычислительных данных в различных срезам и различными методами, позволяя выполнять многомерный анализ в нужном аналитическом разрезе, создавать отчеты для последующей корректировки настроек коммутаторов

с целью получения более скоростных и надежных вычислительных характеристик.

Система мониторинга является масштабируемым решением для постоянного контроля функционирования как всей Grid-системы, так и отдельных ее узлов.

Для успешного применения вычислительной Grid-системы необходимо располагать моделями и методами, позволяющими на основе данных измерений оценивать качество функционирования Grid-системы и отдельных ее составляющих (коммутаторы, вычислительные узлы), прогнозировать характеристики работы технических и программных средств.

Современная вычислительная Grid-система представляет собой сложную гетерогенную сеть, включающую в себя управляемое коммуникационное оборудование, сервера, штатные вычислительные узлы разных производителей, а также программное обеспечение. Доступность, достоверность, скорость обработки и предоставления информации в значительной мере определяет результат работы.

Архитектура системы мониторинга включает в себя ряд компонентов:

- подсистема сбора анализа первичной информации;
- централизованное хранение данных;
- подсистема формирования отчетности;
- центры системного мониторинга и оперативного управления;
- системы и средства сбора, передачи данных и оповещения [3].

Целью создания системы мониторинга является:

- обработка, синхронизация, способность агрегировать большие массивы информации с целью учета, контроля, анализа работы;
- определение точки возникновения критических ситуаций с целью выработки и приема

решений для осуществления контроля их исполнения;

- способность аккумулировать в хранилищах данных информацию, отражающую жизненный цикл вычислительных процессов;
- обеспечение высокой скорости обработки запросов и предоставление необходимых информационных ресурсов и сервисов;
- обеспечение службы диагностики и своевременного оповещения для предупреждения аварийных ситуаций;
- обеспечение службы мониторинга, выполняющей сбор, обработку, хранение и отображение полной информации о состоянии всех компонентов Grid-системы.

Под *системами мониторинга* обычно понимается администрирование операционных систем, сетей, серверов, рабочих станций. В идеальной ситуации все подсистемы (администраторы) должны были бы использовать единый набор инструментов управления с общим интерфейсом. Это позволило бы анализировать работу сетей и предвидеть проблемы, чтобы заблаговременно предотвращать их [1].

Логическая структура системы мониторинга (рис. 1) включает в себя центральный сервер, АРМ оператора мониторинга и системы отображения результатов мониторинга. В структуре серверной части системы мониторинга можно выделить основные элементы:

- сервер баз данных – хранение данных, по которым проводится мониторинг;
- сервер генерации результатов мониторинга – генерация таблиц и элементов деловой графики для отображения результатов мониторинга;
- сервер обработки данных – обработка получаемых данных;
- интеллектуальная система обработки и принятия решений.

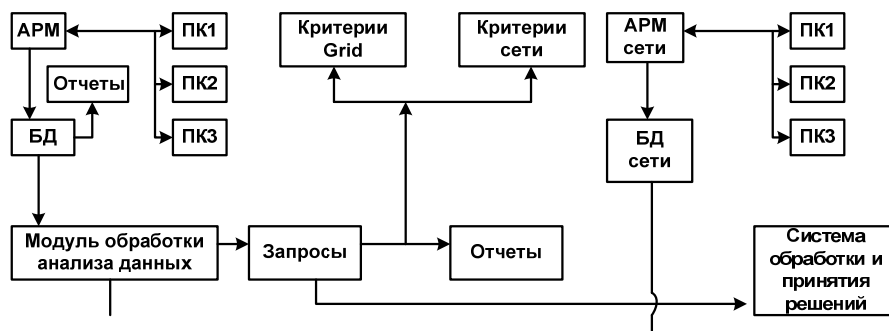


Рис. 1. Логическая схема мониторинга Grid-системы

Взаимодействие модульного центра (рис. 2) показывает поэтапное взаимодействие систе-

мы, формируя цикл и взаимодействие отдельных блоков.

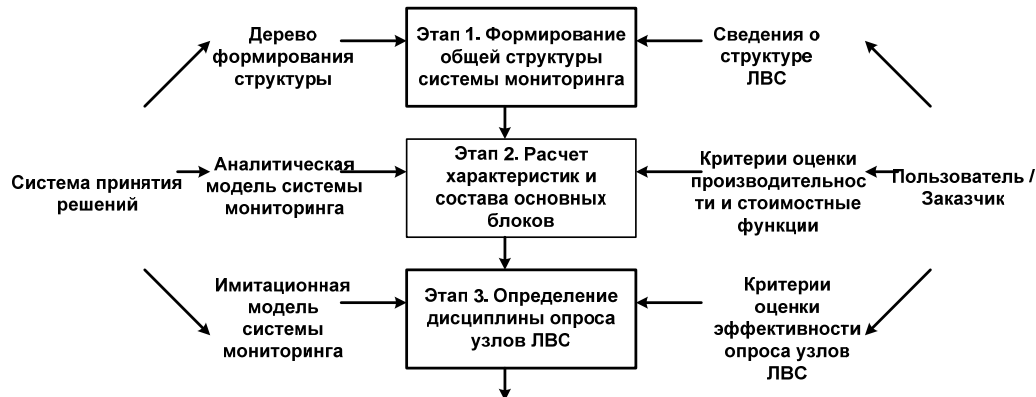


Рис. 2. Этапы формирования структуры системы мониторинга Grid

Для решения этих задач требуется интегрированная информационная система мониторинга сети, реализованная на основе международных стандартов и способная работать в сетях со смешанным парком оборудования.

Такая система помогла бы контролировать и организовывать работу сетей различного масштаба, с различным набором оборудования от различных производителей. Архитектура такого решения должна быть масштабируемой: достаточно недорогой для небольших систем и в то же время достаточно гибкой для решения задач, которые будут возникать по мере дальнейшего развития [2].

Таким образом, неотъемлемой задачей является поиск более эффективных методов выявления недопустимых событий (аномалий) в работе сети и разработки системы непрерывного мониторинга ее состояния. Основное требование к этим методам – возможность обнаружения произвольных типов аномалий (в т. ч. новых), а также воздействий, распределенных во времени.

Необходимы автоматические и непрерывно действующие средства контроля состояния сети и своевременного оповещения о возможных проблемах. Для их обнаружения в настоящий момент используется большой спектр специализированных систем: средства систем управления, анализаторы сетевых протоколов, системы нагрузочного тестирования, системы сетевого мониторинга [1]. Однако применение этих средств и систем носит лишь отрывочный, эпизодический характер, так как не существует единой теоретической основы и практической платформы разработки и применения ком-

плексного средства интеллектуального, динамического мониторинга и управления сетью, поддержания ее работоспособности и эффективности с учетом изменяющихся условий внешней среды [1].

Как следствие, корпоративная сеть обеспечивает выполнение всех информационных функций, которые составляют основу нормальной работы современного предприятия. Поэтому требования, предъявляемые к надежности функционирования сети, целостности корпоративных данных, имеют распределенный характер.

Методика построения информационной системы мониторинга сети

Система мониторинга сети должна интегрировать в себе управление всеми компонентами структуры, начиная от сетевых устройств, соединений между ними, рабочих станций, серверов, библиотек хранения информации, баз данных, бизнес-приложений, систем управления ресурсами, также их мониторинг, диагностику и частично автоматизированный контур для принятия и реализации обратной связи по устранению выявленных проблем [2].

При решении задач, связанных с диагностикой и защитой сетевых ресурсов, центральным вопросом является оперативное обнаружение состояний сети, приводящих к потере полной или частичной ее работоспособности, уничтожению, искажению или утечке информации, являющихся следствием отказов, сбоев случайного характера или результатом получения злоумышленником несанкционированного доступа к сетевым ресурсам, проникновения сетевых

червей, вирусов и других угроз информационной безопасности.

В настоящий момент исследования в этой области ведутся как крупными зарубежными коммерческими компаниями (Cisco, ZyXEL и др.), так и университетскими научно-исследовательскими центрами (Columbia University, Florida Institute of Technology и др.) [2].

Общий подход, лежащий в основе этих исследований, заключается в поиске методов анализа, позволяющих выявлять аномальные состояния информационных ресурсов в виде отклонений от обычного состояния. Эти отклонения могут являться результатами сбоев в работе аппаратного и программного обеспечения, а также следствиями сетевых атак хакеров. Такой подход теоретически позволит обнаруживать как известные, так и новые типы проблем. Особую важность на текущий момент представляет проблема обнаружения аномальных состояний

в работе сети, имеющих распределенный во времени характер.

Для оптимизации производительности и пропускной способности локальной вычислительной сети используются методы и средства измерения (анализа) и моделирования. Особенности трафика локальной вычислительной сети делают моделирование сетей достаточно трудным, что определяется природой распределенной обработки [4].

Построение целостного решения на основе использующихся систем контроля и управления оборудованием (различных типов и/или различных производителей) требует значительных финансовых и временных усилий: многие элементы инфраструктуры технического обеспечения находятся вне зоны автоматического контроля и не могут быть туда включены с помощью имеющихся средств (рис. 3).

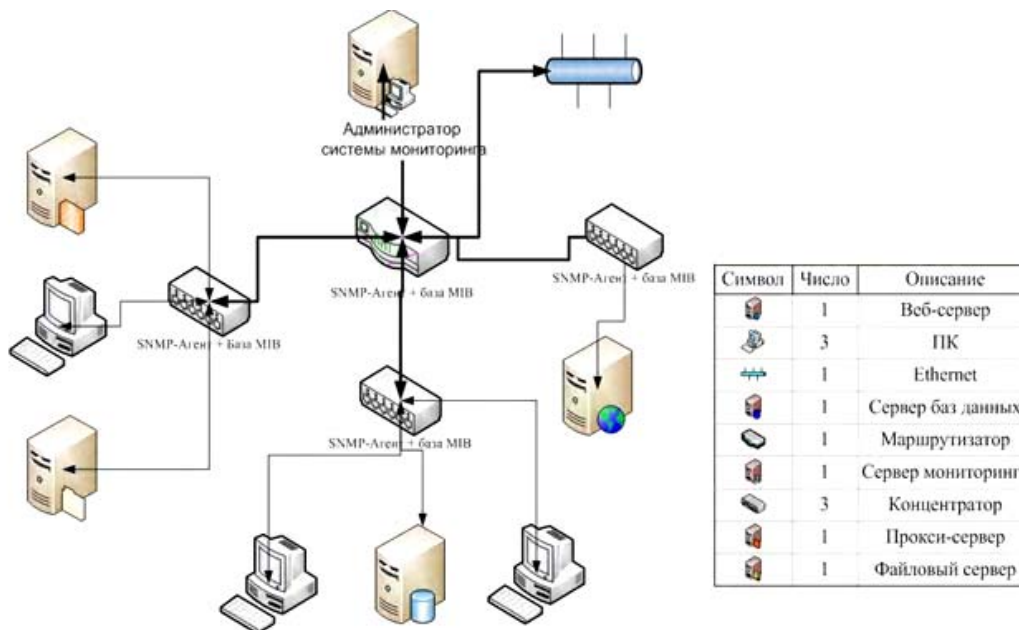


Рис. 3. Модель информационной системы мониторинга сети

Неотъемлемой частью системы является использование SNMP агентов, передающих, в свою очередь, постоянный поток данных для осуществления анализа и мониторинга за отдельными объектами [4].

Разработка распределенной информационной системы мониторинга сети, построенной с учетом согласованных системных принципов и международных стандартов в области современных и информационных технологий, позволит:

- объединить имеющиеся разрозненные центры мониторинга;

- консолидировать информацию, поступающую из различных точек контроля;
- предоставить руководству удобный и понятный инструмент для анализа данных и взвешенного принятия решений.

Опыт и практика создания систем мониторинга оборудования и анализ известных международных стандартов свидетельствуют о необходимости деления задач мониторинга оборудования по функциональному принципу на уровни:

- контроль за состоянием элементов;
- контроль за состоянием сети;
- контроль и управление обслуживанием.

В ходе проектирования и реализации архитектуры информационной системы мониторинга сети могут быть приняты во внимание следующие положения:

- система мониторинга должна иметь иерархический характер, обеспечивая быстрое и надежное взаимодействие разных уровней, обратную связь и достаточно высокий уровень автономности каждого компонента системы;
- реализация программных и аппаратных модулей в системе мониторинга должна учитывать общие рекомендации, международные и

отраслевые стандарты на построение систем мониторинга;

- система мониторинга должна обеспечивать открытые интерфейсы для последующей интеграции с программами сторонних производителей;
- система мониторинга должна обеспечивать сокращение расходов на местах за счет использования и быстро настраиваемых решений по мониторингу оборудования [3].

Проектирование систем позволит формировать распределенные системы для осуществления мониторинга (рис. 4).

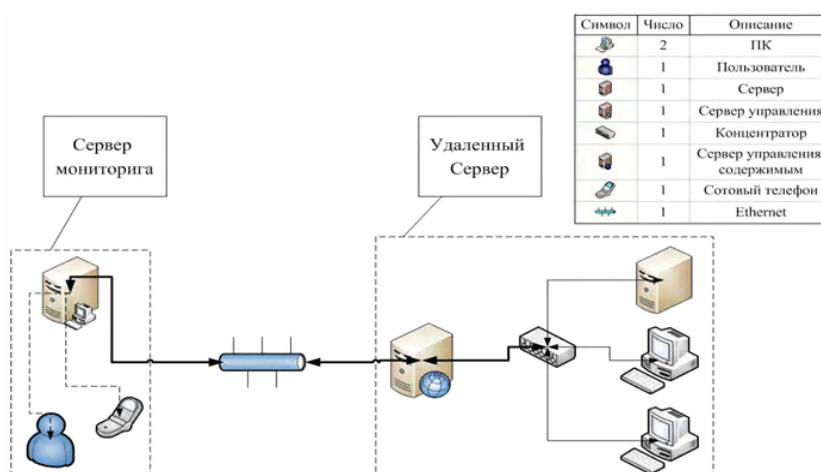


Рис. 4. Модель удаленной информационной системы мониторинга сети

Заключение

Эффективность функционирования системы мониторинга зависит от многих факторов и тщательной проработки методики взаимодействия модулей – в частности, в правильном построении системы мониторинга сети, которая гарантирует:

- обработку, синхронизацию, способность агрегировать большие массивы информации с целью учета, контроля, анализа работы системы;
- определение критических ситуаций, с целью выработки и приема оптимальных управленческих решений для осуществления контроля их исполнения для мест удаленных от центра анализа и принятия решений;
- обеспечение службы диагностики и своевременного оповещения для предупреждения аварийных ситуаций и повышения отказоустойчивости системы;
- обеспечение службы мониторинга, выполняющей сбор, обработку, хранение и отображение полной информации о состоянии всех компонентов.

Построение системы позволит обеспечить эффективность функционирования системы мониторинга сети, которое способно как своевременно оповещать технических специалистов об обнаруженной проблеме, так и накапливать статистические данные о стабильности и других параметрах работы серверов, сервисов и служб, доступные для подробного анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симанков, В. С. Автоматизация системных исследований : моногр. / В. С. Симанков; Куб. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 2002. – 376 с.
2. Бройдо, В. М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В. М. Бройдо. – СПб.: Питер, 2004. – 702 с.
3. Вишевский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишевский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
4. Уилсон, Т. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Т. Уилсон. – М.: Лори, 2002. – 364 с.
5. Танненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Танненбаум, М. ванн Стен. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с.
6. Олифер, В. Г. Компьютерные сети : учеб. для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 864 с.

УДК 004.021.42

*А. С. Горобцов, Д. А. Стуров, О. В. Шаповалов, Е. А. Шамов***АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA
ДЛЯ ЗАДАЧ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ****Волгоградский государственный технический университет**

Настоящая работа представляет собой анализ применения технологии Nvidia CUDA при моделировании трехмерной модели движения плоского электронного потока в скрещенных статических электрическом и магнитном полях путем сравнения исследуемой технологии NVIDIA CUDA с технологиями распараллеливания вычислений OpenMP, MPI, комбинацией OpenMP+MPI. Эффективность полученных результатов подтверждена содержанием и выводами работы.

Ключевые слова: быстродействие, GPU, технология CUDA, физическая электроника, математическое моделирование, электронный поток, скрещенные поля, MPI, OpenMP.

*A. S. Gorobtsov, D. A. Sturov, O. V. Shapovalov, E. A. Shamov***THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF TECHNOLOGY NVIDIA CUDA FOR
PROBLEMS OF PHYSICAL ELECTRONICS****Volgograd State Technical University**

The present work represents the analysis of application of technology Nvidia CUDA at modelling of three-dimensional model of movement of a flat electronic stream in the crossed static electric and magnetic fields by comparison of investigated technology NVIDIA CUDA with technologies of parallel calculations OpenMP, MPI, combined OpenMP+MPI. Efficiency of the received results is confirmed by the maintenance and work conclusions.

Key words: GPU, technology CUDA, physical electronics, mathematical modelling, the electronic stream, the crossed fields, MPI, OpenMP.

Специальные устройства, позволяющие превратить настольный компьютер во что-то, куда более быстродействующее, чем он обычно является, известны еще с середины 80-х годов XX века. Такая плата от фирмы INMOS называлась транспьютером [1, 2, 3]. В дальнейшем они стали отставать от роста быстродействия обычных процессоров, не сумев поддержать достойную производительность. Были и другие устройства подобного рода; часто их сфера применения узкая и ограничена единственной профессиональной программой.

В последнее время наметилась тенденция к выпуску на массовый рынок устройств (видеокарт) производительностью в сотни GFlops [4]. Однако быстродействие достигается не на всех задачах и имеется ряд ограничений; тем не менее, сфера применения практически востребованная [5].

Сейчас идею использования графического процессора видеокарты для общих вычислений, получившую название GPGPU (General-Purpose computation on GPUs – вычисления общего назначения на графических процессорах) эксплуатируют несколько технологий:

AMD FireStream – для графических ускорителей ATI;

Nvidia CUDA – технология GPGPU, позволяющая реализовывать на языке программиро-

вания «Си» алгоритмы, выполнимые на графических процессорах ускорителей GeForce восьмого поколения и старше, что дает возможность разработчикам создавать высокопроизводительные решения в кратчайшие сроки.

Технология CUDA (compute unified device architecture – вычисления на унифицированной аппаратной архитектуре) позволяет приложениям, активно работающим с данными, получать доступ к мощностям обеспечения вычислений на графических процессорах Nvidia.

Многоядерные процессоры могут исполнять лишь несколько потоков одновременно, а графические процессоры Nvidia с технологией CUDA обрабатывают сразу тысячи потоков с высоким уровнем информационной нагрузки для решения одной задачи, что позволяет приложениям работать с большей эффективностью. Графические процессоры Nvidia с технологией CUDA имеют параллельные кэши данных, которых сохраняют часто используемую информацию прямо в GPU. Хранение информации в GPU позволяет исполнять потоки, использующие общую информацию, во много раз быстрее, чем если бы она запрашивалась из системной памяти. Эта прогрессивная технология дает возможность пользователям решать сложные вычислительные задачи в режиме реального времени [6].

Комплект разработки программного обеспечения CUDA SDK – это законченное решение для разработчиков, использующих возможности графических процессоров для решения задач общего назначения. SDK включает стандартные библиотеки FFT и BLAS, компилятор «Си» для графического процессора Nvidia и runtime-драйвер [7]. CUDA runtime-драйвер работает совместно с самостоятельным драйвером, решающим задачи распределения нагрузки OpenGL и MS DirectX. Технология CUDA поддерживается операционными системами семейств MS Windows и Unix.

Одной из областей, где использование технологии Nvidia CUDA для вычислений наиболее эффективно, является область физической электроники и, в частности, изучение физических процессов, протекающих в приборах сверхвысоких частот. Среди всех типов СВЧ-приборов важное место принадлежит электровакуумным приборам М-типа, имеющим хорошие технические характеристики. Одной из главных особенностей таких приборов является высокий уровень шума [8, 9].

Таким образом, существует задача исследования структуры формирования электронного потока. Одним из инструментов, позволяющих определить причины его появления, может быть математическое моделирование динамики электронного потока. Эта задача сводится к решению классического уравнения движения частиц, составляющих электронный поток:

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \frac{e}{m} \{ \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{nz} + [\mathbf{v}_i \mathbf{B}_0] \}$$

где \mathbf{E}_0 и \mathbf{B}_0 – векторы напряженности и магнитной индукции статического поля; \mathbf{E}_{nz} – напряженность поля в месте расположения частицы; \mathbf{v}_i – вектор скорости i -й частицы.

Данная задача решается численным методом интегрирования Эйлера. На каждой итерации сначала вычисляется ускорение, придаваемое частицам полями, затем рассчитывается взаимодействие электронов друг с другом (каждого с каждым). В конце итерации происходит пересчет скоростей и координат исследуемых частиц [10] методом Эйлера.

Чтобы модель потока лучше соответствовала реальному, необходимо увеличивать количество частиц, что ведет к повышению времени расчета. Для приемлемого времени расчета требуется использование вычислительных методов расчета, основанных на распараллеливании вычислений. Для организации параллелиз-

ма были применены различные технологии, которые можно условно разделить на «процессорные» (без видеокарты) и Nvidia CUDA. В программе, не использующей технологию CUDA, для ускорения вычислений были совместно применены технологии OpenMP и MPI. Во второй программе весь расчет проводился на видеокарте. Независимость по данным в этой задаче позволила эффективно использовать три перечисленные технологии.

С помощью OpenMP можно создать многопоточную программу, которая в идеальном случае достигает производительности до N раз большей, чем производительность при использовании последовательного алгоритма, где N – число процессоров (или ядер) в МПС, на которой производится расчет. При этом следует заметить, что в данной задаче доля вычислений, которые можно распараллелить, достаточно высока и растет при увеличении числа электронов в потоке [11].

Message Passing Interface (MPI, интерфейс передачи сообщений) – программный интерфейс для передачи информации, который позволяет обмениваться сообщениями между компьютерами, выполняющими одну задачу [12]. В данной программе задача была разбита на подзадачи; каждая подзадача рассчитывалась на отдельном узле кластера. Самой большой проблемой при использовании MPI является организация пересылок данных, которые необходимы другим процессам, но при моделировании электронного потока необходимо лишь один раз пересылать информацию между процессами за одну итерацию.

Можно выделить основные особенности программы с использованием технологии MPI и OpenMP:

- каждую итерацию производится разделение электронного потока на группы, которые с помощью технологии MPI пересылаются каждому узлу кластера. Внутри каждого узла группы средствами технологии OpenMP разделяются на подгруппы; каждая подгруппа рассчитывается на своем ядре. После расчета формируются группы, а затем – и весь поток частиц;

- осуществляется динамическое распределение нагрузки узлов кластера, т. е. формирование групп таким образом, чтобы время расчета было минимальным;

- учет пространственного взаимодействия заряда производится методом «частица-частица». Учитываются взаимодействия только

между частицами, находящимися на расстоянии радиуса Дебая друг от друга;

– для повышения эффективности пересылки данных между узлами кластера формируются пакеты максимального объема.

Вычислительные эксперименты проводились на учебном кластере ВолгГТУ на кафедры «Электронно-вычислительные машины и системы». Кластер построен на базе одно- и двух-процессорных узлов с четырехядерными процессорами Intel Xeon/Quad и операционной системы Microsoft HPC2008; максимальное количество процессорных ядер – 72.

Таблица 1

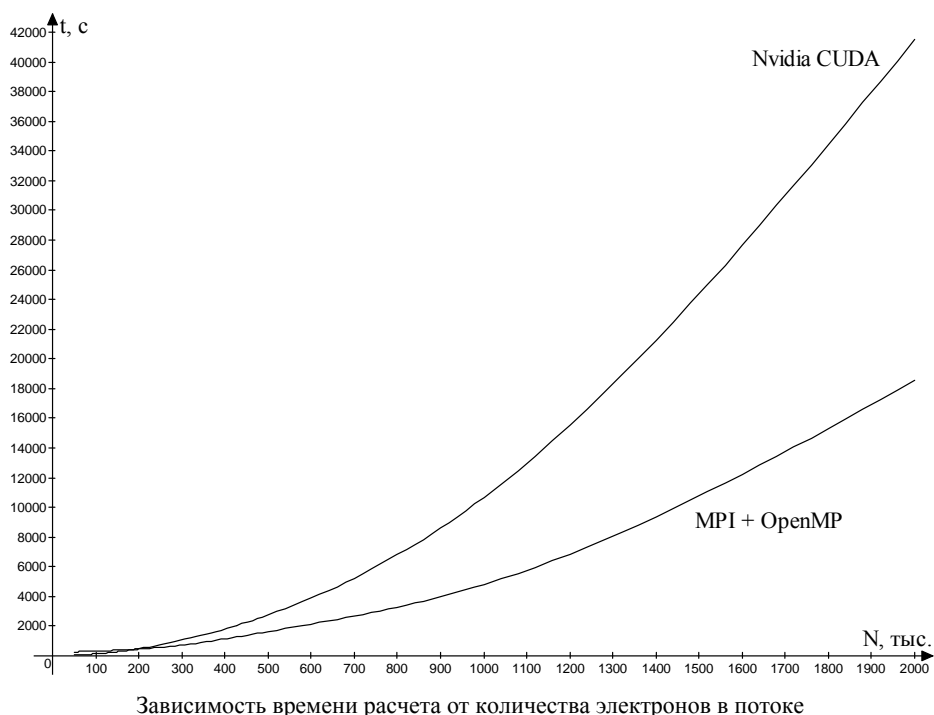
Результат расчетов с технологией MPI и OpenMP

Число электронов в потоке	Число итераций	Число процессорных ядер	Время расчета, с
50 000	500	20	273
100 000	500	20	801
100 000	500	68	328
200 000	500	68	452
500 000	500	68	1 632
1 000 000	500	68	4 807
2 000 000	500	68	18 523

Технология Nvidia CUDA позволяет создавать многопоточные программы по аналогии с OpenMP. Отличие состоит в том, что потоки

создаются в видеокарте, и их максимальное количество может быть более одного миллиона. Структура программы с использованием технологии CUDA аналогична последовательной программе за исключением ряда особенностей, возникающих как результат накладываемых самой технологией ограничений. Главным из таких ограничений является максимальное время выполнения функции CUDA, колеблющееся от 1 до 5 с на разных операционных системах. В связи с этим исходная программа не могла посчитать поток более 100 тыс. электронов. Для расчета больших потоков итерации с числом частиц более 100 тыс. были разбиты на несколько подзадач, сложность одной из них эквивалентна расчету одной итерации потока со 100 тыс. частиц. Таким образом, при каждом вызове функции CUDA создавалось 100 тыс. потоков, каждый из которых рассчитывал параметры одного электрона. Разделение задачи на подзадачи увеличило накладные расходы на лишние вызовы функции CUDA, но позволило рассчитать поток в 2 млн. частиц за приемлемое время. Дальнейшее увеличение частиц в потоке стало беспрепятственным, за исключением квадратичной зависимости времени расчета от числа электронов, связанной с особенностями алгоритма.

Тестирование проводилось на рабочей станции, оснащенной видеокартой Nvidia GeForce GTX 260.



Зависимость времени расчета от количества электронов в потоке

Таблица 2

Результат расчетов с технологией Nvidia CUDA

Число электронов в потоке	Число итераций	Время расчета, с
50 000	500	55
100 000	500	138
200 000	500	489
500 000	500	2 763
1 000 000	500	10 652
2 000 000	500	41 477

Сравнение табл. 1 и 2 говорит о том, что использование видеокарты для расчета электронных потоков весьма эффективно. Скорость расчета данной задачи на Nvidia GeForce GTX 260 сравнима со скоростью расчета на кластере с пиковой производительностью 0,76 TFlops. С учетом значительного различия в ценовой характеристике, а также сложности организации и настройки кластера использование технологии Nvidia CUDA можно считать на данный момент наиболее оправданным.

Из представленного рисунка видно, что видеокарта начинает существенно проигрывать кластеру на больших задачах длительностью несколько часов; на малых же размерностях Nvidia CUDA даже превосходит кластер. Это объясняется большой долей пересылок при расчете малой задачи на кластере, в то время как с помощью CUDA легче и быстрее достигается максимальная эффективность использования видеокарты. В качестве дальнейших перспектив развития программы видится одновременное применение для расчетов нескольких видеокарт, расположенных как на одной рабочей станции, так и на нескольких с использованием технологии MPI. В результате, скорость решения данной задачи моделирования электронного потока должна возрасти примерно в $2N/3$ раз, где N – количество видеокарт в системе. Ускорение будет непропорционально N

из-за накладных расходов, связанных с необходимостью разбиения задачи и пересылки данных. Сокращение времени расчетов позволит приблизить моделируемый поток к реальному, а также даст возможность решать задачи анализа структуры потока, что имеет большую практическую ценность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Transputer Databook*. INMOS Ltd. 1985.
2. Jain, A. K. Artificial Neural Networks: A Tutorial / A. K. Jain, J. M. Mohiuddin // *Computer*, March, 2007.
3. Транспьютероподобный 32-разрядный RISC-процессор с масштабируемой архитектурой / П. Е. Виксне [и др.] // *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. Вып. 2.* – НИИЭИР, 1994.
4. Owens, John D. A Survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware / D. John Owens, David Luebke, Naga Govindaraju, Mark Harris, Jens Krüger, Aaron E. Lefohn, and Tim Purcell // *Eurographics 2005 State of the Art Report (STAR)*, Dublin, Ireland (August 2005).
5. Owens, John D. GPU Gems 2 / John D. Owens, Aaron Lefohn, Joe Kniss. // Chapter 33: Implementing Efficient Parallel Data Structures on GPUs. University of California, University of Utah. NVidia corporation.
6. Horn, D. GPU Gems 2 / D. Horn, M. Pharr // *Stream reduction operations for GPGPU applications*. Addison Wesley, Mar. 2005.
7. Randi, J. Rost OpenGL® Shading Language. Addison Wesley, 2004.
8. Калинин, Ю. А. Сложная динамика и явление динамического хаоса в потоке заряженных частиц, формируемом магнетронно-инжекторной пушкой (численный и физический эксперимент) // Ю. А. Калинин, В. Н. Кожевников, А. Г. Лазерсон // *ЖТФ.* – 2000. – Т. 70. – Вып. 7.
9. Шаповалов, А. С. Спектры модуляционных шумов генератора обратной волны магнетронного типа / А. С. Шаповалов // *Вопросы прикладной физики.* – 1998. – Вып. 4. – С. 64–65.
10. Шейн, А. Г. Спектральные характеристики ленточного электронного потока в скрещенных полях / А. Г. Шейн, Р. А. Евдокимов // *Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники.* – 2002. – № 8.
11. Хьюз, К. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++ // К. Хьюз, Т. Хьюз. – М.: Вильямс, 2004. – 672 с.
12. Корнеев, В. Д. Параллельное программирование в MPI // В. Д. Корнеев. – 1-е изд. – М.: Институт компьютерных исследований, 2003.

УДК 002.6:004.91

*А. В. Заболева-Зотова, Ю. А. Орлова***АВТОМАТИЗАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: zabzot@vstu.ru, yulia.orlova@gmail.com

Целью исследования является повышение эффективности проектирования программного обеспечения за счет автоматизации семантического анализа текста технического задания. Представлена методика анализа текста технического задания, построена нечеткая атрибутивная грамматика над фреймовой структурой технического задания.

Ключевые слова: повышение эффективности, автоматизация, проектирование программного обеспечения, семантический анализ текста.

*A. V. Zabolieva-Zotova, Y. A. Orlova***AUTOMATION OF THE INITIAL STAGES OF DESIGN ENGINEERING****Volgograd State Technical University**

Purpose of this work is to increase efficiency of designing software at the expense of automation of the semantic text analysis of a technical specification. In work the technique of text analysis of a technical specification is presented, the fuzzy attribute grammar over frame structure of a technical specification is constructed.

Key words: increase efficiency, automation, software designing, semantic text analysis.

Наиболее известные из коммерческих программных продуктов, используемых для проектирования программного обеспечения, предназначены для визуализации промежуточных и конечных результатов процесса проектирования. Некоторые из них позволяют полностью автоматизировать последние этапы проектирования: генерация программного кода, создание отчетной и сопровождающей документации и т. д. При этом задача автоматизации начального этапа проектирования – формирование и анализ текста технического задания – остается открытой. Это связано с необычайной сложностью проблемы синтеза и анализа семантики технического текста, для решения которой необходимо использовать симбиоз методов искусственного интеллекта, прикладной лингвистики, психологии и т. д.

Таким образом, актуальной является задача автоматизации начального этапа проектирования программного обеспечения, главный аспект которой – автоматизация семантического анализа текста технического задания.

Целью работы служит повышение эффективности проектирования программного обеспечения за счет автоматизации семантического анализа текста технического задания.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- 1) провести анализ процесса проектирования программного обеспечения и моделей семантического анализа текста;
- 2) разработать методику анализа текста технического задания;
- 3) разработать и исследовать семантическую модель текста технического задания.

В современных информационных технологиях важное место отводится инструментальным средствам, системам разработки и сопровождения ПО. Эти технологии и среды образуют CASE-системы. Широко известны CASE-системы, такие как BPWin, ERWin, OOWin, Design/IDEF, CASE-Аналитик, Silverrun, Rational Rose, Vantage Team Builder, S-Designer (и др.), позволяющие частично автоматизировать процесс проектирования программного обеспечения. Однако, как показал анализ, данные системы автоматизируют конечные этапы проектирования программного обеспечения (создание отчетной и сопровождающей документации, генерация кода и т. д.). Начальный этап проектирования – анализ текста технического задания и построение модели программного обеспечения – выполняется аналитиком, т. е. задача автоматизации данного этапа остается открытой.

Важное значение в процессе разработки ПО имеют средства спецификации проектов ПО. На начальных этапах проектирования ПО строится функциональная модель системы, которая описывает совокупность выполняемых систе-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-01-90012-Бел_а.

мой функций. Результат представляется в виде диаграммы потоков данных и согласуется с заказчиком.

Построение функциональных спецификаций осуществляется аналитиком на основе текста технического задания и является в настоящий момент неавтоматизированным этапом, так как большую сложность вызывает автоматизация семантического анализа естественного языка.

Наиболее известные в настоящее время разработки в области анализа текста осуществляют семантический анализ на уровне предложения или слова. По результатам анализа существующих систем, использующих семантический анализ текста (Galaktika-ZOOM, Link Grammar Parser, AURA, Алхимик, Рабочее Место Лингвиста, AuthorIT и др.), нами не было найдено системы, анализирующей текст технического задания.

Таким образом, можно сделать вывод, что повышение эффективности начальных этапов проектирования программного обеспечения является актуальной задачей.

Проблема состоит в том, что часть компонентов ТЗ содержит информацию, которая по своему характеру является нечеткой. Это обусловлено вариантностью и подвижностью границ языковой нормы и статистическим характером отдельных видов информации.

Задачей исследования является автоматизированная обработка текста документа, изначально создаваемого человеком на естественном языке с соблюдением 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 было выявить особенности существующей практики написания технических заданий и сформулировать дополнительные требования. При проведении исследований было рассмотрено множество различных вариантов ТЗ и детально изучены ГОСТ 19.201–78 и 34.602–89.

Предлагаемая методика анализа текста технического задания, приведенная на рисунке, содержит формализмы, необходимые для представления семантики требований к программному обеспечению на ранних этапах проектирования. Методика анализа текста технического задания состоит из трех этапов: семантическая обработка текста, создание фреймовой структуры и создание диаграмм потоков данных системы, описанной в ТЗ.

Для реализации первого этапа методики была разработана семантическая модель текста технического задания, включающая требования, сформулированные в виде документа на ограниченном естественном языке; второго этапа – фреймовая структура, являющаяся внутрен-



Методика анализа текста технического задания

ним представлением требований; третьего этапа – модель программного обеспечения в виде описания требований на графическом языке Data Flow Diagrams.

Семантическая модель текста технического задания содержит разработанную расширенную нечеткую атрибутивную грамматику над фреймовой структурой формального документа «Техническое задание», которая позволяет наиболее полно отобразить содержимое ТЗ.

Расширенная нечеткая атрибутивная грамматика, необходимая для автоматизированного анализа текста ТЗ, определена в виде:

$$AG = \langle N, T, P, S, B, F, A, R(A) \rangle,$$

где N – конечное множество нетерминальных символов; T – не пересекающееся с N множество терминальных символов; P – конечное множество правил; S – выделенный символ из N , называемый начальным символом; B – множество лингвистических переменных $\beta_{k,i}$, соответствующих терминальным символам T (переменная i на k -м уровне); F – множество функций принадлежности $f_{k,i}$, определяющих степень принадлежности $\mu_{k,i}$ лингвистических переменных $\beta_{k,i}$; A – множество атрибутов, $A = AsinUAsem$, где $Asin$ – синтаксические атрибуты, $Asem$ – семантические атрибуты; $R(A)$ – множество семантических действий.

Лингвистические переменные из множества $B = \{\beta_{k,i}\}_{k,i}$ используемые для анализа текста технического задания описываются пятеркой:

$$\beta_{k,i} = \langle \beta, T(\beta), U, G, M \rangle,$$

где β – название лингвистической переменной (наименование и область применения, основание для разработки, назначение разработки, технические требования к программному изделию и т. д.); $T(\beta)$ – языковые выражения. Для лингвистических переменных верхнего уровня они являются лингвистическими переменными, соответствующими терминалам правой части правила. Для лингвистических переменных нижнего уровня – нечеткими переменными, т. е. выражениями естественного языка; U – универсум; $T(\beta) \subset U$; G – правила морфологического и синтаксического описания языковых выражений, которые определяют синтаксические атрибуты $Asin$; M – семантическое правило для лингвистических переменных, которое индуцируется морфологическими и синтаксическими правилами, так как смысл термина в T час-

точно определяется его синтаксическим деревом, и семантическими атрибутами $Asem$.

Язык представления выражений состоит из констант и правил их последовательного применения. На морфологическом уровне константами являются граммы (рд – родительный падеж; мн – множественное число). На синтаксическом – названия отношений и групп (ПОДЛ – отношение между подлежащим и сказуемым; ПГ – предложная группа). Для каждого слова входного текста выдается множество морфологических интерпретаций следующего вида: лемма; морфологическая часть речи; набор общих граммем; множество наборов граммем.

Методы представления связей между правилами транслируются на язык нечеткой математики. При этом связи представляются нечеткими отношениями, предикатами и правилами, а последовательность преобразований этих отношений – как процесс нечеткого вывода.

Лингвистические переменные верхнего уровня являются составными, т. е. включают лингвистические переменные нижнего уровня. Благодаря этому можно построить дерево лингвистических переменных и установить зависимость между ними.

Функции принадлежности из множества $F = \{f_{k,i}\}_{k,i}$ лингвистических переменных $\{\beta_{k,i}\}_{k,i}$ необходимы для построения нечеткого вывода. В частности, каждому правилу грамматики из P ставится в соответствие функция принадлежности $f_{k,i}$. Эта двойственная система подстановок используется для вычисления смысла лингвистической переменной.

Синтаксические атрибуты $Asin$, используемые в грамматике: 'Название' – текст представляет собой наименование раздела; 'Содержимое' – текст представляет собой содержимое раздела; 'Клауза' – клауза; 'Клауза ТИРЕ' – фрагмент с тире; 'Группа ГЕНИТ_ИГ' – именительная группа, связанная родительным падежом и др. Семантические атрибуты, используемые в грамматике, содержат название атрибута $Asem$ и семантическое действие $R(A)$.

Фреймовая структура ТЗ представлена в виде кортежа:

$$R = \langle N_R, \bar{F}_R, \bar{I}_R, \bar{O}_R \rangle,$$

где N_R – название системы; \bar{F}_R – вектор функций системы; \bar{I}_R – вектор входных воздействий; \bar{O}_R – вектор выходных воздействий.

$$\bar{F}_R = \langle F_R^1, F_R^2, \dots, F_R^k \rangle;$$

тогда $F_R^i = \langle N_F^i, \bar{I}_F^i, D_F^i, G_F^i, H_F^i, \bar{O}_F^i \rangle$,

где N_F^i – имя функции F_R^i ; \bar{I}_F^i – вектор входных воздействий функции; D_F^i – название действия, выполняемого функцией; G_F^i – объект, над которым выполняется действие; H_F^i – ограничения на функцию; \bar{O}_F^i – вектор выходных воздействий функции.

Обозначим поток данных как DF (Data Flow); тогда $\bar{I}_R, \bar{O}_R, \bar{I}_F, \bar{O}_F$ имеют одинаковую структуру элементов:

$$DF = \langle N_{DF}, D_{DF}, T_{DF}, C_{DF} \rangle,$$

где N_{DF} – название потока данных; D_{DF} – направление потока данных; T_{DF} – тип данных в потоке; C_{DF} – количество данных в единичной порции.

На последнем этапе методики требования представляются в виде набора диаграмм потоков данных на графическом языке Data Flow Diagrams: общая структура системы с указанием ее входных, выходных потоков и функции, выполняемые системой, с их входными, выходными потоками.

Научная новизна исследования состоит в следующем: разработана методика анализа текста технического задания на начальных этапах

проектирования программного обеспечения, включающая семантическую модель текста технического задания, преобразование смысла текста во фреймовую структуру и построение на ее основе модели программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Заболеева-Зотова, А. В.* Автоматизация семантического анализа документации технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Вестник компьютерных и информационных технологий. Машиностроение. – М., 2008. – Вып. 9. – С. 26–34.
2. *Заболеева-Зотова, А. В.* Расширенная нечеткая атрибутивная грамматика над фреймовой структурой текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Открытое образование : [по матер. XXXVI Междунар. конф. и дискус. науч. клуба IT+SE'09, майская сессия, Ялта – Гурзуф]. – 2009. – Прил. к журн. – С. 74–76.
3. *Заболеева-Зотова, А. В.* Computer-aided System of Semantic Text Analysis of a Technical Specification / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Information Technologies & Knowledge/ Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA. – Sofia, 2008. – Vol. II. – P. 139–145. – Англ.
4. *Камаев, В. А.* Об одном нейросетевом подходе идентификации сложных систем / В. А. Камаев, М. В. Щербачков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение. – 2004. – № 3. – С. 20–24.
5. *Розалиев, В. Л.* Построение модели эмоций по речи человека / В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3). – С. 62–65.

УДК 004.023+62

В. В. Костерин

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ТЕХНИКЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kosterinvv@mail.ru

Рассматриваются методики: постановки задач, анализа результатов, доводки изделий до требуемых показателей. Приводится фонд практических приемов.

Ключевые слова: оптимизация, нелинейное программирование; проектирование, методики, практические приемы, эвристики.

V. V. Kosterin

HEURISTIC METHODOLOGY OF FORMULATING AND SOLVING NONLINEAR PROGRAMMING PROBLEMS IN TECHNOLOGY

Volgograd State Technical University

The technique: setting goals, analyzing results, finishing products to the required performance. A fund of practical techniques.

Key words: optimization, nonlinear programming, designing, techniques, practical techniques, heuristics.

Основная сложность постановки и решения задач оптимизации в постановке нелинейного программирования заключается в том, что этот

процесс в большинстве случаев является творческим, т. е. не существует четко сформулированных правил и действий, следуя которым мож-

но поставить и решить задачу оптимизации. Поэтому актуален поиск методов, которые в наибольшей степени подходят для решения этой неформализуемой задачи.

Оптимальная последовательность работ проектировщика дается в описании проектных процедур, которые базируются на системном подходе и, в частности, на приемах аналитико-синтетического метода.

Проектная процедура постановки задачи оптимизации

Проектная процедура базируется на владении системным подходом применительно к анализу технических систем.

Шаг 1. Проанализируйте выход системы, определите показатели.

Шаг 2. Проанализируйте вход системы, определите параметры.

Шаг 3. Определите ограничения.

Шаг 4. Определите модель и рассчитайте время ее выполнения.

Шаг 5. До нахождения приемлемой постановки, генерируйте варианты постановок.

На шаге 5 используйте классифицированные фонды: алгоритмов нелинейного программирования; критериев; методов принятия решений. Также используйте межотраслевой фонд эвристических приемов, практические приемы, способы и приемы реализации математических моделей. При выполнении данной проектной процедуры желательно расширить ряд исследуемых вариантов конструкций с использованием методов поискового конструирования.

Во-первых, из всего многообразия возможных технических решений выделите класс допустимых и перспективных.

Во-вторых, изучите варианты, которые являются наилучшим по отдельным показателям. Эти варианты могут быть приняты для дальнейшего анализа.

Анализ результатов оптимизации

Графическое отображение полученных решений в виде поверхности значений критерия оптимизации от любых фиксированных пар варьируемых параметров, а также в виде проекций в плоскости «критерий – параметр» позволяют исследователю выделить главные элементы модели, их взаимосвязь. После углубленного содержательного анализа результатов в указанных направлениях можно выбрать путь для дальнейшей проработки или принять решение о

выборе. Под дальнейшей проработкой в данном случае следует понимать выполнение вычислительных экспериментов с моделью в области, близкой к точке оптимума. Например, исследователь выбирает и фиксирует новые границы варьируемых переменных, увеличивает число решений задачи из разных начальных точек поиска, повторяет анализ результатов и т. д.

Проектная процедура доводки изделий до требуемых показателей

Достижение высокого быстродействия расчета моделей до требуемого предельного для нелинейного программирования времени расчета около одной секунды приводит к потере точности модели за счет ее упрощения. Практически для нахождения оптимальных решений можно использовать даже модели, которые моделируют качественные описания процессов при количественном расхождении теории и эксперимента до 50 процентов. Под экспериментом понимается расчет точной, но медленной модели или проведение натурального эксперимента.

Предлагаемая проектная процедура позволяет резко (от нескольких лет до недели) сократить время доводки неточно рассчитанного изделия до требуемого уровня показателей при значительном сокращении количества дорогостоящих экспериментов.

Ниже дается порядок выполнения проектной процедуры совмещения поиска оптимального решения с одновременной идентификацией модели по данным малого числа экспериментов с использованием алгоритмов нелинейного программирования.

Шаг 1. Решается задача оптимизации неточной модели.

Шаг 2. При параметрах шага 1 проводится эксперимент.

Шаг 3. При несовпадении теории и эксперимента в модель вводят дополнительные параметры, которые соответствуют параметрам неточно моделируемых элементов, проверяют достаточность чувствительности модели к этим параметрам;

Шаг 4. Далее циклически до достижения требуемой степени совпадения теории и эксперимента повторяют действия 4.1–4.3.

Шаг 4.1. Решают задачу идентификации значений дополнительных параметров с данными одного на первой итерации, двух на второй итерации (и т. д.) экспериментов.

Шаг 4.2. Решают задачу оптимизации идентифицированной модели по основным параметрам с показателями всех проведенных ранее экспериментов.

Шаг 4.3. При параметрах, найденных в 4.2, проводят очередной эксперимент.

Как показало практическое использование проектной процедуры, данная процедура является быстро сходимой. Обычно требовалось проведение 2–3 эксперимента для повышения точности модели с 40 до 1 %. Факт большего, чем на 5 % снижения обобщенного показателя, соответствовал применению пользователем не тех дополнительных параметров по физическому смыслу задачи.

Эвристики в проектных процедурах

При успешном решении какой-либо творческой задачи, человек получает два результата: это само решение поставленной задачи и методический опыт, т. е. уяснение процесса решения данной конкретной задачи. Такие методические правила называют эвристическими приемами. Авторами накоплен фонд эвристических приемов постановки и решения задач оптимизации.

Эвристические приемы, накопленные при постановках и решении задач оптимизации:

- 1) не теряйте физического смысла задачи;
- 2) перейдите к дискретной задаче;
- 3) перейдите в другую систему координат;
- 4) сделайте ограничения параметрами оптимизации или критерии – параметрами, а параметры – критериями;
- 5) измените обобщенный показатель – изменится сложность гиперповерхности целевой функции;
- 6) сложные функциональные ограничения не присущи хорошо поставленным задачам;
- 7) простейшие алгоритмы могут давать хорошие результаты;
- 8) используйте сетевые модели и метод из другого класса методов;
- 9) используйте качественные модели, даже неточные;
- 10) изделия ранее как-то проектировались с использованием простейших моделей.

Основные знания и практические приемы оптимизации

Знание практических приемов оптимизации позволяет эффективнее решать более сложные задачи. Практические приемы близки к эвристическим по подсказке, но содержат фонд знаний, который необходимо запомнить каждому постановщику задач оптимизации.

Ниже приведен список практических приемов оптимизации (прием преобразования поиска максимума функции к поиску минимума функции, и наоборот). Для решения задачи максимизации функции, вместо минимизации, достаточно изменить знак минимизируемой функции на противоположный.

Прием изменения знака функционального ограничения. Знак функционального ограничения типа «неравенства» можно изменить на противоположный умножением левой и правой части неравенства на (-1) .

Прием использования алгоритмов безусловной оптимизации для решения задач условной оптимизации. Ограничения типа «равенства» учитываются в целевой функции при помощи штрафных функций, а типа «неравенство» – барьерными функциями.

Прием преобразования задачи векторной оптимизации к скалярной оптимизации функционала целевой функции. При нескольких показателях имеется задача векторной или многокритериальной оптимизации, которая посредством введения аддитивного, мультипликативного или минимаксного (максиминного) обобщенного показателя сводится к задаче скалярной минимизации.

Прием сохранения естественных формулировок задач. Если предстоит оптимизировать математическую модель реального физического объекта, то модель не стоит излишне математизировать, пытаясь преобразовать задачу к виду «более удобному для ЭВМ». Лучше сохранить естественные параметры и естественные показатели, характеризующие качество поведения моделируемого объекта. В естественно сформулированных задачах форма гиперповерхности не содержит узких оврагов и, как правило, представляет собой обширный гипероваг с большим числом локальных экстремумов на его дне, а для решения именно таких задач наиболее сильно адаптирован алгоритм поиска RRR.

Прием поиска в системе координат с иным масштабом переменных.

Прием последовательного анализа вариантов структур. Обычно численная модель физического объекта представляет собой «черный ящик», на входе которого задается вектор структуры объекта, а выходами модели являются характеристики свойств объекта. В общем случае, вектор структуры объекта включает описание набора, расположение, соединение и параметры элементов структуры. Как правило, если подбирать одновременно все эти составляющие вектора структуры, задача поиска ста-

новится сугубо многоэкстремальной. Обычно решают ряд задач параметрической оптимизации, подбирая лишь параметры элементов объектов при фиксированных остальных составляющих вектора структуры. Параметрическая оптимизация способствует быстрому определению потенциальных возможностей объектов заданной структуры, а сами варианты структуры подбираются пользователем. Однако ряд задач, например, синтез элементов объектов заранее неизвестных форм, допускает автоматизированный синтез структуры.

Прием, необходимый для синтеза объектов заранее неизвестной формы. Заранее неизвестную форму объекта необходимо описать конфигурационной моделью, включающей все многообразие возможных форм. При этом могут быть использованы декартовы, цилиндрические и сферические системы координат. Произвольная форма объекта представляется элементарными участками, положение которых привязывается к выбранной системе координат, и это положение описывается значениями переменных, которые варьируются алгоритмом поиска. При синтезе объектов заранее неизвестной формы, форму лучше описывать большим числом параметров. Традиционно синтез форм осуществляется при малом числе аргументов с аппроксимацией формы функциями специального вида для последующей дискретизации параметров формы. Первый способ, в отличие от второго, не связан с видом аппроксимирующих функций, и при поиске охватывается большее число вариантов решения. Значительное число переменных в этом случае не является препятствием, благодаря высокой эффективности программы RRR при решении задач большой размерности.

Прием синтеза формы с гладкой, изменяющейся плавно поверхностью конструктивных элементов. Иногда требуется, чтобы форма отдельных участков поверхности объекта была гладкой, что предполагает плавный закон изменения соседних аргументов конфигурационной модели. Другими словами, соседние (по номерам) компоненты вектора аргументов должны иметь близкие, как бы коррелированные значения. Для достижения плавной формы объекта рекомендуется производить сглаживание значений аргументов. Сглаживание может заключаться, например, в усреднении значений переменных по трем значениям исходных переменных и выполняться при каждом расчете минимизируемой функции.

Прием получения физически реализуемых конструкций. Иногда пользователь, для получения физически реализуемых конструкций, желает ввести дополнительные функциональные ограничения. Учет таких ограничений при помощи штрафных или барьерных функций часто приводит к появлению узких оврагов. Этого можно избежать, если при каждом расчете минимизируемой функции производить корректировку значений компонент вектора параметров с учетом физической реализуемости конструкции. Например, если внешняя оболочка, описанная конфигурационной моделью, задевает за внутренние элементы конструкции, то лучше сначала перерассчитать значения тех переменных внешней поверхности, которые соответствуют задевающим частям, так, чтобы внешняя оболочка перестала задевать внутренние элементы, и эти новые значения использовать в качестве входных для расчета минимизируемой функции. Корректировка в данном случае заключается в «обрезании» выступающих элементов внешней поверхности до значений, не препятствующих размещению внутренних элементов.

Приемы достижения высокой скорости расчета целевой функции. Первый способ – использовать приемы традиционного программирования. Второй способ – повысить быстродействие за счет огрубления модели, повысив точность нахождения экстремума проектной процедурой параметрической идентификации.

Приемы работы с найденными решениями. Хотя ни один алгоритм нелинейного программирования не гарантирует нахождение глобального оптимума, интерес представляет уже любое улучшение физического объекта по сравнению с прототипом, которым располагает пользователь. Иногда бывают полезными конструкции объектов, соответствующие локальным экстремумам. Например, они могут оказаться более дешевыми в изготовлении по сравнению с вариантом с идеальными характеристиками функционирования. Анализ траектории поиска с отображением законов эволюции конструкции в процессе поиска может вызвать у постановщика задачи ряд новых идей построения конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / под ред. А. И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1981. – 344 с.
2. Алгоритмы оптимизации проектных решений / под ред. А. И. Половинкина. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.

УДК 658.512.011.56:[681.3.06+519.8/85]

В. В. Костерин, Д. С. Чугунов

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kosterinvv@mail.ru

Рассматривается построение специализированной системы морфологического поиска, ориентированной на синтез оптимальной цельной конструкции, состоящей из типовых элементов, пользователем, не являющимся профессионалом.

Ключевые слова: морфологический синтез, типовые элементы, проектирование.

V. V. Kosterin, D. S. Chugunov

MORPHOLOGICAL SEARCH of OPTIMUM DESIGN FROM STANDARD PARTS

Volgograd State Technical University

The specialized system of the morphological synthesis, intended for the synthesis optimum design, consisting of standard parts is considered. The user should not be the professional.

Key words: morphological synthesis, the standard parts, designing.

Пусть имеется следующая конкретная задача: разработать и реализовать автоматизированную систему поиска оптимальной конструкции персонального компьютера на основе метода морфологического поиска. Назовем такую систему АПМ. В АПМ предполагается использование комбинации методов морфологического поиска, квалиметрии, экспертных систем.

Алгоритм АПМ должен преследовать следующие основные цели:

Цель 1. Избежать полного перебора вариантов моделей конструкций для сокращения времени поиска и используемых ресурсов (процедуры усечения морфологического множества).

Цель 2. Наиболее полно учесть потребности покупателя и знания эксперта при синтезе решения (процедура опроса покупателя и процедуры использования знаний, заранее заданных экспертом).

Цель 3. С высокой степенью вероятности обеспечить оптимальность получаемой конструкции при морфологическом синтезе.

В соответствии с предметной областью, воспользуемся следующей терминологией: классификационные признаки будем называть элементами, их альтернативные варианты – комплектующими, а варианты проектируемой системы – конструкциями ПК.

Для того чтобы решить какую-либо задачу за другого человека и близким к нему образом, необходимо встать на его место. Следовательно, процесс выбора оптимальной конструкции ПК должен соответствовать процессу, при котором присутствует покупатель (пользователь

системы), выдвигающий свои требования и как бы продавец (эксперт), оценивающий данные требования и принимающий решения. После заполнения экспертом базы данных (БД) и базы знаний (БЗ) АПМ может частично выполнять функции «продавца».

Когда человек приходит приобрести компьютер, первый вопрос, который возникает у продавца-эксперта к покупателю – это цель, или функциональное назначение компьютера, и, в зависимости от назначения, эксперт будет предлагать уже такие варианты, которые наиболее подходят покупателю. Эта цель может быть указана программе АПМ в виде текстовой спецификации компьютера. База спецификаций формируется (добавляется, удаляется, изменяется) экспертом. Число спецификаций не фиксировано.

Примеры спецификаций:

домашний компьютер (описание: компьютер, предназначенный для работы с офисными приложениями и игровыми программами);

офисный компьютер (описание: предназначен для работы в офисе с офисными приложениями, возможностью печати и т. п.).

Также покупатель должен указать сумму денег, которой он располагает, и жесткость границ ее рамок по трехбалльной лингвистической шкале:

цена жестко фиксирована – жесткие требования;

можно немного отступить от указанной суммы денег – нейтральное ценовое ограничение или средние требования;

ценовые рамки практически не заданы – мягкие требования.

Уже на этом этапе эксперт на подсознательном уровне начинает анализировать совместимость комплектующих элементов компьютера. В АПМ используется неполная парная таблица совместимости, близкая к таблице, описанной в работе А. Холяна и С. Элюкима [3]; однако в таблице указывается только часть пар комплектующих, а не все. Атрибутом описаний совместимости является тип взаимодействия элементов. Применительно к синтезу конструкции ПК, данный способ является допустимым, поскольку практически все элементы взаимосвязаны только с материнской платой.

Для оценивания комплектующих, соответствующих отдельному элементу, будем применять свой индивидуальный набор критериев оценки, а сами критерии оценивать для каждого элемента индивидуально, хотя это скажется на увеличении сложности подготовки и обработки данных (пропорционально числу элементов).

Пусть аддитивный средневзвешенный арифметический обобщенный показатель качества комплектующей ПК вычисляется как сумма ее индивидуальных показателей качества.

Однако только количественная оценка качества не способна полностью решить данную задачу синтеза. Необходимо в совокупности с количественной оценкой качества применять методы поиска (выбора), основанные непосредственно на предпочтениях покупателя, которые выявляются в процессе его общения с системой. Иными словами, необходимо применить элементы экспертной системы (в виде опроса) для выяснения предпочтений покупателя к синтезируемой (выбираемой) конструкции.

Поскольку каждая комплектующая имеет свою цену, то при работе программы все конструкции компьютеров, которые не входят в верхний ценовой предел, далее не обрабатываются.

Данный способ приводит к следующим затруднениям: проверку на граничную стоимость конструкции можно провести только после генерации списка конструкций, что требует перебора огромного количества вариантов синтезированных систем. Чтобы преодолеть эти затруднения, предложен прием усечения комплектующих по ценовому фактору до непосредственного формирования моделей конструкций. В случае заранее известного назначения синтезируемого ПК, имеется представле-

ние о примерной процентной стоимости каждого элемента в спецификации. Из чего следует, что на основе общей цены модели конструкции ПК и процентной стоимости ее элементов можно производить усечение множества комплектующих по ценовому фактору до генерации модели.

Пусть указана цена ПК ($cost$), с учетом требований к ценовым границам и таблица ($M(i,j)$) распределения процентной стоимости комплектующих (где i – номер спецификации; j – номер элемента). Тогда имеем цену комплектующего элемента ПК:

$$x = cost \times M(i,j) \times (1 + n),$$

где n – одно из значений экспериментально подобранного коэффициента для учета границ рамок цены проектируемого компьютера, которое соответствует описанной ранее трехбалльной лингвистической шкале: жесткие требования $n = 0$; средние требования $n = 0,15$; мягкие требования $n = 0,3$. Следует отметить, что при $n = 0$ синтез не эффективен.

На следующем традиционном этапе приобретения компьютера происходит диалог между экспертом и покупателем. Например, эксперт выясняет у покупателя, какого типа процессор он предпочитает, будет ли он пользоваться Интернетом, и т. д. (т. е., в автоматизированной системе необходима подсистема опроса покупателя). Пусть банк вопросов в этой подсистеме содержит небольшое количество простых вопросов, на которые обычный покупатель может ответить «да» или «нет». Перечень вопросов не должен быть четко фиксированным, т. е. эксперт должен иметь возможность указать системе такие ответы (типа «да» / «нет») на те вопросы, на которые он считает нужным ответить.

В зависимости от ответов покупателя на эти вопросы, производится усечение ряда комплектующих, которые не попадают под эти ответы. Иными словами, получается связь «морфологический синтез – система опроса», внешне похожая на экспертную систему, которая ранее не была реализована в методе морфологического поиска. Хотелось бы заметить, что данная связь оказалась возможной благодаря введению такого свойства, как атрибуты элемента, на основе которых строятся многие из известных автоматизированных методов морфологического синтеза.

Работа системы реализована в виде пошаговых действий с возможным переходом от шага

к шагу как вперед, так и назад. Время работы покупателей с программой обычно составляет от 10 до 30 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Андрейчиков, А. В.* Эвристический автоматизированный морфологический синтез сложных технических

систем / А. В. Андрейчиков, В. В. Костерин // Программные продукты и системы. – 1991. – № 1. – С. 45–49.

2. *Костерин, В. В.* Разработка инструментальных средств поискового конструирования / В. В. Костерин // Вестник ВФ МУПК. – Вып. 6. – 2003. – С. 18–25.

3. *Холян, А.* Формализация составления вариантов решений в задачах конструирования / А. Холян, С. Элюким // Техническая эстетика. – 1970. – № 7. – С. 3–5.

УДК 004.896:621.865

Е. А. Шуляков

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: j_lancer@mail.ru

Рассматривается концепция универсального робототехнического комплекса, использующая формальное описание робототехнических систем. Использование концепции позволяет упростить разработку робототехнических систем с типовой архитектурой.

Ключевые слова: робототехника, робот, проектирование роботов, учебные робототехнические системы.

E. A. Shulyakov

THE UNIVERSAL ROBOTICS COMPLEX

**Kamyshin Technological Institute (branch)
of Volgograd State Technical University**

The conception of universal robotics complex with using of formal descriptions of robotics systems is considered. Concept application allows to simplify working out robotics systems with typical architecture.

Key words: robotics, robot, robot's development, educational robotics systems.

Робототехника как наука является комплексной дисциплиной, включающей многие области науки и техники. В рамках робототехнических проектов ставятся задачи, как на разработку аппаратной части (управляющей электроники и периферийных модулей), так и на проектирование механических компонент (шасси, исполнительные механизмы). Отдельной и во многом самостоятельной задачей является разработка программ управления, как робототехнической моделью в целом, так и ее отдельными элементами. Каждая из задач требует определенных и, как правило, разносторонних знаний и навыков.

Таким образом, реализация робототехнических проектов требует выполнения большого объема разнородных задач и работ. Одним из решений данной проблемы может быть привлечение к работе над робототехническими системами коллектива разработчиков, специалистов в отдельных областях. Часть коллектива может проектировать электронику; другая часть – шасси и механику; программисты – разрабатывать программное обеспечение. Другим возможным решением является использо-

вание частично готовых систем, основанных на концепции универсального робототехнического комплекса. Концепция предусматривает использование типовых элементов конструкций, модулей, программных шаблонов. Такой подход помимо экономии времени, позволит вести разработки меньшему количеству специалистов, а также откроет дорогу в робототехнику многим энтузиастам.

Концепция является следствием исследования робототехнических систем. В рамках исследования рассмотрено множество робототехнических проектов в сферах творчества, коммерческих проектов, учебных систем. Также проведена разработка ряда собственных робототехнических проектов с целью выяснения основных трудностей при проведении подобного рода работ [1, 2].

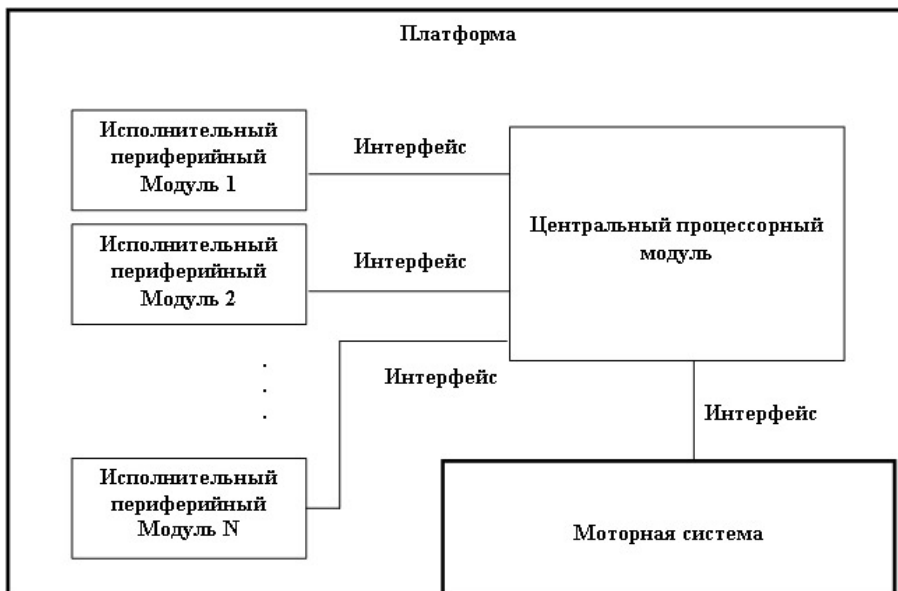
По результатам исследования выявлены общие характеристики робототехнических моделей, используемых в сферах творчества и обучения. К таким характеристикам можно отнести небольшие габариты, мобильность платформ, невысокие параметры по потреблению тока и уровням напряжения, относительную

простоту конструкций исполнительных механизмов и многие другие общие параметры. Анализ полученных результатов позволил сформулировать основные положения концепции универсального робототехнического комплекса:

1) применение типовой архитектуры робототехнических систем. Пример варианта типо-

вой архитектуры показан на рисунке;

- 2) использование типовых управляющих модулей;
- 3) использование типовых исполнительных модулей;
- 4) использование ряда предусмотренных интерфейсов;
- 5) использование универсальных шасси.



Типовая структура робототехнической системы

Под «типизацией» в данном случае понимается описание элемента в строго определенном наборе понятий и характеристик, позволяющих определить возможность соединения элемента с другими компонентами робототехнической системы.

Концепция универсального робототехнического комплекса основывается на использовании ряда понятий. Понятие периферийного модуля обозначает устройство, реализующее определенный функционал. Устройства этого класса предназначены для получения информации о внешней среде, обеспечения связи с внешними управляющими устройствами, вывода информации, а также для воздействия на предметы окружения. В состав устройств могут входить различного рода датчики, индикаторы, дисплей, а также широкий круг исполнительных механизмов.

Центральный процессорный модуль – управляющее ядро системы. Он используется для подключения и управления всеми компонентами системы. Особенности современных микропроцессоров позволяют наделять подобные модули достаточно широкими коммутационными

возможностями [3, 4].

Платформа – шасси робота, имеющее некоторую унифицированную площадь для монтажа компонент системы. Понятие платформы как неотъемлемой части подразумевает наличие моторной системы.

Программный шаблон – часть программного кода, реализующая логику управления периферийным модулем. Программный шаблон разбит на четыре основные секции: секция объявления переменных, секция конфигурирования, секция обработчиков прерываний, функциональная секция. Программные шаблоны позволяют сформировать первоначальную программу управления готовой робототехнической моделью.

Ключевым понятием концепции является понятие конфигурации. *Конфигурация* представляет собой описание состава модулей, в совокупности представляющих готовую работоспособную робототехническую систему.

Для каждого из понятий разработано формальное описание. Так, например, для центрального процессорного модуля формальное описание имеет вид:

$$C_m = \langle Fr, Z, P_w, R \rangle,$$

где Fr – частота работы; Z – размеры; P_w – характеристики питания; R – карта ресурсов.

Другой пример – формальное описание периферийного модуля:

$$M = \langle N, I, F, Z, P_w, Pr \rangle,$$

где N – наименование; I – интерфейс; F – реализуемый функционал; Z – размеры; P_w – характеристики питания; Pr – программный шаблон.

Как видно из приведенных примеров, формальные описания модулей используют в своем составе информационные структуры, не имеющие физического воплощения. Эти структуры обеспечивают целостность и полноту описания робототехнической системы.

В настоящее время описанная концепция легла в основу работы над автоматизированной системой проектирования робототехнических моделей, имеющих архитектуру, показанную на вышеприведенном рисунке. Создание формальных моделей позволило перейти к разработке методик автоматизированного форми-

рования конфигураций робототехнических моделей.

Развитие концепции, а также создание автоматизированной системы позволит во многом систематизировать и упростить задачи по проектированию и разработке, как самих робототехнических систем, так и программ управления для них.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шуляков, Е. А. Учебный робототехнический комплекс / Е. А. Шуляков // Известия вузов. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2006. – Т. 8, вып. 5. – С. 122–124.
2. Шуляков, Е. А. Реализация алгоритма управления движения робота по линии / Е. А. Шуляков // XIV Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, 10–13 ноября 2009 г. : тез. докл. – Волгоград, 2009. – С. 190–192.
3. Голубцов, М. С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / М. С. Голубцов, А. В. Кириченко. – М.: Солон-Р, 2005. – 302 с.
4. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel / А. В. Евстифеев. – М.: Додэка XXI, 2005. – 560 с.

УДК 004.82

В. А. Яровенко, С. А. Фоменков

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: yavapro@gmail.com, saf@vstu.ru

Рассматривается применение мультиагентного подхода при создании интегрированной системы обработки структурированных физических знаний, позволяющее уменьшить затраты на дальнейшие доработки системы, упростить процесс оптимизации и поддержки кода программы. Разрабатываемая система объединяет процессы обработки базы данных по физическим эффектам, реализованные на данный момент.

Ключевые слова: физический эффект, база данных, мультиагентная система, агент, затраты на доработки программы.

V. A. Yarovenko, S. A. Fomenkov

FEATURES OF CREATING AN INTEGRATED SYSTEM OF PROCESSING STRUCTURED PHYSICAL KNOWLEDGE USING MULTI-AGENT APPROACH

Volgograd State Technical University

Creating of the integrated system to processing of structured physical effects knowledge-based using multi-agent approach is considered. The described approach allows to reduce cost of future developments of the application and to simplify the process of optimization and support of the program code. The development system integrates the processes of processing structured physical knowledge that have already implemented this time.

Key words: Physical effect, Database, Multi-agent system, Agent, Cost of future development.

Как правило, стоимость использования программного обеспечения (ПО) складывается из двух основных составляющих: стоимости разработки и стоимости последующих доработок. При

использовании стандартного подхода при проектировании ПО затраты на дальнейшие доработки иногда не только являются существенными, но и могут превышать стоимость разработки.

Для уменьшения затрат нами используется следующий принцип – доработка ПО должна осуществляться не за счет изменения существующего функционала, а только за счет добавления нового. Применение мультиагентного подхода при разработке ПО позволяет придерживаться данного принципа.

На кафедре САПР и ПК ВолгГТУ в настоящее время разрабатывается интегрированная система обработки структурированных физических знаний с применением мультиагентного подхода [1]. В качестве структурированных физических знаний используются физические эффекты (ФЭ) [2]. Общая архитектура системы представлена на рис. 1.

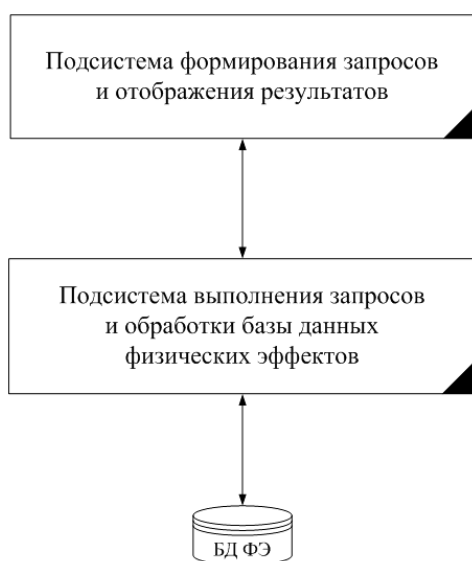


Рис. 1. Общая архитектура системы обработки ФЭ

Система представляет собой трехуровневое клиент-серверное приложение, работающее через сеть Интернет. Пользователю доступна клиентская часть, в которой отображаются результаты его работы. На сервере расположены база данных по ФЭ и подсистема обработки ФЭ, представляющая собой мультиагентную систему (МАС). Общая архитектура МАС представлена на рис. 2.

В МАС входят несколько типов агентов: агент-менеджер, выполняющий распределение запросов между агентами; агент-справочник, хранящий историю запросов; агенты пользователя, преобразующие запросы пользователей в запросы к другим агентам; агент администрирования базой данных, отвечающий за изменение и пополнение базы данных ФЭ, а также выполняющий все запросы к базе данных [3]; агент поиска ФЭ; агент поиска новых ФЭ в сети

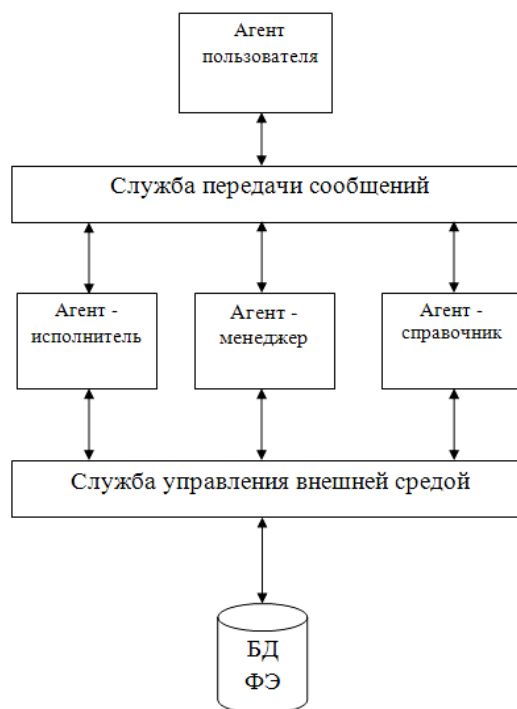


Рис. 2. Архитектура МАС обработки базы данных по ФЭ

Интернет; агент синтеза ФПД. Агенты взаимодействуют и общаются друг с другом посредством службы передачи сообщений.

МАС имеет централизованное управление. Все запросы от пользователей и других агентов системы поступают к агенту-менеджеру. Данный агент распределяет задачи между другими агентами системы. Для этого он использует знания агента-справочника о ранее выполненных запросах.

Разработанная МАС имеет несколько особенностей. Логика обработки базы данных по ФЭ заключена в функциях агентов, что позволяет упростить процесс доработки ПО путем добавления новых агентов с необходимой функциональностью. В МАС возможно использование нескольких агентов одного типа, т. е. параллельное использование нескольких алгоритмов обработки ФЭ. Кроме этого, снижаются и требования к самому ПО. Нет необходимости в комментировании всего кода. В МАС важно документировать те функции системы, которые доступны разработчикам для реализации агентов.

В МАС намного эффективнее решаются задачи оптимизации кода. Например, с базой данных по ФЭ работает только агент администрирования. Другим агентам, при необходимости обращения к базе данных, достаточно создать запрос к данному агенту. Таким образом, один агент может использовать результаты

работы другого агента. Другим примером является синтез ФПД: агент генерации ФПД строит цепочки ФЭ, а поиск ФЭ осуществляет агент поиска.

В настоящий момент представленная концепция находится в стадии реализации. Разработана база данных по ФЭ и подсистема ее администрирования «UserAgentAdmin» [4]. Создаются агенты МАС на основе существующих автоматизированных систем поиска ФЭ [5], синтеза ФПД [6] и пополнения базы данных ФЭ из Интернет [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яровенко, В. А. Формирование интегрированной системы обработки структурированных физических знаний с применением мультиагентного подхода / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 126–128.
2. Фоменков, С. А. Формализованное представление физических знаний для компьютерной обработки информации / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов // Техника машиностроения. – 2001. – № 6. – С. 14–19.
3. Матлин, А. О. Совершенствование процесса синтеза физического принципа действия, модели представления и средств управления массивом данных физических эффектов / А. О. Матлин, В. А. Яровенко, С. А. Фоменков : В сб. материалов XXXVI Международной конференции: «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе»: (IT + SE'09), Украина, Ялта – Гурзуф, 2009. – С. 141–143.
4. Яровенко, В. А. Автоматизация процесса формирования базы данных по физическим эффектам : магист. дис. / В. А. Яровенко. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – 45 с.
5. Герасимов, А. М. Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект» / А. М. Герасимов, П. А. Колчин, С. А. Фоменков // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4. – С. 38–39.
6. Давыдов, Д. А. Автоматизированное проектирование линейных структур физических принципов действия технических систем / Д. А. Давыдов, С. А. Фоменков // Машиностроитель. – 2002. – № 2. – С. 33–35.
7. Коробкин, Д. М. Методы выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 35–39.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.056.53

И. В. Свинцов, П. Н. Садчиков

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРОВ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ УСТРОЙСТВ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ С ТЕЛЕФОННОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Астраханский государственный технический университет

E-mail: ivan_svintsov@mail.ru, pavel_n_sadchikov@mail.ru

В статье рассмотрена теория оценки эффективности противодействия несанкционированным подключениям к телефонным линиям связи на основе теории вероятностей и математической статистики.

Ключевые слова: безопасность, связь, телефонные линии.

I. V. Svintsov, P. N. Sadchikov

THE ANALYTIC STUDY OF THE MAIN PARAMETERS OF APPLIANCE FOR THE DETECTION DEVICES OF UNAUTHORIZED REMOVAL OF INFORMATION FROM THE TELEPHONE LINE OF CONNECTION

Astrakhan State Technical University

The article discusses the theory of evaluating the effectiveness of countering unauthorized connections to the phone lines on the basis of probability theory and mathematical statistics.

Key words: security, connection, telephone lines.

Актуальность защиты телефонных переговоров поставила перед пользователями средств специальной техники задачу распознавания и поиска устройств съема информации для их последующей нейтрализации. Возможность использования телефонных линий для несанкционированного съема информации очень велика, что подтверждается большим количеством публикаций в средствах массовой информации на эту тему. Ассортимент приборов, защищающих телефонную линию, также очень широк. Но из описаний приборов и кратких характеристик не всегда ясно, от каких способов несанкционированного съема информации они защищают. Для возможности проведения количественной оценки эффективности их противодействия выберем аппарат теории вероятностей и математической статистики, поскольку несанкционированное подключение к отдельно взятой абонентской линии в конкретный момент времени можно считать случайным событием.

Рассмотрим функционирование произвольной абонентской линии в виде S -системы. По-

скольку S меняет свое состояние заранее неизвестным (случайным) образом, то можно утверждать, что в системе протекает случайный процесс. В данной ситуации переход системы из одного состояния в другое связан с изменением ее физических параметров.

Поиск закладных устройств, вмонтированных в технические средства, производят посредством сравнения топологии схемы исследуемого образца с эталонной, зафиксированной в документации. Следовательно, для системы S выделим два основных состояния:

S_1 – эталонная абонентская линия;

S_2 – линия с присутствием устройств съема информации.

Это может быть проиллюстрировано в виде графа (рис. 1).

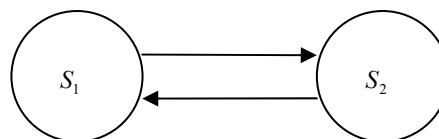


Рис. 1. Граф двух состояний системы

Поскольку система S_2 , в зависимости от способа подключения пиратского устройства, реагирует по-разному на изменение физических параметров, усилим процесс ее возможных переходов, введя:

S_{21} – подключение к линии с разрывом шлейфа;

S_{22} – параллельное подключение к линии;

S_{23} – подключение к линии через радиоканал.

Тогда граф состояний и переходов системы S примет вид (рис. 2):

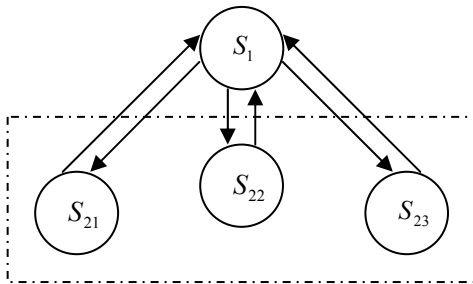


Рис. 2. Граф трех состояний системы

Рассматриваемый случайный процесс – процесс с дискретными состояниями:

1) поскольку число состояний отвечает требованию конечности, либо счетности;

2) переход от состояния к состоянию происходит скачкообразно.

С другой стороны, данный процесс является процессом с непрерывным временем, так как переход системы из состояния в состояние возможен в любой, наперед неизвестный, случайный момент времени t .

Отличительной особенностью любого случайного процесса является статистическая зависимость между значениями случайных величин $X(t)$, относящихся к разным моментам времени. Математическое описание рассматриваемого процесса может быть выполнено в форме соотношений, основными элементами которых являются вероятности:

$$p_i(t) = P(X(t) = S_i),$$

$$p_{ij}(t, \Delta t) = P(X(t) = S_i, X(t + \Delta t) = S_j),$$

первые из которых определяют положение системы S в i -м состоянии в момент времени t , а вторые, переход системы $S_i \rightarrow S_j$ за промежуток времени Δt . При этом также выполняются два условия функционирования системы:

1) система S в любой момент времени t может находиться только в одном из состояний $S_1, S_{21}, S_{22}, S_{23}$, что выражается в виде:

$$\sum_{i=1}^4 p_i(t) = 1;$$

2) переход из состояния S_i в S_j является ординарным процессом, так как за достаточно малый промежуток Δt система может совершить не более одного перехода, то есть выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^4 p_{ij}(t, \Delta t) = 1.$$

Исходя из постановки задачи и выполнения первого и второго условий, делаем заключение: данный случайный процесс является Марковским, что позволяет отнести его к типичной динамической модели [1].

Задача реализации представленной динамической модели сводится к поиску вектора вероятностей состояний S -системы в зависимости от способа подключения к линии несанкционированного устройства съема информации для любого t :

$$\vec{P}(t) = (p_1(t), p_{21}(t), p_{22}(t), p_{23}(t)).$$

Введем обозначение интенсивности перехода системы из состояния S_i в S_j в момент времени t за $\lambda_{ij}(t)$. Тогда

$$\lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_{ij}(t, \Delta t)}{\Delta t}.$$

Из выражения следует, что

$$p_{ij}(t, \Delta t) = \lambda_{ij}(t) \Delta t + o(\Delta t).$$

Так как при малых Δt можно считать $M[o(\Delta t)] = 0$ (математическое ожидание бесконечно малой), то

$$p_{ij}(t, \Delta t) \approx \lambda_{ij}(t) \Delta t.$$

Отсюда, марковский дискретный процесс с непрерывным временем функционирования абонентской телефонной линии полностью задается матрицей интенсивностей:

$$L(t) = \begin{pmatrix} \lambda_{1,1}(t) & \lambda_{1,21}(t) & \lambda_{1,22}(t) & \lambda_{1,23}(t) \\ \lambda_{21,1}(t) & \lambda_{21,21}(t) & 0 & 0 \\ \lambda_{22,1}(t) & 0 & \lambda_{22,22}(t) & 0 \\ \lambda_{23,1}(t) & 0 & 0 & \lambda_{23,23}(t) \end{pmatrix}.$$

Формально для марковского процесса делаем допущение, что

$$\lambda_{ii}(t) = -\sum_{i \neq j} \lambda_{ij}(t).$$

Отсюда, сумма элементов каждой строки матрицы $L(t)$ равна нулю. Сделав ряд преобразований, получим:

$$p_{ij}(t, \Delta t) = 1 - \sum_{j \neq i} p_{ij}(t, \Delta t) = 1 + \lambda_{ii}(t) \Delta t + o(\Delta t).$$

Тогда, по формуле полной вероятности для времени $t + \Delta t$ при достаточно малом Δt найдем вероятность пребывания системы в состоянии S_i :

$$\begin{aligned} p_i(t + \Delta t) &= \sum_k p_k(t) p_{ki}(t, \Delta t) = \\ &= \sum_k p_k(t) \lambda_{ki}(t) \Delta t + p_i(t) p_{ii}(t, \Delta t) + o(\Delta t) = \\ &= \sum_k p_k(t) \lambda_{ki}(t) \Delta t + p_i(t) + o(\Delta t) \\ \Rightarrow \frac{p_i(t + \Delta t) - p_i(t)}{\Delta t} &= \sum_k p_k(t) \lambda_{ki}(t) + o(1). \end{aligned}$$

Определим одну из вероятностей состояний рассматриваемой S -системы. Например, вероятность события, что система в момент времени t находится в состоянии S_1 .

Для случайного процесса, обусловленного изменениями в S -системе, граф переходов между состояниями которой представлен на рис. 2, существует два варианта появления этого события:

1) в момент t система находилась в состоянии S_1 и за Δt не вышла из этого состояния;

2) в момент t система находилась в одном из состояний S_{21}, S_{22} или S_{23} , а за Δt перешла из него в S_1 .

Вероятность первого варианта равна произведению вероятностей $p_1(t)$ того, что в момент времени t система была в состоянии S_1 на условную вероятность того, что, будучи в S_1 , система за Δt не перейдет в одно из состояний S_{21}, S_{22}, S_{23} . Эта условная вероятность равна

$$1 - (\lambda_{1,21} + \lambda_{1,22} + \lambda_{1,23}) \Delta t + o(\Delta t).$$

Вероятность второго варианта равна сумме вероятностей того, что в момент времени t система была в одном из состояний S_{21}, S_{22}, S_{23} , умноженных на соответствующие условные вероятности перехода за Δt из них в состояние S_1 .

Используя аксиому сложения вероятностей для несовместных событий, получаем:

$$\begin{aligned} p_1(t + \Delta t) &= \\ &= p_1(t) (1 - (\lambda_{1,21} + \lambda_{1,22} + \lambda_{1,23}) \Delta t) + p_{21}(t) \lambda_{21,1} \Delta t + \\ &\quad + p_{22}(t) \lambda_{22,1} \Delta t + p_{23}(t) \lambda_{23,1} \Delta t + o(\Delta t). \end{aligned}$$

После проведения ряда элементарных преобразований, получим:

$$\begin{aligned} \frac{p_1(t + \Delta t) - p_1(t)}{\Delta t} &= -(\lambda_{1,21} + \lambda_{1,22} + \lambda_{1,23}) p_1(t) + \\ &\quad + p_{21}(t) \lambda_{21,1} + p_{22}(t) \lambda_{22,1} + p_{23}(t) \lambda_{23,1} + o(t). \end{aligned}$$

Переходя от приращений к дифференциалам при Δt , стремящемся к нулю, имеем:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{1,1} p_1(t) + \lambda_{21,1} p_{21}(t) + \\ &\quad + \lambda_{22,1} p_{22}(t) + \lambda_{23,1} p_{23}(t). \end{aligned}$$

Аналогично выводятся дифференциальные уравнения и для остальных вероятностей состояний $p_{21}(t), p_{22}(t), p_{23}(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{1,1} p_1(t) + \lambda_{21,1} p_{21}(t) + \lambda_{22,1} p_{22}(t) + \lambda_{23,1} p_{23}(t) \\ \frac{dp_{21}(t)}{dt} = -\lambda_{21,1} p_{21}(t) + \lambda_{1,21} p_1(t) \\ \frac{dp_{22}(t)}{dt} = -\lambda_{22,1} p_{22}(t) + \lambda_{1,22} p_1(t) \\ \frac{dp_{23}(t)}{dt} = -\lambda_{23,1} p_{23}(t) + \lambda_{1,23} p_1(t). \end{cases}$$

Полученная система дифференциальных уравнений первого порядка представляет собой систему уравнений Колмогорова.

Решение этой системы приводит к нахождению $\vec{P}(t)$ -вектора вероятностей состояний в виде функций от времени.

Начальные же условия выбираются в зависимости от того, в каком состоянии находилась

S -система в нулевой момент времени. В случае функционирования абонентской телефонной линии за начальные условия примем:

$$P(0) = \{1; 0; 0; 0\},$$

предполагая, что изначально в линии отсутствуют устройства несанкционированного съема информации.

Для возможности численного решения полученной системы уравнений необходимо определить интенсивности $\lambda_{ij}(t)$.

Способы контроля телефонных линий основаны на том, что любое подключение к ним вызывает изменение электрических параметров линий: напряжения и тока в линии, значений емкости и индуктивности линии, активного и реактивного сопротивления. В зависимости от способа подключения подслушивающего устройства к телефонной линии, влияние подключаемого подслушивающего устройства может существенно отличаться. Так как закладное устройство использует энергию телефонной линии, величина отбора мощности закладкой из телефонной линии зависит от мощности передатчика закладки и его коэффициента полезного действия. Наилучшие возможности по выявлению этих отклонений обеспечиваются при опущенной трубке телефонного аппарата. Это обусловлено тем, что в этом состоянии в телефонную линию подается постоянное напряжение 48–60 В (для отечественных телефонных линий) и 25–36 В (для зарубежных АТС). При поднятии трубки в линию поступает от АТС дискретный сигнал, преобразуемый в телефонной трубке в длинный прерывистый тон, а напряжение в линии уменьшается до 12 В, то есть происходит резкое изменение электрических параметров линии, существенно превышающее изменения из-за закладных устройств [2].

Повышение реальной чувствительности устройств контроля ограничено нестабильностью параметров линии, колебаниями напряже-

ния источников электропитания на АТС, помехами в линии. Для снижения вероятности ложных тревог необходимо увеличивать количество измеряемых характеристик линии, предусматривая возможность накопления и статистической обработки результатов измерений в течение достаточно длительного времени как контролируемой линии, так и близко расположенных.

Обозначим за n количество измеряемых характеристик линии, каждую из которых представим как A_g . Поскольку, в связи с присутствием помех в линии, A_g меняет свое значение в разные моменты времени t , то $A_g = A_g(t)$.

По формуле полной вероятности

$$p_{ij}(t, \Delta t) = P(X(t) = S_i, X(t + \Delta t) = S_j) = \sum_{g=1}^n p(A_g) p((S_i \rightarrow S_j) | A_g).$$

Учитывая для каждого параметра A_g его среднее эталонное значение A_g^0 , определим вероятность выхода $A_g(t)$ из диапазона возможного разброса ΔA_g вокруг среднего значения, связанного с нестабильностью телефонной линии, в виде соответствующей геометрической вероятности:

$$p(A_g) = p_g(t, \Delta t) = \frac{S_{A_g}(t, \Delta t)}{S_{\Omega_g}(t, \Delta t)}.$$

Для достаточно малого промежутка времени Δt найдем площади фигур S_{A_g}, S_{Ω_g} :

$$S_{\Omega_g}(t, \Delta t) = \left| \int_t^{t+\Delta t} (A_g(t) - A_g^0) dt \right|$$

$$S_{A_g}(t, \Delta t) = \begin{cases} 0, & \text{если } |A_g(t)| \leq A_g^0 + \Delta A_g \\ \left| \int_t^{t+\Delta t} (A_g(t) - A_g^0) dt \right| - \Delta A_g \Delta t, & \text{если } |A_g(t)| > A_g^0 + \Delta A_g \end{cases}.$$

Условные вероятности $p((S_i \rightarrow S_j) | A_g)$ перехода системы из состояния S_i в S_j , если произошло изменение электрического параметра g абонентской телефонной линии, определяются техникой подключения устройств съема информации, исходя из их групповой принадлежности.

Представление системы функционирования абонентской телефонной линии с возможностью пиратского подключения к ней устройств

съема информации в виде случайного процесса позволяет сформировать подход к определению основных характеристик приборов по их обнаружению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильченко, А. Н. Экономико-математические методы : учеб. пособие / А. Н. Ильченко. – М.: Финансы и статистика, 2006. – С. 121–122.
2. Торокин, А. А. Инженерно-техническая защита информации : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности / А. А. Торокин. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – С. 343–344.

УДК 004.056.53

И. В. Свинцов, П. Н. Садчиков

**ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ В ТЕЛЕФОННОЙ ЛИНИИ
УСТРОЙСТВА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ**

Астраханский государственный технический университет

E-mail: ivan_svinsov@mail.ru, pavel_n_sadchikov@mail.ru

Рассмотрена теория количественного описания возможного присутствия в телефонной линии устройств несанкционированного съема информации, исследуемая с помощью теории вероятностей.

Ключевые слова: безопасность, связь, телефонные линии, несанкционированный съем информации.

I. V. Svinsov, P. N. Sadchikov

**THE PROBABILITY OF DETECTION IN THE TELEPHONE LINE OF DEVICE OF THE
UNAUTHORIZED REMOVAL OF INFORMATION**

Astrakhan State Technical University

The article discusses the theory of quantitative description of the possible presence in the telephone line devices unauthorized removal of information, investigated with the help of probability theory.

Key words: security, connection, telephone lines, unauthorized removal of information.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили контактно подключаемые устройства прослушивания переговоров с радиоканалом и питанием непосредственно от абонентской телефонной линии. Однако, несмотря на развитие рынка спецтехники для проверки телефонной линии, не существует универсальной аппаратуры, позволяющей определить подключение к телефонной линии. Более того, индуктивные и емкостные съёмники без радиоканала не определяются ни одним из известных приборов [1].

Для количественного описания возможного присутствия в телефонной линии устройств несанкционированного съема информации воспользуемся методами теории вероятностей, поскольку несанкционированное подключение к отдельно взятой абонентской линии в конкретный момент времени можно считать случайным событием.

Рассмотрим функционирование произвольной абонентской линии в виде S-системы, которая в любой момент времени t может находиться только в одном из двух состояний S_1 или S_2 :

S_1 – эталонная абонентская линия;

S_2 – линия с присутствием устройств съема информации (причем переход системы из одного состояния в другое связан с изменением физических параметров линии).

Обозначим через k количество измеряемых характеристик линии, каждую из которых представим как A_g . Поскольку, в связи с присутствием помех в линии, A_g меняет свое значение в разные моменты времени t , то $A_g = A_g(t)$.

Учитывая для каждого параметра A_g его среднее эталонное значение A_g^0 , определим вероятность выхода $A_g(t)$ за период времени T из диапазона возможного разброса ΔA_g вокруг среднего значения, связанного с нестабильностью телефонной линии, в виде соответствующей геометрической вероятности:

$$p(|A_g(t) - A_g^0| > \Delta A_g) = p_g(t, T) = \frac{S_{A_g}(t, T)}{S_{\Omega_g}(t, T)}. \quad (1)$$

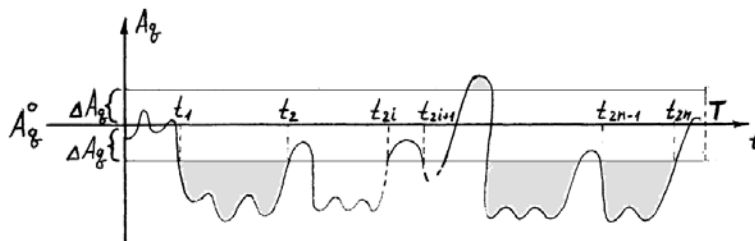


Рис. 1

За промежуток времени T , в течение которого происходит обследование системы на возможное изменение параметра g , уравнение

$$|A_g(t) - A_g^0| = \Delta A_g \quad (2)$$

может иметь множество решений. Обозначим

$$S_{\Omega_g}(t, T_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } |A_g(t)| \leq A_g^0 + \Delta A_g \\ \left| \int_{T_i} (A_g(t) - A_g^0) dt \right|, & \text{если } |A_g(t)| > A_g^0 + \Delta A_g, \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{A_g}(t, T_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } |A_g(t)| \leq A_g^0 + \Delta A_g \\ \left| \int_{T_i} (A_g(t) - A_g^0) dt \right| - \Delta A_g |T_i|, & \text{если } |A_g(t)| > A_g^0 + \Delta A_g, \end{cases} \quad (4)$$

$$S_{\Omega_g}(t, T) = \sum_{i=1}^k S_{\Omega_g}(t, T_i), \quad (5)$$

$$S_{A_g}(t, T) = \sum_{i=1}^k S_{A_g}(t, T_i). \quad (6)$$

Для исключения возможности получения недостоверного результата, обусловленного кратковременным резким перепадом амплитудных характеристик электрических параметров (рис. 2), вызванных нестабильностью линии, а не наличием закладного устройства, рассмотрим условную вероятность

$$p(S_2 | (|A_g(t) - A_g^0| > \Delta A_g)) = \frac{\sum_{i=1}^k (t_{2i} - t_{2i-1})}{t_{2n} - t_1}. \quad (7)$$

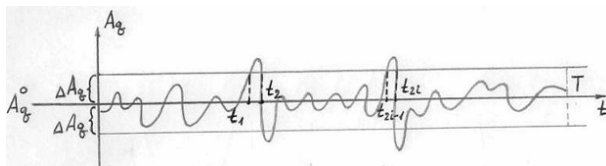


Рис. 2

Таким образом, вероятность нахождения системы в состоянии S_2 определяется по формуле полной вероятности, как

их за t_1, t_2, \dots, t_{2n} (рис. 1).

Тогда множество $\bigcup_{i=1}^n [t_{2i-1}, t_{2i}] = \bigcup_{i=1}^n T_i$ определяет область интегрирования, а площади соответствующих фигур S_{A_g}, S_{Ω_g} :

$$p(S_2, T) = \sum_{g=1}^k p(|A_g(t) - A_g^0| > \Delta A_g) p(S_2 | (|A_g(t) - A_g^0| > \Delta A_g)). \quad (8)$$

Величина $p(S_2, T)$ напрямую зависит от ΔA_g , причем даже незначительное снижение погрешности существенно повышает вероятность обнаружения устройства несанкционированного съема информации.

Сужение диапазона погрешности ΔA_g возможно за счет проведения статистической обработки значений электрических параметров посредством использования многоканального анализатора [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торокин, А. А. Инженерно-техническая защита информации : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности / А. А. Торокин. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – С. 343–344.
2. Адрианов, В. И. Шпионские штучки и устройства для защиты объектов и информации: справ. пособие / В. И. Адрианов, В. А. Бородин, А. В. Соколов. – СПб.: Лань, 1996. – С. 73–78.

УДК 519.68

*Д. А. Стуров, А. С. Горобцов***ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРИД-СИСТЕМЫ
ИЗ ДОСТУПНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: gorobtsov@avtlg.ru, scomvlg@gmail.com

Предложен и описан подход к формированию распределенных сред из доступных вычислительных ресурсов. Выделены характерные свойства распределенных сред; показана принципиальная возможность решения задач в распределенных неоднородных средах; разработано программное обеспечение, организующее вычислительные процессы на подобных компьютерных системах. Предложенные идеи реализованы в системе SD-Grid, которая в настоящий момент проходит апробацию в ходе решения задачи расчетов теплового обмена.

Ключевые слова: Грид, распределенные вычисления, мониторинг доступности узлов, распределенная неоднородная среда, управляемое коммутационное оборудование.

*D. A. Sturov, A. S. Gorobtsov***FORMATION AND REALIZATION OF THE APPROACH OF USE OF GRID-SYSTEM FROM
ACCESSIBLE COMPUTING RESOURCES****Volgograd State Technical University**

The approach to formation of the distributed environments from accessible computing resources is offered and described. Characteristic properties of the distributed environments are allocated, basic possibility of the decision of problems in the distributed non-uniform environments is shown, the software, organized computing processes on similar computer systems is developed. The offered ideas are realised in system SD-Grid which at the moment takes place approbation during the decision of a problem of calculations of a thermal exchange.

Key words: Grid-system, the distributed calculations, monitoring of availability of the knots, the distributed non-uniform environment, the operated switching equipment.

Технология Грид (Grid) используется для создания географически распределенной вычислительной инфраструктуры, объединяющей ресурсы различных типов с доступом к этим ресурсам. Данная технология была применена для решения научных, математических задач, требующего привлечения значительных вычислительных ресурсов [1].

Развитие и внедрение технологии Грид носят стратегический характер. В ближайшей перспективе эта технология позволит создать принципиально новый вычислительный инструмент для развития высоких технологий в различных сферах человеческой деятельности [2].

Идейной основой технологии Грид является объединение ресурсов на базе сетевых технологий и специального программного обеспечения промежуточного уровня, а также набора стандартизованных служб для обеспечения надежного совместного доступа к географически распределенным информационным и вычислительным ресурсам: отдельным компьютерам, кластерам, хранилищам информации и сетям.

Есть основные критерии, выделяющие Грид-системы среди других систем, обеспечивающих разделяемый доступ к ресурсам:

1) Грид-система координирует разрозненные ресурсы. Ресурсы не имеют общего центра управления, а Грид-система занимается координацией их использования (например, балансировкой нагрузки);

2) Грид-система строится на базе стандартных и открытых протоколов, сервисов и интерфейсов. Не имея стандартных протоколов, невозможно легко и быстро подключать новые ресурсы в Грид-систему, разрабатывать новые виды сервисов и т. д.;

3) гибкость, т. е. возможность обеспечения разделяемого доступа потенциально к любым видам ресурсов;

4) масштабируемость: работоспособность Грид-системы при значительном увеличении или уменьшении ее состава;

5) Гибкая и мощная подсистема безопасности: устойчивость к атакам злоумышленников, обеспечение конфиденциальности [3];

6) возможность контроля над ресурсами: применение локальных и глобальных политик и квот;

7) Гарантия обеспечения качества обслуживания.

Рассмотрим требования к разрабатываемой Грид-системе:

1) выявление и предотвращение причин отказа по сбою ресурсов. Из-за огромного количества задач и постоянно меняющейся сложной конфигурации системы важно своевременно определять перегруженные и свободные ресурсы, производя перераспределение нагрузки между ними;

2) решение задачи предотвращения перегрузки сетевого ресурса (коммутаторов, шлюзов), так как это может стать причиной отказа значительного количества других ресурсов;

3) реализация системы мониторинга, которая будет постоянно следить за состоянием ресурсов и автоматически принимать необходимые меры для предотвращения перегрузок и простоя ресурсов;

4) обеспечение отсутствия так называемой единственной точки сбоя. Это означает, что отказ любого ресурса не должен приводить к сбою в работе всей системы. Именно поэтому планировщик, система мониторинга и другие сервисы Грид-системы должны быть либо продублированы, либо подменяемы;

5) Реализация удобной возможности гибкого ввода задания для Грид-системы [4].

Несмотря на всю сложность, архитектура Грид разрабатывалась с целью обеспечить мак-

симальное качество сервиса для пользователей. В Грид-системе важно использовать современные технологии передачи данных, обеспечения безопасности и отказоустойчивости [5].

В качестве платформы для создания Грид-системы был выбран Microsoft.NET, как обладающий широкими возможностями для проектирования сетевых приложений и позволяющий сконцентрироваться на задаче, а не на коде.

Составные части системы:

– сервер Грид-системы (центр контроля и команд). Ожидает подключение новых клиентов, регистрирует их в своей базе, следит за их состоянием и выдает команды клиентам. При первом запуске сервера требуется создать и зарегистрировать канал на определенном порту, а также зарегистрировать класс для удаленной активизации (т. е. для предоставления этого класса клиентам). Клиент создает у себя экземпляр класса, который расположен на удаленном сервере, и работает с этим экземпляром как со своим. При этом все расчеты, которые используются в классе, выполняются на клиентах, а серверу передаются лишь результаты этих расчетов. Вся эта система работает через прозрачный (невидимый, с точки зрения программиста) прокси-сервер:

```
//создать и зарегистрировать клиентский канал
TcpClientChannel channel = new TcpClientChannel();
ChannelServices.RegisterChannel(channel);
//зарегистрировать удаленный класс в локальном домене
RemotingConfiguration.RegisterWellKnownClientType(
typeof(Client),//удаленный класс
"tcp://localhost:39993/Client");//URL удаленного класса
```

Здесь URL задает местоположение удаленного класса. Протокол (в данном случае tcp) соответствует протоколу каналов, зарегистрированных в доменах приложений. Идентификатор машины (localhost) задает сервер, экспортирующий класс Client, и таким образом указывает компьютер, на котором будет создан объект. Вместо localhost можно использовать IP-адрес или имя компьютера. Далее в строке URL через двоеточие указывается номер порта, соответствующий номеру порта, на котором сервер ожидает вызовы (порт с номером 39993);

клиент Грид-системы:

– получает команду от сервера;
– обрабатывает команду (классифицирует ее на «известную» или «неизвестную» и соответствующим образом обрабатывает ее параметры);

– выполняет команду.

После регистрации канала для соединения с сервером и регистрации класса Client в своем домене, последующего использования ресурсов, предоставляемых данным классом, клиент должен создать экземпляр этого класса:

```
Client client = new Client();
```

Затем клиент должен определить частоту процессора и количество ядер (процессоров) на компьютере. Основная нагрузка при вычислениях ложится на процессор, поэтому его характеристики будут играть важную роль при распределении нагрузки на узлы Грид-сети. Участок кода, в котором определяются характеристики процессора:

```
int Core = (Int32)System.Environment.ProcessorCount;//количество ядер
int Takt = (Int32)Registry.GetValue("//тактовая частота (МГц)
"\"HKEY_LOCAL_MACHINE\\HARDWARE\\DESCRIPTION\\System\\CentralProcessor\\0\", \"~MHz\", 0);
```

Для того, чтобы класс Client поддерживал удаленное взаимодействие, необходимо использовать в качестве базового класса System.MarshalByRefObject:

```
public class Client: MarshalByRefObject
{...}
```

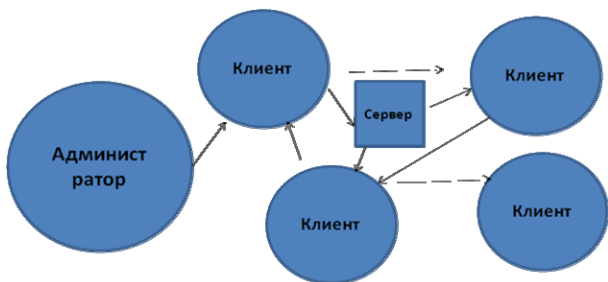


Рис. 1. Архитектура разработанной Грид-системы

В рамках представленной на рис. 1 архитектуры клиенты соединяются не с сервером, а с несколькими машинами из Грид-сети. Команды передаются от клиента к клиенту: у каждого клиента есть список адресов «соседей», и при получении команды от кого-либо из них он передает ее остальным, тем самым распространяя команду дальше. В этом случае, чтобы управлять всем Гридом, достаточно иметь доступ хотя бы к одному клиенту, входящему в Грид-сеть.

Для того чтобы клиенты узнавали о новых задачах, программа поддерживает плагины, обеспечивая тем самым расширяемость программы и ее модернизацию. Плагиновый функционал внесен в систему для упрощения написания расширений для индивидуальных задач.

Для мониторинга доступности узлов Грид-сети разработана система мониторинга удаленных ресурсов, основанная на применении методов Dead Peer Detection и Ping Check. С помощью этой системы производится анализ Грид-сети на наличие узлов, построение графа Грид-сети, периодический мониторинг доступности

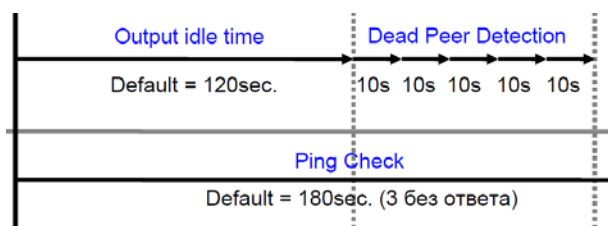


Рис. 2. Методы проверки доступности узла в сети

и, в случае выхода из строя узла сети или коммутатора, происходит перестроение задачи на основании обновленных данных мониторинга.

Для обеспечения контроля над ресурсами, безопасности Грид-системы и качества обслуживания используется механизм конфигурирования управляемого коммутационного оборудования. Создана система доступа к коммутаторам сети по FTP-протоколу и конфигурирования коммутаторов сети под нужды Грид-сети. После проведения вычислений система восстанавливает исходные файлы конфигурации сети.

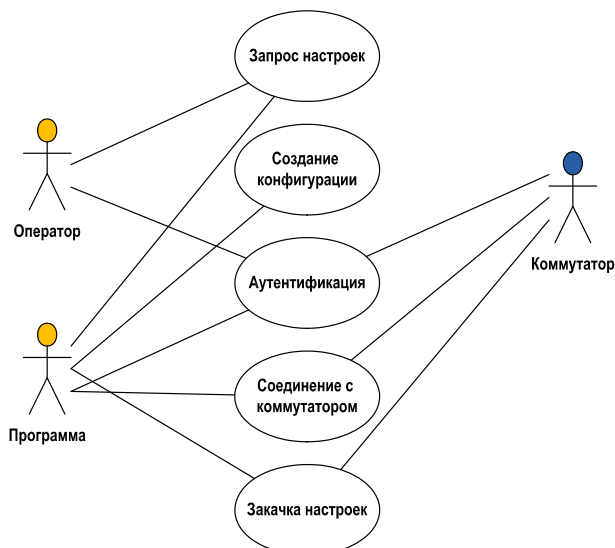


Рис. 3. UML диаграмма прецедентов настройки коммутаторов Грид-сети

Грид является наиболее сложной информационной средой, когда-либо создаваемой человеком. Для системы такой сложности очень важна проблема обеспечения надежного функционирования и восстановления при сбоях. Человек не способен уследить за состоянием тысяч различных ресурсов, входящих в Грид-систему, и по этой причине задача контроля над ошибками возлагается на систему мониторинга, которая следит за состоянием отдельных ресурсов [6]. Данные о состоянии заносятся в информационные ресурсы, откуда они могут быть прочитаны планировщиком и другими сервисами, что позволяет иметь постоянно обновляющуюся достоверную информацию о состоянии ресурсов.

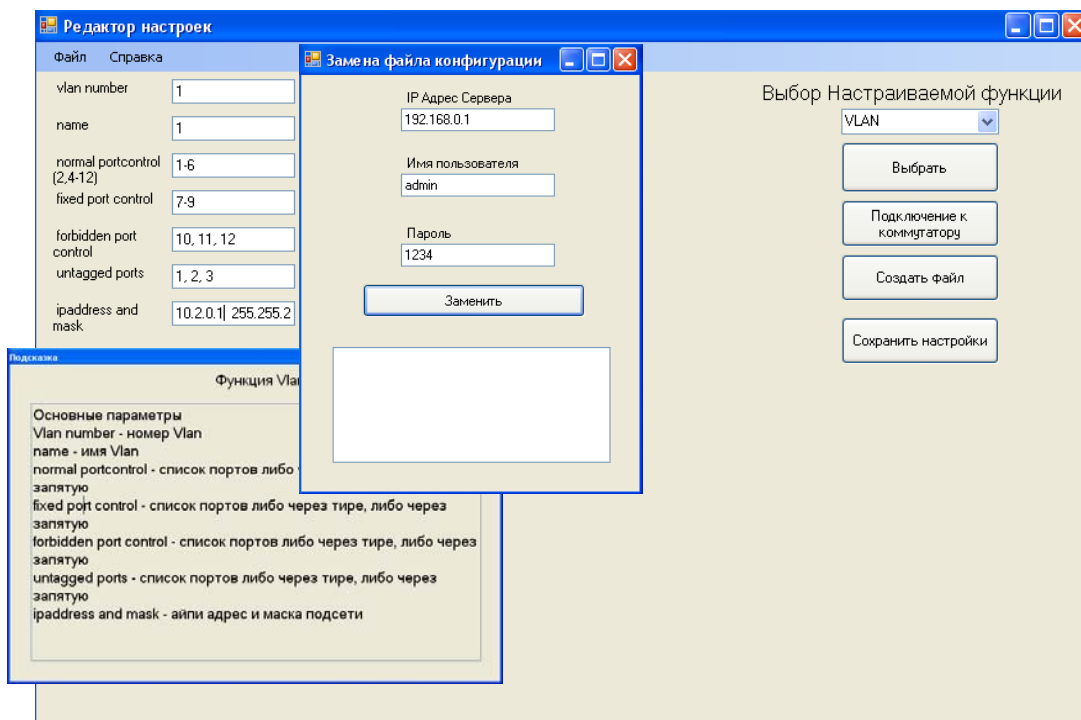


Рис. 4. Экранные формы программы настройки коммутаторов сети

В рамках данной статьи предложен и описан подход к формированию распределенных сред из доступных вычислительных ресурсов. Выделены характерные свойства распределенных сред; показана принципиальная возможность решения задач в распределенных неоднородных средах; разработано программное обеспечение, организующее вычислительные процессы на подобных компьютерных системах. Предложенные идеи реализованы в системе SD-Grid, которая в настоящий момент проходит апробацию в ходе решения задачи расчетов теплового обмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Foster, C. Kesselman. GRID: A Blueprint to the New Computing Infrastructure. Morgan Kaufman Publishers, 1999.
2. Куссуль, Н. Н. Применение методов операционного анализа для оценки производительности GRID-систем / Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестов, А. Г. Лобунец // Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Вып. 144.
3. Ли, М. Основные грид технологии / М. Ли, М. Бейкер // John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 423 с.
4. Ландэ, Д. Семантический web: от идеи к технологии [Электронный ресурс] / Д. Ландэ. – Режим доступа : <http://dwl.kiev.ua/art/sw/index1.html>.
5. Демичев, А. П. Введение в грид-технологии / А. П. Демичев, В. А. Ильин, А. П. Крюков. – Препринт НИИЯФ МГУ-2007. – 11/832.
6. Воеводин, Вл. В. Суперкомпьютер на выходные / Вл. В. Воеводин, М. П. Филамофитский // Открытые системы – 2003. – № 5.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского государственного технического университета
№ 6 (66), 2010 г.

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

Выпуск 8

Межвузовский сборник научных статей

Редактор Л. Н. Рыжих

Компьютерная верстка Е. В. Макаровой

Темплан 2010 г. (научные издания). Поз. № 3н.

Подписано в печать 24.11.2010. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 14,30.
Тираж 150 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет.
400131, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
40013, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 7.